

Programa de Pós-Graduação em **Engenharia Civil e Ambiental**

Universidade Federal de Campina Grande
Centro de Tecnologia e Recursos Naturais
Departamento de Engenharia Civil

**ESTUDO DE DURABILIDADE DE CONCRETOS E ARGAMASSAS
ATRAVÉS DE RAA EM AGREGADOS CONVENCIONAIS DA
REGIÃO DA CAMPINA GRANDE E ALTERNATIVOS EM
CONCREÇÕES LATERÍTICAS SAPÉ-PB E JACUMÃ-PB**

JORGE LUÍS FIRMINO DE SOUZA

Campina Grande
Data DEZEMBRO / 2007

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL
CAMPUS I – CAMPINA GRANDE
ÁREA DE GEOTECNIA

**ESTUDO DE DURABILIDADE DE CONCRETOS E ARGAMASSAS ATRAVÉS DE RAA EM
AGREGADOS CONVENCIONAIS DA REGIÃO DE CAMPINA GRANDE E ALTERNATIVOS EM
CONCREÇÕES LATERÍTICAS SAPÉ-PB E JACUMÃ-PB**

JORGE LUÍS FIRMINO DE SOUZA

Campina Grande – Paraíba

Dezembro de 2007

JORGE LUÍS FIRMINO DE SOUZA

Dissertação apresentada ao Centro de Tecnologia e Recursos Naturais da Universidade Federal de Campina Grande – Campina Grande-PB, como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de **MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL**.

Área de Concentração – Geotecnia

Prof. DSc. Milton Bezerra das Chagas Filho
Orientador

Prof. DSc. Gilmar Trindade de Araújo
Co-Orientador

Campina Grande – Paraíba

Dezembro de 2007



FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFCCG

S725e

2007 Souza, Jorge Luís Firmino de.

Estudo de durabilidade de concretos e argamassas através de RAA em agregados convencionais da região de Campina Grande e alternativos em concreções lateríticas Sapé-PB e Jacumã-PB / Jorge Luís Firmino de Souza. — Campina Grande: 2007.

117f. : il

Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) — Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais.

Referências.

Orientadores: Milton Bezerra de Chagas Filho, Gilmar Trindade de Araújo.

1. Estruturas. 2. Durabilidade. 3. Concreto. 4. Agregado. I. Título.

CDU – 624.012.45(043)

FOLHA DE APROVAÇÃO

Autor: Jorge Luís Firmino de Souza

Título: ESTUDO DE DURABILIDADE DE CONCRETOS E ARGAMASSAS ATRAVÉS DE RAA EM AGREGADOS CONVENCIONAIS DA REGIÃO DE CAMPINA GRANDE E ALTERNATIVOS EM CONCREÇÕES LATERÍTIAS SAPÉ-PB E JACUMÃ-PB

Dissertação Defendida e Aprovada em: 04/12/2007

Pela Banca Examinadora

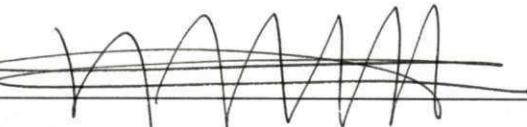
(Assinatura):



Prof. DSc. Milton Bezerra das Chagas Filho (Orientador)

Universidade Federal de Campina Grande – DEC/UFPG

(Assinatura):



Prof. DSc. Gilmar Trindade de Araújo (Co-Orientador)

Universidade Federal de Campina Grande – DEQ/UFPG

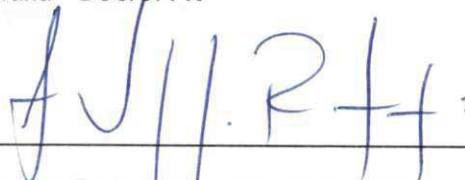
(Assinatura):



Prof. DSc. José Marques Filho (Examinador Externo)

Universidade Federal do Paraná – DCC/UFPR

(Assinatura):



Prof. DSc. John Kennedy Guedes Rodrigues (Examinador Interno)

Universidade Federal de Campina Grande – DEC/UFPG

JORGE LUÍS FIRMINO DE SOUZA

Dissertação apresentada ao Centro de Tecnologia e Recursos Naturais da Universidade Federal de Campina Grande – Campina Grande-PB, como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de **MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL**.

Área de Concentração – Geotecnia

Prof. DSc. Milton Bezerra das Chagas Filho
Orientador

Prof. DSc. Gilmar Trindade de Araújo
Co-Orientador

Campina Grande – Paraíba

Dezembro de 2007

DEDICATÓRIA

Ao Pai, que sempre me guarda, dá força, coragem e sabedoria.

À minha mãe, Minervina Firmino de Souza.

Ao meu pai, Manoel Quirino de Souza.

Aos meus Irmãos: Lamartine, Leonardo e Michelly.

Aos meus amigos: Karllos Diêgo, Fábio, Hemann, Glageanne e Késsia.

Aos Professores: Milton e Kennedy.

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Dr. Milton Bezerra das Chagas Filho por sua sabedoria, atenção e motivação tão importantes à orientação desta pesquisa, e pela solidariedade e simplicidade de figura humana nos momentos difíceis.

Ao Professor Dr. Gilmar Trindade de Araújo pelo direcionamento, orientação, atenção e apoio na pesquisa.

Ao Professor Dr. John Kennedy Guedes Rodrigues pelo estímulo, apoio e atenção nos momentos difíceis desta pesquisa, e por sua paciência e coerência.

Ao Professor Dr. José Marques Filho pelas valiosas contribuições e disponibilidade na análise do trabalho.

Ao Centro de Tecnologia e Recursos Naturais da UFCG e a Coordenação de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental.

Ao Laboratório de Referência em Dessalinização da UFCG, na pessoa do Prof. Dr. Kepler Borges França, pela disponibilidade da infra-estrutura para a realização de ensaio da pesquisa.

À pessoa de Nilton, pela grande ajuda e ensino das técnicas nos ensaios químicos.

Ao CNPq pela bolsa de estudo concedida.

Aos amigos da UFCG: Fábio Wellington, Hermes Filho, Saul Guedes, Jozilene Souza, Josete de Sousa, Leda Lucena, André e outros que deram sua contribuição em particular.

Aos amigos: Karlos Diêgo, Cleber Sá, Helder Freire, Hermann Costa, Glageane Souza, Fábio, pelo apoio, ajuda e incentivo nas horas difíceis.

E a todos que colaboraram direta e indiretamente para que esta pesquisa pudesse ser efetivada.

RESUMO

Em obras de concreto o termo durabilidade pode ser entendido como capacidade da estrutura conservar sua segurança, estabilidade e aptidão em serviço quando sujeita a condições ambientais previstas em projeto, durante o período de sua vida útil. Construtores e clientes desejam evitar gastos com manutenção e reparos. Esta durabilidade almejada depende fundamentalmente de um controle de qualidade durante etapas de planejamento, projeto e execução das obras. Um dos mecanismos responsáveis pelo envelhecimento e deterioração do concreto é a reação entre os álcalis do cimento e certos agregados reativos - RAA. Fenômeno complexo, descoberto no início do século passado, com efeitos patológicos principalmente sobre mais de uma centena de barragens no mundo, mas também detectado em pontes e recentemente em edificações na região metropolitana do Recife-PE. Saliente-se, que uma vez desencadeada a RAA, ainda não se dispõe de procedimentos que possam impedir seu avanço. A melhor maneira ainda é um conhecimento prévio dos materiais a serem utilizados. Este estudo objetiva estudar o potencial reativo de agregados de brita granítica e areia usualmente utilizados em construção civil na região de Campina Grande-PB, e agregados lateríticos alternativos encontrados nos municípios de Sapé-PB e Jacumã-PB. Inicialmente apresenta-se o estado da arte sobre RAA. Caracterizam-se os materiais estudados. Usam-se os métodos acelerado em barras de argamassa, método químico, e método petrográfico para avaliar o potencial reativo dos agregados. Pelo método acelerado foram tomadas medidas de expansão das barras de argamassa aos 16 e 28 dias de idade, para todos os agregados. Complementarmente, a técnica de microscopia eletrônica de varredura - MEV - foi realizada em amostras do ensaio pelo método acelerado para elucidar os resultados aferidos. Os agregados estudados, com os métodos utilizados, não se mostraram potencialmente reativos.

Palavras Chave: durabilidade, agregados, concreções lateríticas, reação álcali-agregado.

ABSTRACT

In concrete construction, the term durability can be understood as the capability of structures to preserve their safety, stability and ability when subjected to environmental conditions foreseen in project and during the period of expected life. Constructors and customers want to avoid spending on maintenance and repairs. This wanted durability depends basically on quality control during the stages of planning, design and execution. One of the mechanisms responsible for ageing and deterioration of concrete is a reaction between the alkali present in cement and certain reactive aggregates denominated alkali aggregate reaction - AAR. This complex phenomenon discovered early in the last century, with pathological effects on more than one hundred dams in the world, was also detected in bridges and more recently in buildings in the metropolitan area of Recife-PE. It should be noted that once AAR is triggered there is no procedures that could prevent its advance; however the best way to prevent it is a prior knowledge of the materials that will be used. This investigation studies the reaction potential among aggregates obtained from granite rocks and sand normally used in building construction in the Campina Grande-PB area and lateritic alternative aggregates found in the cities of Sapé-PB and Jacumã-PB. Initially, a state of the art on ARR is presented along with characterization of used materials. To evaluate the potential of reactive aggregates, bars of mortar, chemical and petrography methods were used. To study the extension of mortar bars at 16 and 28 days of age for all aggregates the accelerated method was used. In addition, scanning electron microscopy - MEV - was performed on samples from accelerated method to analyze the obtained results. The aggregates used in this investigation revealed no reactive potential.

Keywords: durability, aggregates, lateritic concretions, alkali-aggregate reaction.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Fissuração mapeada e exudação de gel em barragem nos Estados Unidos (TIECHER, 2006)	12
Figura 2.2 - Fissuração em pé de pilar da estrutura de um viaduto na China (TIECHER, 2006).....	12
Figura 2.3 - Fissuração mapeada da estrutura de uma ponte na Austrália (TIECHER, 2006).....	13
Figura 2.4 - Fissuras na face lateral do pilar nº 6, sentido jusante na UHE Furnas (HASPARYK, 2005).....	14
Figura 2.5 - Ponte sob ação da RAA (LOPES, 2004).....	15
Figura 2.6 - Detalhe do gel exsudado e manchas escuras ao redor na UHE Furnas (HASPARYK, 2005) ...	16
Figura 2.7 - Ataque dos íons OH ⁻ ao grupo silanol (TURRIZIANI, 1986; HAPARYK, 1999).....	17
Figura 2.8 - Ruptura das ligações do grupo siloxano pelos íons OH ⁻ (TURRIZIANI, 1986; HAPARYK, 1999)	17
Figura 2.9 - Processo de reação álcali-agregado (adaptado de VALDUGA 2002).....	19
Figura 2.10 - Detalhe de gel exsudando a partir da fissura na superfície do concreto (HASPARYK, 2005)	20
Figura 2.11 - Estrutura tetraédrica da sílica (HASPARYK, 1999).....	20
Figura 2.12 - Aparência dos géis coletados na superfície do concreto de uma UHE afetado pela RAS (HASPARYK, 2005)	21
Figura 2.13 - Exemplos de fissuração em mapa causados pela RAA: (a) pilar do vertedouro da barragem Furnas e (b) Porto Colombo (LOPES, 2004)	24
Figura 2.14 - Desnivelamento entre juntas e fissuras superficiais na UHE Furnas (vertedouro-muro de transição) (HASPARYK, 2005)	25
Figura 2.15 - Mapa mundial mostrando as regiões de ocorrência de solos lateríticos (SANTANA, 1987 apud CHAGAS FILHO, 2005).....	32
Figura 2.16 - Concreção laterítica da jazida Sapé-PB.....	32
Figura 2.17 - Cargas em função dos deslocamentos para barras rugosas e lisas nos concretos lateríticos e convencionais (CHAGAS FILHO; BARBOSA, 1995 apud CHAGAS FILHO, 2005)	35
Figura 2.18 - Esquemas de carregamento para protótipos ensaiados (BARBOSA; CHAGAS FILHO, 1988 apud CHAGAS FILHO, 2005).....	36
Figura 3.1 - Areia do Rio Paraíba.....	38
Figura 3.2 - Brita granítica.....	39
Figura 3.3 - Agregado laterítico: (a) Laterita Sapé-PB e (b) Laterita Jacumã-PB	40
Figura 3.4 - Fluxograma de caracterização dos materiais.....	41
Figura 3.5 - Fluxograma dos ensaios para a detecção do potencial reativo dos agregados	43
Figura 3.6 - Agregados nas frações (PEA-167): (a) areia, (b) brita, (c) laterita Sapé e (d) laterita Jacumã .	45
Figura 3.7 - Amostras dos agregados acondicionadas.....	46
Figura 3.8 - Moldes metálicos: (a) desmontado e (b) montados e lubrificadas com uma fina camada de óleo mineral.....	47
Figura 3.9 - Mistura e moldagem das barras: (a) material na argamassadeira, (b) moldagem, (c) e (d) argamassa nos moldes	48
Figura 3.10 - Barras (a) após desmoldagem, (b) imersas em recipiente de aço inoxidável contendo água destilada, (c) em na estufa a 80°C e (d) medidas em relógio comparador	49

Figura 3.11 - Exemplo de gráfico de expansão (%) versus idade (dias) para o método acelerado.....	50
Figura 3.12 – Método químico: (a) reatores e (b) soluções diluídas das amostras para análise.....	51
Figura 3.13 - Determinação da redução da alcalinidade: (a) soluções diluídas prontas para titulação e (b) titulação com HCl.....	51
Figura 3.14 - Determinação da sílica dissolvida: (a) preparação da solução diluída para leitura e (b) leitura no fotômetro.....	52
Figura 3.15 – Gráfico para análise dos resultados do método químico (NBR 9774, 1987)	52
Figura 3.16 - (a) e (b) Amostra das barras de argamassa preparada para ensaio de MEV e (b) microscópio eletrônico de varredura	53
Figura 4.1 - Difração de raios X do cimento Portland.....	58
Figura 4.2 - Difração de raios X da areia.....	58
Figura 4.3 - Difração de raios X da brita	59
Figura 4.4 - Difração de raios X da laterita Sapé.....	59
Figura 4.5 - Difração de raios X da laterita Jacumã	60
Figura 4.6 - Gráfico de expansão (%) versus idade (dias) da amostra de areia.....	62
Figura 4.7 - Gráfico de expansão (%) versus idade (dias) da amostra de brita.....	63
Figura 4.8 - Gráfico de expansão (%) versus idade (dias) da amostra de laterita Sapé.....	64
Figura 4.9 - Gráfico de expansão (%) versus idade (dias) da amostra de laterita Jacumã	65
Figura 4.10 - Gráfico da redução da alcalinidade versus sílica dissolvida da amostra de areia	66
Figura 4.11 - Gráfico da redução da alcalinidade versus sílica dissolvida da amostra de brita	67
Figura 4.12 - Gráfico da redução da alcalinidade versus sílica dissolvida da amostra de laterita Sapé.....	68
Figura 4.13 - Gráfico da redução da alcalinidade versus sílica dissolvida da amostra de laterita Jacumã.....	69
Figura 4.14 - Amostra A2: Visão geral da interface pasta-agregado.....	70
Figura 4.15 - Amostra A2: Aproximação da imagem da figura anterior.....	71
Figura 4.16 - Amostra A2: Imagem dos poros na amostra.....	71
Figura 4.17 - Amostra A2: Aproximação da imagem anterior. Note fissura no interior do poro	72
Figura 4.18 - Amostra B1: Visão geral da interface pasta-agregado.....	72
Figura 4.19 - Amostra B1: Aproximação da imagem anterior. Detalhe da fissura na interface pasta-agregado.....	73
Figura 4.20 - Amostra B1: Poro com produto.....	73
Figura 4.21 - Amostra B1: Aproximação da imagem anterior. Detalhe do produto no poro.....	74
Figura 4.22 - Amostra LS3: Visão geral da interface pasta-agregado.....	74
Figura 4.23 - Amostra LS3: Aproximação da imagem anterior. Detalhe de produto na interface pasta-agregado.....	75
Figura 4.24 - Amostra LS3: Aproximação da imagem anterior. Detalhe de produto na forma de cristais aciculares	75
Figura 4.25 - Amostra LS3: Poro com produto. Note profundidade do poro e produto	76
Figura 4.26 - Amostra LS3: Poro na interface pasta-agregado. Note profundidade e produto	76
Figura 4.27 - Amostra LJ3: Visão geral da interface pasta-agregado	77

Figura 4.28 - Amostra LJ3: Aproximação da imagem anterior. Detalhe do agregado envolto em pasta de cimento	77
Figura 4.29 - Amostra LJ3: Aproximação da imagem anterior. Detalhe da interface pasta-agregado.....	78
Figura 4.30 - Amostra LJ3: Detalhe de poro bastante profundo	78

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Registros de ocorrências de casos de reação álcali-agregado	11
Tabela 2.2 - Tensão última de aderência - concreto laterítico j=28 dias 1ª série de corpos-de-prova (CHAGAS FILHO; BARBOSA, 1995 apud CHAGAS FILHO, 2005)	34
Tabela 2.3 Tensão última de aderência – concreto convencional j=28 dias 2ª série de corpos-de-prova (CHAGAS FILHO; BARBOSA, 1995 apud CHAGAS FILHO, 2005)	34
Tabela 2.4 Momentos fletores teóricos, experimentais e de serviço (BARBOSA; CHAGAS FILHO, 1990 apud CHAGAS FILHO, 2005)	35
Tabela 2.5 - Resultados das flechas instantâneas (a_0) e flechas em um tempo infinito (a_∞) para vigas ensaiadas a P = 40KN	37
Tabela 3.1 - Ensaio de caracterização física	41
Tabela 3.2 - Frações especificadas pela PEA-167/LAME para preparo dos materiais	45
Tabela 3.3 - Quantidade de barras para cada combinação	47
Tabela 3.4 - Traço das argamassas (em massa)	47
Tabela 4.1 - Resultados dos ensaios físicos e mecânicos do cimento CP II-F 32	54
Tabela 4.2 – Resultados dos ensaios físicos do agregado miúdo	55
Tabela 4.3 - Composição granulométrica do agregado miúdo (série normal)	55
Tabela 4.4 – Resultado dos ensaios de caracterização do agregado graúdo	56
Tabela 4.5 - Análise química do cimento (%)	56
Tabela 4.6 - Análise química dos agregados (%)	57
Tabela 4.7 – Análise petrográfica dos agregados	61
Tabela 4.8 - Média das expansões da amostra de areia	62
Tabela 4.9 - Média das expansões da amostra de brita	63
Tabela 4.10 - Média das expansões da amostra de laterita Sapé	64
Tabela 4.11 - Média das expansões da amostra de laterita Jacumã	65
Tabela 4.12 - Valores da redução da alcalinidade e sílica dissolvida da amostra de areia	66
Tabela 4.13 - Valores da redução da alcalinidade e sílica dissolvida da amostra de brita	67
Tabela 4.14 - Valores da redução da alcalinidade e sílica dissolvida da amostra de laterita Sapé	68
Tabela 4.15 - Valores da redução da alcalinidade e sílica dissolvida da amostra de laterita Jacumã	69

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

A	Areia
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ASTM	American Standards for Tests and Materials
B	Brita
IBRACON	Instituto Brasileiro do Concreto
LABDES	Laboratório de Referência em Dessalinização
LACTEC	Instituto de Pesquisas para o Desenvolvimento
LAME	Laboratório de Materiais e Estruturas
LJ	Laterita Jacumã
LS	Laterita Sapé
MEV	Microscopia Eletrônica de Varredura
PEA	Procedimento de Ensaio e Análise
RAA	Reação Álcali-Agregado
RAC	Reação Álcali-Carbonato
RAS	Reação Álcali-Silica
RAS	Reação Álcali-Silicato
Rd	Redução da Alcalinidade
Sd	Silica Dissolvida
UFCG	Universidade Federal de Campina Grande
UFPR	Universidade Federal do Paraná

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1.....	8
1 - INTRODUÇÃO	8
1.1 - OBJETIVOS	9
1.1.1 - Geral	9
1.1.2 - Específicos.....	9
1.2 - ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO	10
CAPÍTULO 2.....	11
2 - REVISÃO DA LITERATURA.....	11
2.1 - DEFINIÇÃO DE RAA	11
2.2 - A RAA NO MUNDO	11
2.3 - MECANISMO DA REAÇÃO ÁLCALI-AGREGADO	15
2.4 - TIPOS DE REAÇÃO	19
2.4.1 - Reação álcali-silica (RAS).....	20
2.4.2 - Reação álcali-silicato (RASS).....	21
2.4.3 - Reação álcali-carbonato (RAC)	22
2.5 - ESTRUTURAS AFETADAS PELA RAA: DETECÇÃO E INTERVENÇÕES	23
2.6 - CONCREÇÕES LATERÍTICAS	32
CAPÍTULO 3.....	38
3 - MATERIAIS E MÉTODOS.....	38
3.1 - MATERIAIS	38
3.1.1 - Cimento	38
3.1.2 - Agregado miúdo	38
3.1.3 - Agregado graúdo.....	39
3.1.3.1 - Brita granítica.....	39
3.1.3.2 - Concreções lateríticas.....	39
3.1.4 - Água.....	40
3.2 - MÉTODOS.....	40
3.2.1 - Caracterização física	41
3.2.2 - Análise química	42
3.2.3 - Difração de raios X	42
3.2.4 - Reatividade do agregado	42
3.2.4.1 - Análise petrográfica	43
3.2.4.2 - Determinação da reatividade potencial pelo método acelerado e químico.....	44
3.2.4.3 - Microscopia eletrônica de varredura	53

CAPÍTULO 4.....	54
4 - APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	54
4.1 - ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO.....	54
4.1.1 - Cimento	54
4.1.2 - Agregado miúdo	54
4.1.3 - Agregados graúdos.....	55
4.2 - COMPOSIÇÕES QUÍMICAS.....	56
4.2.1 - Cimento	56
4.2.2 - Agregados miúdo e graúdos.....	57
4.3 - ANÁLISE POR DIFRAÇÃO DE RAIOS X.....	57
4.3.1 - Cimento	57
4.3.2 - Areia.....	58
4.3.3 - Brita	58
4.3.4 - Laterita Sapé	59
4.3.5 - Laterita Jacumã	60
4.4 - ANÁLISE PETROGRÁFICA	60
4.5 - DETERMINAÇÃO DA REATIVIDADE POTENCIAL	61
4.5.1 - Método acelerado.....	61
4.5.2 - Método químico.....	66
4.6 - MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA.....	70
4.6.1 - Amostra com areia - Barra A2	70
4.6.2 - Amostra com brita - Barra B1.....	72
4.6.3 - Amostra com laterita Sapé – Barra LS3	74
4.6.4 - Amostra de laterita Jacumã - Barra LJ3.....	76
CAPÍTULO 5.....	79
5 - CONCLUSÕES E SUGESTÕES.....	79
5.1 - CONCLUSÕES	79
5.2 - SUGESTÕES PARA FUTURAS PESQUISAS	81
6 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	82
APÊNDICE	87
APÊNDICE A.....	88
APÊNDICE B	107
ANEXOS.....	110
ANEXO A.....	111

CAPÍTULO 1

1 - INTRODUÇÃO

As modernas normas de concreto tratam com evidência o conceito de durabilidade, e por extensão, o de vida útil das estruturas. Sobre durabilidade entende-se que as estruturas devem ser projetadas e construídas de modo que, sob condições ambientais previstas e quando utilizadas conforme projetadas, atendam aos requisitos de segurança e estabilidade no período de sua vida útil. O conceito de vida útil aplica-se ao período de tempo durante o qual se mantêm as características das estruturas de concreto e atendido aos requisitos de uso e manutenção estabelecidos por projetista e construtor.

Os principais mecanismos de deterioração das estruturas de concreto são: lixiviação por ação de águas puras, carbônicas agressivas ou ácidas que dissolvem e carregam os compostos hidratados da pasta de cimento; expansão por ação de águas e solos que contenham ou estejam contaminados com sulfatos, dando origem a reações expansivas e deletérias com a pasta de cimento hidratado; expansão por ação das reações dos álcalis do cimento e agregados reativos; reações deletérias superficiais de certos agregados decorrentes de transformações de produtos ferruginosos presentes na sua constituição mineralógica.

O concreto apresenta algumas vantagens em relação a outros materiais de construção: facilidade com que pode ser moldado em várias formas e dimensões, disponibilidade de materiais e mão-de-obra, entre outras. Com isto é o material de construção mais usado em engenharia em todo o mundo.

O concreto sofre interações ambientais e, conseqüentemente, surgem mudanças na microestrutura e em suas propriedades com o passar do tempo. O grau de permeabilidade do concreto possibilita a maior ou menor penetração dos agentes agressivos do meio externo. Este ingresso afeta a integridade da matriz de cimento e/ou das armaduras, comprometendo seu desempenho. Segundo Metha & Monteiro (1994, p.120), países desenvolvidos consomem 40% dos recursos disponíveis para a indústria da construção civil em reparos, reforços e substituições das estruturas. Daí a necessidade de serem considerados, na fase de planejamento e projeto de estruturas de concreto, o conceito de durabilidade, que proporcionará menor impacto ambiental, assim como em menores custos posteriores com manutenção e reparos.

Fundamentalmente o concreto é formado por aglomerante, agregados graúdos e miúdos, aditivos, adições e água. O agregado, antes tido como material inerte disperso por entre a pasta de cimento, principalmente por razões econômicas, hoje é considerado como um material de construção ligado em um todo

coesivo por meio de uma pasta de cimento. Na verdade, o agregado não é inerte no exato sentido da palavra e suas propriedades físicas, térmicas e, às vezes, também químicas, têm influência no desempenho do concreto, pois em geral, a fase agregado ocupa aproximadamente 2/3 do volume do concreto, e esse elevado volume de ao interagir com o cimento, em presença de água, poderá reagir causando problemas de reação álcali-agregado.

A reação álcali-agregado era associada a obras em contato permanente com a água, como barragens, pontes e viadutos, obras portuárias, centrais termoelétricas e túneis. No entanto, recentemente o tema passou a ser considerado como de grande importância também em obras de fundações de edifícios. Pesquisas identificaram este tipo de patologia como um dos prováveis motivos que ocasionou o acidente do edifício Areia Branca na Região metropolitana de Recife-PE. Segundo Cichinelli (2007, p.43), após seu colapso já foram diagnosticados 15 casos em outras edificações residenciais, de mesmo porte, desta mesma região, afetadas com este mesmo tipo de patologia.

A RAA uma vez iniciada na estrutura de concreto pode ser minimizada através do isolamento do contato com água ou outras intervenções estruturais, mesmo assim, ainda não são maneiras concretas de interromper a evolução e conseqüentemente sua expansão. Portanto, torna-se imprescindível que os materiais a serem empregados em obras de concreto, especialmente os agregados, sejam estudados, antes de serem utilizados, com o objetivo de prevenção da ocorrência de reações deletérias.

1.1 - OBJETIVOS

1.1.1 - Geral

O objetivo principal desta pesquisa é verificar o potencial reativo dos agregados utilizados em concretos na região de Campina Grande/PB, e agregados graúdos obtidos de concreções lateríticas das jazidas de Jacumã/PB e Sapé/PB, utilizados na fabricação de concreto do tipo laterítico.

1.1.2 - Específicos

Determinar através dos ensaios experimentais o nível de expansão geral dos protótipos ensaiados;

- observar o grau de fissuramento superficial e profundo das amostras;
- observar se houve a formação de gel expansivo devido às reações álcali-agregado nas amostras ensaiadas;
- identificar a presença de minerais reativos nos agregados estudados;
- classificar por meio dos ensaios realizados o caráter reativo dos agregados;
- avaliar a consistência dos resultados através da comparação de vários métodos de análise.

1.2 - ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

Esta dissertação está organizada em um volume, estruturada da seguinte forma:

No Capítulo 1 constam a Introdução e Objetivos a serem alcançados. Esse capítulo tem a intenção de dar visibilidade ao trabalho, colocando de forma sucinta os motivos e as justificativas que proporcionaram a execução da pesquisa.

O Capítulo 2 é dedicado à revisão da literatura. Nele são discutidos e descritos assuntos relacionados à reação álcali-agregado e sobre concreções lateríticas.

No Capítulo 3 constam os materiais e métodos. São relatados aspectos considerados importantes sobre os procedimentos dos ensaios e a metodologia adotada na pesquisa.

O Capítulo 4 é dedicado ao item apresentação e discussão dos resultados, aonde são apresentadas e analisadas, à luz da literatura disponível, os resultados obtidos durante a fase experimental.

O Capítulo 5 trata das conclusões obtidas da pesquisa e sugestões para futuras pesquisas.

Por fim, estão incluídas as referências bibliográficas utilizadas, apêndices e anexos, onde constam as planilhas e tabelas dos ensaios realizados.

CAPÍTULO 2

2 - REVISÃO DA LITERATURA

2.1 - DEFINIÇÃO DE RAA

A reação álcali-agregado (RAA) é um processo químico em que alguns constituintes mineralógicos dos agregados reagem com hidróxidos alcalinos liberados na hidratação do cimento, ou presentes na água de amassamento, agregados, materiais pozolânicos, ou agentes externos, que estejam dissolvidos na solução dos poros do concreto. O produto da reação é a formação de uma substância viscosa, que é um gel, com propriedades expansivas. Por ser higroscópico, atrai moléculas aquosas, as quais migram através da pasta de cimento podendo gerar elevadas expansões.

2.2 - A RAA NO MUNDO

Panorama geral

Trabalhos apresentados nos anais da Second International Conference on Alkali-Aggregate Reactions in Hydroelectric Plants and Dams (SILVEIRA, 1958, apud Equipe de Furnas, Laboratório de Concreto), mostraram registros de reação álcali-agregado em estruturas hidráulicas, construídas desde 1900 com a distribuição apresentada na Tabela 2.1.

Tabela 2.1 - Registros de ocorrências de casos de reação álcali-agregado

Regiões	Nº de casos	Países com maior número de ocorrências	Nº de casos
América do Norte	50	Estados Unidos	27
Europa	25	Canadá	23
África	18	África do Sul	12
América do Sul	04	Noruega (expansões brandas)	06
Ásia	04	França	05
Total de casos	101	Grã-Bretanha	05

Fonte: Equipe de Furnas, Laboratório de Concreto

Desde os anos 30 do século passado, registraram-se anomalias em estruturas de concreto construídas no Estado da Califórnia, nos Estados Unidos.

De acordo com Metha e Monteiro (1994), Blanks e Kennedy (1995) descreveram os primeiros casos de deterioração por reações álcali-agregado nos Estados Unidos. Os autores citam ainda que 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. Durante as décadas de 1920 e 1930, pontes, barragens (Figura 2.1) e pavimentos ao longo da costa da Califórnia, apresentaram um grande número de fissuras.



Figura 2.1 - Fissuração mapeada e exudação de gel em barragem nos Estados Unidos (TIECHER, 2006)

O reconhecimento da reação como um problema ocorreu por volta de 1940, na América do Norte. Daí em diante 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 aos anos 80 (HOBBS, 1988 apud VALDUGA, 2002).



Figura 2.2 - Fissuração em pé de pilar da estrutura de um viaduto na China (TIECHER, 2006)

Thomas Elwood Stanton III, um engenheiro americano, publicou em 1940 um artigo relatando ocorrência de reação álcali-agregado 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 (METHA & MONTEIRO, 1994) (**Figura 2.2**).

A partir da década de 70, quando se julgava que o problema de RAA estava resolvido, apareceram dezenas de casos de RAA em barragens em todos os continentes, expondo a deficiência dos métodos de ensaios existentes na época. Um outro fator que contribuiu para o aumento da incidência da reação álcali-agregado foi a crise do petróleo, que forçou os fabricantes de cimento a buscar uma maior eficiência energética nos seus processos, o que levou o crescimento do teor de álcalis dos cimentos (HASPARYK, 2006)

Considera-se hoje que vastos depósitos de agregados reativos estão localizados nos Estados Unidos, leste do Canadá, Austrália (**Figura 2.3**), 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 apud VALDUGA, 2002). Há países como a África do Sul, que entre 1970 e 1996 gastaram cerca de trezentos milhões de dólares em reparos e manutenção de estruturas afetadas por RAA e há outros em que aproximadamente 25% das estruturas de barragens estão afetadas pela reação (ANDRIOLO, 1999 apud VALDUGA, 2002).



Figura 2.3 - Fissuração mapeada da estrutura de uma ponte na Austrália (TIECHER, 2006)

A RAA no Brasil

Priszkulnik (2005) cita que se deve a Gitahy (1963) e Ruiz (1963) os primeiros registros brasileiros sobre o tema "reação expansiva álcali-agregado em concretos". No âmbito brasileiro, são dezenas de estruturas de concreto acometidas pela reação álcali-agregado.

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 (VALDUGA, 2002).

Andriolo (2000) relata os casos de barragens afetadas por reação álcali-agregado no Brasil, como apresentado na **Figura 2.4**. 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 no estado de São Paulo. O autor descreve, pelos 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 conseqüências são ainda maiores, no caso de eventuais danos. Desníveis milimétricos provocados por expansões nessas estruturas podem causar paralisação de máquinas em hidrelétricas (VALDUGA, 2002).



Figura 2.4 - Fissuras na face lateral do pilar nº 6, sentido jusante na UHE Furnas (HASPARYK, 2005)

Embora maior atenção seja dada as barragens afetadas pela reação, salientam-se que diversas outras estruturas também sofrem tal deterioração, tais como obras portuárias, blocos de fundação, pontes (**Figura 2.5**), viadutos, dormentes de concreto, pistas de aeroportos, túneis e estruturas rodoviárias (VALDUGA, 2002).



Figura 2.5 - Ponte sob ação da RAA (LOPES, 2004)

Recentemente no Brasil, esse fenômeno está ocorrendo em edifícios e com intensidade significativa a ponto de fissurar alguns blocos de fundações. Trata-se, portanto, de um novo desafio ao conhecimento e à engenharia nacional.

No Nordeste, o surgimento de patologias deste tipo em edificações está mobilizando profissionais do setor da construção e a comunidade técnica, pois já ocorreram desabamentos de edifícios, tais como o edifício Areia Branca em Jaboatão dos Guararapes e outros dois em Olinda, Edifício Érika e o Enseada de Serrambi, na região metropolitana de Recife (PE), onde as suas fundações apresentaram RAA, podendo ter sido um contribuinte neste incidente.

Em Recife há uma estimativa de 16 casos de fissurações em blocos de fundações de edificações dos quais seis casos apresentaram a presença de RAA, a partir de ensaios petrográficos.

2.3 - MECANISMO DA REAÇÃO ÁLCALI-AGREGADO

As propriedades químicas e físicas dos agregados naturais são governadas pela composição mineralógica, textura e estrutura interna, pelo grau de alteração das rochas das quais foram obtidos e pela sua alterabilidade em serviço. Ainda, em grande parte, a granulometria dos agregados detríticos e as características de britagem das rochas dependem desses fatores.

Assim, a reatividade química dos agregados depende, simultaneamente, da solubilidade ou instabilidade química intrínsecas dos minerais constituintes, porosidade, permeabilidade e tamanho das partículas. Analogamente, a massa específica dos agregados depende da massa específica dos minerais constituintes e do seu grau de empacotamento atômico. A resistência mecânica também depende da resistência

intrínseca dos constituintes granulares das rochas e da maneira como estão entrelaçados ou cimentados (PRISZKULNIK, 2005).

A composição mineralógica abrange os minerais cristalinos e não cristalinos e as fases vítreas que constituem as substâncias das rochas.



Figura 2.6 - Detalhe do gel exsudado e manchas escuras ao redor na UHE Furnas (HASPARYK, 2005)

A RAA já foi definida anteriormente como um processo químico onde os minerais dos agregados e os hidróxidos alcalinos reagem gerando um gel higroscópico e expansivo (**Figura 2.6**). Neste fenômeno, segundo Gitahy (1984 apud PRISZKULNIK, 2005), Hansen (1944) explica o efeito da expansividade pelo fato da pasta de cimento funcionar como membrana osmótica semipermeável, permite a migração das moléculas aquosas para o gel, mas não deste para a solução. Surge então um processo de inchamento originando uma pressão hidráulica, e ao superar a resistência à tração do concreto é iniciada a formação de fissuras que se propagam do meio interno para o externo do elemento estrutural considerado. As pressões hidráulicas com origem neste processo podem atingir valores da ordem de 13,3 MPa, segundo os autores supracitados.

A velocidade de desenvolvimento e magnitude das deformações nas estruturas de concreto é função de várias variáveis, tais como: 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/ou externas.

Segundo Priszkulnik (2005) o ataque ao agregado compreende um processo físico, em que ocorre migração dos íons Na^+ , K^+ e OH^- da fase líquida intersticial para a partícula de sílica reativa, e um processo químico, envolvendo reações com o agregado e formação de um gel de silicato alcalino, que se desenvolve em duas etapas:

a) reação ácido-base, conforme equações [1] e [2] ilustradas na **Figura 2.7**, entre os grupos silanóis e os íons hidroxila, com formação de um gel:

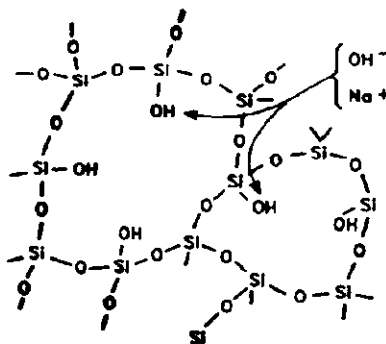


Figura 2.7 - Ataque dos íons OH⁻ ao grupo silanol (TURRIZIANI, 1986; HAPARYK, 1999)



b) ataque das pontes de siloxanos conforme equação [3] e ilustrada na **Figura 2.8**:

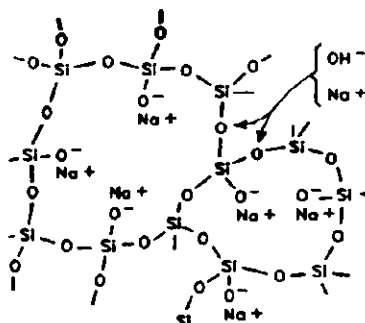
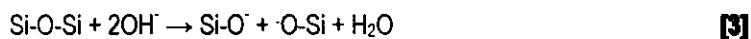


Figura 2.8 - Ruptura das ligações do grupo siloxano pelos íons OH⁻ (TURRIZIANI, 1986; HAPARYK, 1999)



A estrutura da sílica é destruída com o processo de formação de um silicato alcalino Si-O-Na, ou quando é gerado grupos H₂SiO₄ que permite a absorção de água e de íons alcalinos resultando em expansão, fissuração, exsudação de gel e deterioração da estrutura.

O autor descreve que os íons Na⁺, K⁺ e OH⁻ difundem tanto mais facilmente quanto mais permeável é a interface pasta de cimento-agregado. A segunda etapa tem a participação dos agregados, sendo que o ataque será superficial se as partículas reativas apresentarem baixa permeabilidade. Neste caso, o tamanho da partícula exerce papel importante na fase inicial da reação. Por outro lado, com partículas de permeabilidade

elevada, os produtos da reação podem ser identificados no seu interior, como nos planos de clivagem. A intensidade da reação depende, então, do volume da partícula. Abaixo de um volume crítico, as partículas terão reagido totalmente antes que os álcalis disponíveis tenham esgotado.

A expansão do gel abrange sua hidratação, expansão e dissipação. A expansão é considerada como uma adsorção física do fluido pelo gel, capaz de produzir uma expansão localizada. Este embebedimento de fluido é assimilado a um fenômeno de osmose. A dissipação do gel é função da viscosidade do silicato e, mais particularmente, da relação álcali/silica. O gel pode impregnar a pasta de cimento e colmatar os poros (PRISZKULNIK, 2005).

No Simpósio sobre Reatividade Álcali-Agregado Prezzi et al. (1997) discutiram a interpretação do mecanismo da reação álcali-agregado através do modelo de dupla camada, com base na química de superfícies e colóides, tal como aplicada, por exemplo, para explicar a mudança de volume de solos argilosos (SABBAG, 2003; PRISZKULNIK, 2005).

Prezzi et al. (1997) relatam que a reação está relacionada com o fato de que a superfície da sílica, carregada com uma dupla camada de cátions (íons sódio, potássio e cálcio) neutraliza a carga negativa, presente na solução dos poros do concreto. Tal reação é responsável pela dissolução da sílica e a formação de um gel, que em presença de água, é expansivo (PRISZKULNIK, 2005).

Com relação ao poder de expansão do gel formado pela reação, considera-se que um gel com mais teor de íons sódio ou potássio (Na^+ , K^+) terá maior expansão que um gel rico em cálcio, pois a valência e a concentração de íons determinarão a espessura da dupla camada elétrica e as forças de repulsão (íons monovalentes Na^+ e K^+ produzem maior espessura na dupla camada) (PREZZI, et al., 1997; HASPARYK, 1999 apud SABBAG, 2003).

Segundo Valduga (2002) 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 há fissurações. É, portanto, a absorção de água pelo gel um dos fatores que causa a deterioração. A autora cita que 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.

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.

Para melhor visualização do processo de reação serão apresentadas na **Figura 2.9** as etapas desde a formação do gel até a fissuração:

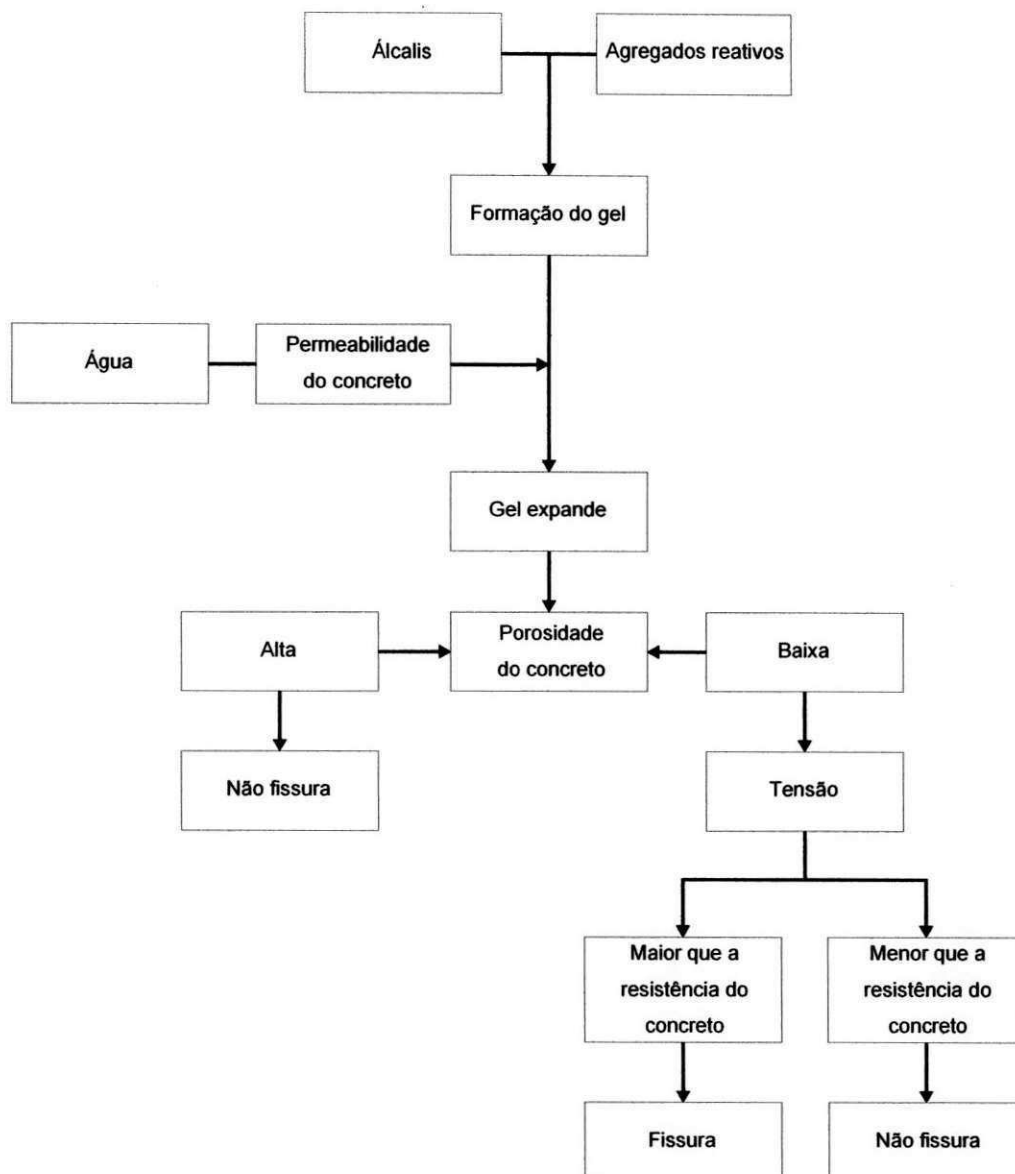


Figura 2.9 - Processo de reação álcali-agregado (adaptado de VALDUGA 2002)

2.4 - TIPOS DE REAÇÃO

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

- Reação Álcali- Silica (RAS);
- Reação Álcali- Silicato (RASS);
- Reação Álcali- Carbonato (RAC).

2.4.1 - Reação álcali-silica (RAS)

Reações álcali-silica (RAS) são o tipo de reações expansivas mais conhecidas e registradas no mundo. 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.

As RAS produzem géis e cristais encontrados em todas as estruturas degradadas de concreto, seja ao redor dos agregados, seja exsudada na superfície do concreto (**Figura 2.10**).



Figura 2.10 - Detalhe de gel exsudando a partir da fissura na superfície do concreto (HASPARYK, 2005)

A sílica amorfa constitui a forma mais desordenada e reativa de sílica e pode estar presente em calcedônias (uma variedade de quartzo fibroso ou 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 (VALDUGA, 2002).

A sílica em formato tetraédrico, tem como unidade básica estrutural o íon silício Si^{4+} , circundado por quatro íons de oxigênio O^{2-} (PAULON, 1981 apud SABBAG, 2003), conforme **Figura 2.11**.

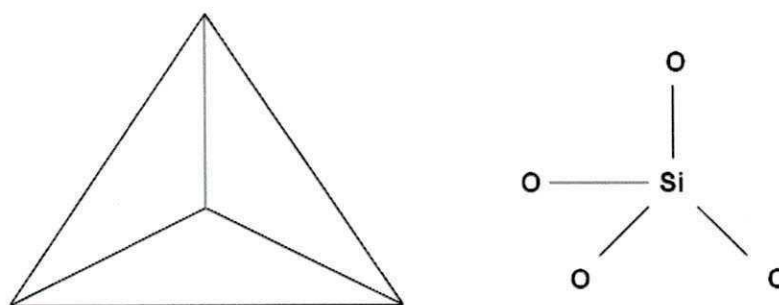
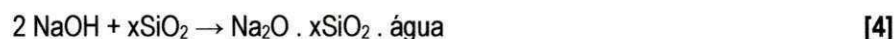


Figura 2.11 - Estrutura tetraédrica da sílica (HASPARYK, 1999)

A RAS vai depender principalmente da cristalinidade da sílica, que poderá ser avaliada qualitativamente por microscópio óptico. Valduga (2002) cita que uma possível reação para explicar o fenômeno consta em estudos de Tang et al. (2000) ilustrada na equação [4].



O gel produzido por esse tipo de reação pode ser colorido ou branco, ceroso ou aquoso. (Figura 2.12). Quando molhado e exposto a dióxido de carbono, carbonatará e, em seguida, quando seco, aparecerá esbranquiçado (HOBBS, 1988 apud VALDUGA, 2002).



Figura 2.12 - Aparência dos géis coletados na superfície do concreto de uma UHE afetado pela RAS (HASPARYK, 2005)

2.4.2 - Reação álcali-silicato (RASS)

A RASS é da mesma natureza da reação álcali-silica, porém o processo ocorre mais lentamente, envolvendo alguns silicatos que compõem os feldspatos e a presença do quartzo deformado (tensionado), quartzo microcristalino a criptocristalino e minerais expansivos do grupo dos filossilicatos (PRISZKULNIK, 2005).

Esta reação ocorre 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 gnaisse e quartzitos;
- algumas rochas magmáticas, como os granitos.

De acordo com Valduga (2002), alguns autores como Tang et al. (2000), consideram a reação álcali-silicato como uma forma de reação álcali-silica, subdividindo então os tipos de reação em apenas dois, devido à grande semelhança.

A RASS é a reação mais encontrada em barragens construídas no Brasil e agora em blocos de fundações na região metropolitana do Recife. 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.

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 (VALDUGA, 2002).

2.4.3 - Reação álcali-carbonato (RAC)

A RAC ocorre de forma totalmente diferente das reações álcali-silica e álcali-silicato. Este tipo de reação ocorre quando do emprego de certos tipos de agregados carbonáticos contendo calcários dolomíticos e impurezas argilosas como agregado para o concreto, reagem com as hidroxilas dos álcalis (PAULON, 1981 apud SABBAG, 2003).

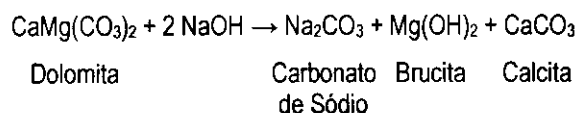
De acordo com Xu et al. (2000) citado por Valduga (2002), a RAC é o tipo de reação que mais vem sendo estudada nestes últimos anos, devido ao pouco conhecimento existente a seu respeito, à dificuldade em identificar agregados carbonáticos reativos e o fato dessa reação não pode ser tão facilmente inibida como RAS.

No Brasil não existem casos registrados de ocorrência da reação álcali-carbonato, mas em países como EUA, Iraque, Inglaterra e China encontram-se concretos afetados por esta reação (HASPARYK, 1999). Estruturas como estacas, trilhos ferroviários, aeroportos e pontes são as mais atingidas.

Swenson (1957) estudou a expansão ocorrida em concretos preparados com agregado calcário-dolomítico da região de Kingston, no Canadá (PRISZKULNIK, 2005).

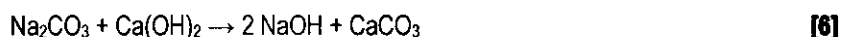
As rochas reativas contêm, em geral, grandes cristais de dolomita [$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$] espalhados e circundados por matriz de granulação fina de calcita (CaCO_3) e argila. Essa reação química não apresenta formação de gel expansivo.

A expansão das rochas carbonáticas, calcários dolomíticos argilosos, ocorre pela reação do ataque dos álcalis do cimento ao calcário dolomítico formando brucita, carbonato alcalino e carbonato cálcico mostrada na equação [5]. Esse tipo de reação é chamado de desdolomitização, o que modifica o arranjo da textura do calcário e causa o aumento do volume (PRISZKULNIK, 2005).



[5]

Após a ocorrência da desdolomitização descrita na equação [5], o carbonato de sódio (carbonato alcalino) reage com os produtos da hidratação do cimento, dentro da pasta de cimento através da equação [6].



Nessa reação ocorre novamente a formação dos álcalis, possibilitando a continuidade da reação de desdolomitização. Este ciclo ocorrerá até o consumo total da dolomita ou até que a concentração de álcalis tenha sido reduzida por reações secundárias (PAULON, 1981 apud SABBAG, 2003).

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.

Valduga (2002) relatou que os estudos conduzidos por Tang e Deng (1993), provam 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.

Segundo Tang et al. (1994, apud PRISZKULNIK, 2005), a reação de desdolomitização e subsequente cristalização da brucita podem provocar expansão considerável. Entretanto, a expansão causada direta ou indiretamente pela desdolomitização trata-se, em geral, de pré-requisito para outros processos expansivos.

A RAC é uma reação bem complexa e até hoje existem consideráveis divergências sobre o provável mecanismo da reação. É uma RAA completamente distinta das reações do tipo RAS ou RASS, e bem mais rara.

2.5 - ESTRUTURAS AFETADAS PELA RAA: DETECÇÃO E INTERVENÇÕES

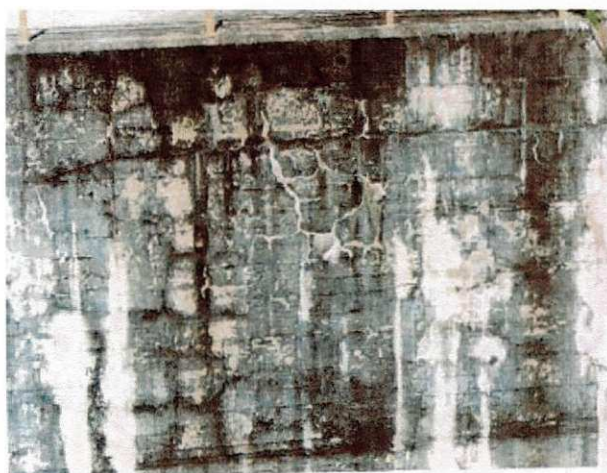
A RAA embora conhecida da ciências há muitos anos, é uma reação que se manifesta em geral após décadas da concretagem. Tratando-se de uma reação lenta, na maioria das vezes pode ser detectada com antecedência suficiente para permitir intervenções corretivas, o que reforça ainda mais a importância da realização de inspeções periódicas nas estruturas e análise prévia dos materiais.

Sintomas e Efeitos

A reação álcali-agregado se manifesta de várias formas, sendo que os principais sintomas verificados em estruturas de concreto segundo Valduga (2002) e Sabbag (2003) são:

- 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 à superfície dos agregados graúdos;
- possibilidade de ocorrência de bordas (anéis escuros ou películas brancas) de reação ao redor dos agregados que reagiram com os álcalis;
- presença de gel (material branco ou vítreo) exsudando ou preenchendo total ou parcialmente os poros ou 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).



(a)



(b)

Figura 2.13 - Exemplos de fissuração em mapa causados pela RAA: (a) pilar do vertedouro da barragem Furnas e (b) Porto Colombo (LOPES, 2004)

Essa fissuração ocorrida como observadas nas **Figuras 2.13**, pode levar à penetração de água com transporte de elementos agressivos e ainda à perda de estanqueidade (SABBAG, 2003).

No caso de estruturas hidráulicas, a fissuração pode conduzir à perda da estanqueidade, à lixiviação e redução do módulo de elasticidade do concreto que aumenta as deformações da estrutura (**Figura 2.14**).



Figura 2.14 - Desnívelamento entre juntas e fissuras superficiais na UHE Furnas (vertedouro-muro de transição) (HASPARYK, 2005)

No caso de concreto armado, a fissuração causada pela RAA propicia o ingresso de outros agentes externos agressivos que podem despassivar o aço das armaduras causando sua corrosão e gerando outros problemas de durabilidade. As principais conseqüências da RAA sobre as propriedades do concreto são: uma discreta redução na resistência à compressão, significativa perda da resistência à tração e acentuada queda no módulo de elasticidade.

“A RAA não leva ao colapso repentino da estrutura, nem pode ser a única causa do desabamento de uma edificação. O importante é a análise de cada caso e a adoção das medidas cabíveis...” declarou o engenheiro Selmo Kuperman do IBRACON (REVISTA CONCRETO - IBRACON, 2005).

Diagnóstico

A única evidência inquestionável de que uma estrutura de concreto está afetada pela RAA é a presença do gel resultante da reação. Uma das características da reação é a existência de uma “borda de reação”, constituída pelo gel em torno do agregado e que, na maioria das vezes, não é perfeitamente visível a olho nu. Dessa forma, à ocorrência da reação pode passar despercebida durante anos a fio até que, eventualmente, o aparecimento de fissuração leve a um estudo mais aprofundado e a seu conseqüente reconhecimento e constatação. Convém ressaltar que expansões deletérias, causadas pela RAA não ocorrem sem que os

produtos da reação apareçam; por outro lado, produtos da reação podem aparecer sem que a expansão devida à RAA seja danosa.

A distribuição e intensidade das fissuras geradas por RAA dependem da restrição à expansão, induzida pelo estado de tensão, pela densidade e pela localização das armaduras nas peças de concreto armado. Esta característica muitas vezes leva a um diagnóstico equivocado quanto a essa manifestação patológica, creditando essas fissuras a outras causas (GALLO et al., 2007).

Uma rotina recomendada para diagnosticar e verificar o estágio em que se encontra a reação em uma estrutura, normalmente, deveria envolver (OLIVEIRA, 2007):

- observação geral da estrutura por inspeções visuais;
- histórico e levantamento de dados dos materiais (cimentos, agregados, aditivos), dosagens e propriedades dos concretos usados;
- interpretação inicial dos dados;
- análise de instrumentação instalada na estrutura (auscultação existente);
- implantação de sistema de auscultação (quando possível) para verificar o andamento (amplitude e velocidade) das deformações-expansões;
- extração de testemunho de concreto, para análise petrográfica, determinação das propriedades bem como verificação de expansões residuais para possível avaliação da intensidade da RAA;
- adoção (eventual) de modelagem matemática para estabelecer níveis de previsão da continuidade do fenômeno e extensão dos danos.

No caso de ensaios de expansão residual em testemunho de concreto, realizados em laboratório, estes podem auxiliar na avaliação da RAA, quando esta já se encontra instalada em uma estrutura de concreto, durando normalmente um ano.

As condições de exposição dos testemunhos podem variar em função do objetivo que se pretende e do ambiente na qual a estrutura se encontra.

Concluindo do exposto até o momento, pode-se reafirmar que a RAA é uma reação de longa duração, de conseqüências controláveis, conhecida há anos, porém ainda não completamente dominada pela engenharia mundial. Não existem meios nem procedimentos para determinar com precisão o tempo e a velocidade da reação, nem qual seu tempo de duração. O que se sabe é que sua intensidade pode diminuir com o tempo, na

medida em que os álcalis internos disponíveis para a reação sejam consumidos, que não haja fonte externa de suprimento de álcalis e que seja impedido ou reduzido o ingresso de umidade no concreto.

Intervenção e Medidas Corretivas

Apesar de não existir uma maneira efetiva de interromper a evolução da RAA, são adotadas algumas medidas após o diagnóstico preciso da RAA, com o objetivo de minimizar os danos causados pelas expansões.

É importante ressaltar também que os custos envolvidos na manutenção e reparos das estruturas são, na maioria das vezes, bastante elevados.

Recuperar estruturas com RAA instalada requer um detalhado estudo de cada caso. A paralisação da reação é objeto de pesquisas, ainda não conclusivas, que estão sendo efetuadas em todo o mundo.

Algumas medidas podem ser tomadas para reduzir a velocidade das reações em conjunto dependendo de cada situação, a saber (SABBAG, 2003):

- atenuar a velocidade do processo reativo através da limitação de acesso da água e umidade através de produtos impregnantes, penetrantes, selantes e membranas impermeáveis e estanques;
- atenuar a velocidade das reações através de tratamentos químicos com injeção de sais de lítio. Essa medida ainda tem limitações práticas para aplicações em peças maciças com grande volume de concreto;
- restringir as deformações por meio de encapsulamento/cintamento com concreto armado e/ou protendido, aplicando tensões de compressão que alcancem valores elevados da ordem de 8MPa;
- aliviar as tensões e liberar deformações pela abertura de juntas de expansão, criando vazios na estrutura de forma a permitir que as deformações-expansões se processem em determinadas direções, sendo que nem sempre se aplicam a casos de componentes de concreto armado.

Infelizmente ainda não são conhecidas medidas corretivas integrais e definitivas, com eficácia comprovada. Para qualquer solução de intervenção corretiva adotada é fundamental haver um monitoramento adequado e acompanhamento do desempenho da estrutura afetada durante sua vida útil.

Medidas de Prevenção em Obras Novas

A melhor maneira de evitar ou reduzir a possibilidade de ocorrência da RAA é conhecer as características dos materiais componentes do concreto através de estudos prévios e adotar medidas que atenuem as condições favoráveis a sua ocorrência.

As medidas preventivas a serem adotadas com o objetivo de se evitar a instalação da RAA e, conseqüentemente, os efeitos danosos às estruturas de concreto são (SABBAG, 2003):

- estudo preliminar da rocha ou agregados a serem empregados na obra;
- caracterização físico-química do cimento a ser empregado na obra;
- ensaios de laboratório da combinação cimento-agregado;
- utilização de adições minerais/pozolânicas.

No estudo do cimento, é importante que seja verificado o teor de álcalis totais e solúveis, o qual pode ser determinado através de análise química.

Caso o agregado seja dado como reativo, após o estudo preliminar, deverão ser tomadas medidas preventivas no que diz respeito à troca e/ou adequação dos materiais.

A primeira opção seria a utilização de um outro tipo de agregado comprovadamente não reativo. Entretanto, nem sempre é possível e viável esta opção de troca. Em relação ao cimento, deve-se utilizar um tipo contendo baixo teor de álcalis. Segundo a ASTM C-150, um cimento com baixo teor de álcalis tem como requisito químico opcional que o equivalente alcalino ($\%Na_2O + 0,658.\%K_2O$) não exceda 0,60%. De acordo com o ACI Committee 221, o limite recomendado é de 0,40%. No entanto, fixar apenas este parâmetro não é garantia da inibição da reação uma vez que podem existir fontes externas adicionais de álcalis contribuindo no processo.

Finalmente, mantendo-se o agregado reativo, deve-se então estudar outros tipos de cimento (Cimento Portland de Alto Forno – CP III ou Cimento Portland Pozolânico - CP IV), bem como o emprego de adições minerais/pozolânicas tais como sílica ativa, metacaulim, cinza de casca de arroz, cinza volante ou pozolanas naturais. Estes cimentos e os teores das adições a serem empregados devem ser investigados em conjunto com o agregado reativo, através de ensaio de reatividade pela ASTM C-1567, com o objetivo de verificar a melhor opção na inibição ou redução das expansões causadas pela RAA. Compostos à base de lítio sob a forma de aditivos também têm sido apresentados como adições químicas no combate da RAA (SABBAG, 2003).

Verifica-se que o teor ideal de adição varia em função do tipo de agregado e é imprescindível a investigação do cimento e adições ideais, conforme supracitado. Para se ter uma idéia da faixa que normalmente tem sido empregada de alguns teores de adição normalmente utilizados na prática ou sugeridos a partir de experimentações temos: sílica ativa de 8% a 15%; cinza de casca de arroz amorfa, acima de 12%; metacaulim de 10 a 25%; todos em substituição ao cimento e na presença de aditivo superplastificante, pozolana natural entre 20% e 30%, cinza volante entre 25% e 50% e escória de alto-forno moída, entre 40% e 65% (PRISZKULNIK, 2005).

Através dos estudos citados anteriormente, pode-se então fazer o uso de agregados reativos na presença de cimentos próprios e pozolanas adequadas à sua condição, com riscos reduzidos da ocorrência de expansões prejudiciais à estrutura (PRISZKULNIK, 2005).

Inibidores à base de lítio parecem controlar a reação, mas o assunto ainda é objeto de estudos e pesquisas, sendo efetivo apenas em alguns casos.

Portanto, do ponto de vista da prevenção do fenômeno em obras novas há conhecimento, materiais, procedimentos e capacitação laboratorial instalada no Brasil para analisar previamente os agregados e evitar o risco dessas reações deletérias em novos empreendimentos.

Ensaio de Reatividade dos Agregados

Há vários métodos para detecção prévia de agregados reativos, tais como: análise petrográfica, método químico, método Osipov e cilindro de rochas, que avaliam unicamente os agregados e ensaios das barras de argamassa e o acelerado, que avaliam amostras de concreto e argamassa e também as combinações cimento/agregado. Os métodos acelerados, juntamente com as análises petrográficas, são os mais empregados atualmente (VALDUGA, 2002).

Além dos métodos para detecção de reatividade de agregados há os métodos da ASTM C-441 e ASTM C-1567 que auxiliam na escolha da adição mineral efetiva para prevenção ou redução do risco de ocorrência de RAA em obras novas.

A análise petrográfica deve ser a primeira etapa da caracterização da reatividade expansiva dos agregados no concreto. Utiliza-se para obter informações qualitativas sobre os minerais e a natureza do agregado quanto a sua nocividade em relação à RAA.

O resultado da análise petrográfica inclui a composição mineralógica quantitativa, o arranjo estrutural dos componentes na rocha, forma e textura, o grau de alteração e a previsão do desempenho dos agregados em serviço. A composição mineral pode ser considerado um bom indicador do potencial reativo do agregado. Esta metodologia fornece resultados rápidos na previsão da potencialidade de agregados, embora não mostram se um determinado agregado causará expansões deletérias no concreto ou argamassa, para isto deverá ser utilizado outro método de ensaio (PRISZKULNIK, 2005).

Alguns ensaios necessitam de períodos de tempo muito prolongados para obtenção de resultados, tais como o método das barras de argamassa onde os resultados são encontrados com no mínimo 1ano de análise. O método acelerado ao qual se obtém resultados aos 16 dias, chegando aos 28 dias, mostra-se como um ensaio rápido.

Pesquisadores como Andrade et al. (1997, apud VALDUGA, 2002) questionam este método das barras de argamassa 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.

Segundo Valduga (2002), relata que 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".

Andriolo (1999, apud SABBAG, 2003), sugere que um ensaio rápido deve atender:

- obtenção dos resultados em poucos dias, no máximo em semanas;
- a metodologia deve ser simples;
- os aparelhos e equipamentos devem ser de baixo custo e de fácil manuseio;
- os resultados devem evidenciar relacionamento e correspondência com a realidade;
- os erros e disposições não podem ter magnitudes que superem o campo de valores a determinar;
- a possibilidade de obter correlações de baixa dispersão, ao ser usado por operadores e laboratórios diferentes.

Quanto ao método acelerado, pesquisadores como Bérubé & Frenette (1994, apud VALDUGA, 2002) já realizaram estudos variando alguns fatores, tais como soluções de KOH, NaCl e água à 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, Moranvüle-Regourd 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 a 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 apud VALDUGA, 2002).

O método químico tem a vantagem na rapidez do ensaio. O tempo de submissão às chamadas "condições péssimas" (alta temperatura e ambiente agressivo) é bem menor que em outros métodos. Os resultados devem ser analisados com outros métodos, pois não se caracteriza como um ensaio totalmente

confiável. Este método é criticado por alguns pesquisadores e 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 (VALDUGA, 2002).

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.

Segundo Sabbag (2003), este método possibilita classificar os diversos tipos de géis formados pela RAA. Pode-se também identificar as bordas de reação na interface da pasta com o agregado e a existência de gel álcali-silicoso disperso na argamassa, poros e fissuras do agregado.

O autor ainda cita que a MEV é uma técnica muito importante, pois permite análises em grandes ampliações, possibilitando a identificação precisa dos produtos de RAA. Pode-se verificar a deterioração da estrutura devido à concentração dos produtos e classificar os vários tipos de géis formados.

Valduga (2002) relata que se deve 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 estão para análise de produtos de RAA em estruturas com reação já desencadeada. 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. (1999, apud VALDUGA, 2002), 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.

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

É importante lembrar que cada metodologia de ensaio possui limitações, apresentando assim vantagens e desvantagens. Alguns métodos podem ser considerados mais rápidos, porém devem ser utilizados com eficácia em apenas um tipo de reação.

2.6 - CONCREÇÕES LATERÍICAS

O termo laterita provém do Latim e significa tijolo. Solos lateríticos são materiais ricos em óxidos secundários de ferro, alumínio, ou ambos. Este material é encontrado na faixa de clima tropical do planeta. A América do Sul, África e Norte da Ásia possuem grandes extensões destes solos (**Figura 2.15**). O Brasil possui grandes reservas nas regiões Norte e Nordeste (CHAGAS FILHO e BARBOSA, 2000).

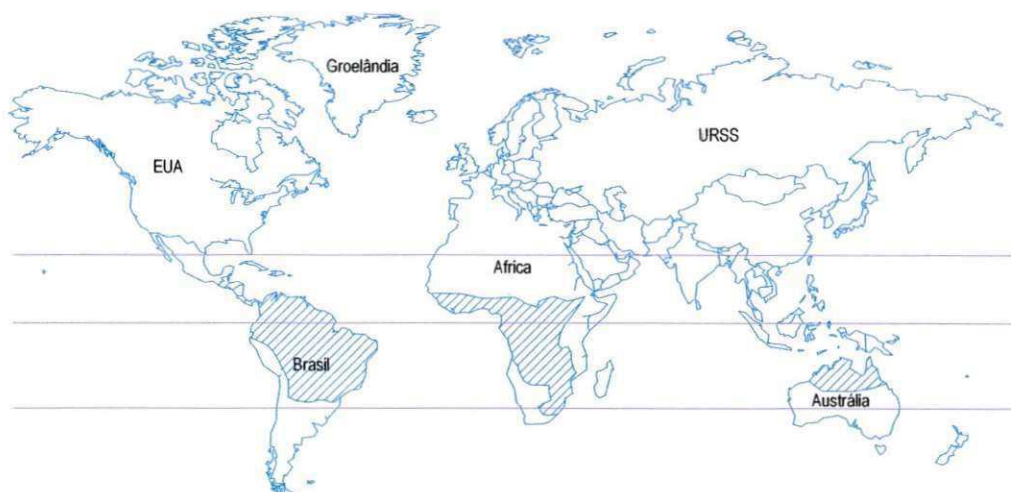


Figura 2.15 - Mapa mundial mostrando as regiões de ocorrência de solos lateríticos (SANTANA, 1987 apud CHAGAS FILHO, 2005)



Figura 2.16 - Concreção laterítica da jazida Sapé-PB

As concretões, como ilustrado na **Figura 2.16**, são resultado dos processos de transformação ocorridos nas rochas pelo intemperismo físico e químico. Chuvas abundantes e períodos de estiagem regulares aceleram os processos de intemperismos desintegrando as rochas mais rapidamente. O ciclo de molhagem e secagem

através da hidrólise, faz com que os silicatos das rochas sejam atacados surgindo havendo formação de novos compostos como bases (K^+ , Ca^{2+} , Na^+ , Mg^{2+} e S^{4+}), ferro, alumínio e silício, entre outros. Se existe uma boa drenagem as bases são carregadas pelas águas das chuvas, havendo concentração de compostos de ferro, alumínio e silício que são mais resistentes ao carreamento, formando um complexo de óxidos e hidróxidos de ferro, alumínio e silício como elementos predominantes (CHAGAS FILHO, 2005).

Chagas Filho (1997) relata que o encouraçamento - formação de concreções - ocorre no complexo ferralítico, é conhecido como acumulação relativa de sesquióxidos e quando fora deste, acumulação absoluta de sesquióxidos. Estas variações levam as diferentes propriedades características das concreções a exemplo de dureza variável, estrutura bem cimentada com poucos vazios ou aqueles pouco cimentados com porosidade. Com o intemperismo atuando continuamente e ciclicamente, segundo leis da natureza, as concreções podem desagregar-se formando os cascalhos lateríticos, que por sua vez, podem agregar-se ou não para formar novos conglomerados.

Segundo o autor, até o presente momento, a utilização destes solos lateríticos, principalmente no que diz respeito ao uso das concreções, é limitado devido à falta de conhecimentos científicos a respeito de seu comportamento. Por outro lado, a ausência da brita de rocha granítica em determinadas regiões, onera muito o custo das construções devido à distância de transporte. Assim, a utilização das concreções lateríticas para confecção de concreto armado, passa a ser uma alternativa de enorme aplicação prática em regiões onde haja escassez da brita granítica, tais como a região Norte do Brasil e regiões pobres de outros continentes.

Chagas Filho (2005) em seu trabalho de doutorado estudou concretos estruturais confeccionados com agregados lateríticos da jazida Jacumã, e obteve aumento da ordem de 150% de resistência à compressão simples em concretos, quando comparados com resultados anteriormente obtidos, usando 0,65% de superplastificante e uma relação $a/agl=0,35$. Com o uso de 1% de superplastificante, 10% de sílica ativa no traço 1:3,5 obteve resistência à compressão simples de 46,2 MPa, e sem adições $f_{c28}=38\text{MPa}$, com consumo de cimento de 487,8 kg/m^3 . As resistências à tração foram da ordem de 1/10 da resistência à compressão. O autor ainda obteve, através do processo de cura térmica, para o traço 1:5, $f_{c28}=46,7\text{ MPa}$ com consumo de cimento de 365,7 kg/m^3 , que é considerado bom. Quanto aos critérios de durabilidade, prescritos pela NBR 6118: 2003, os concretos lateríticos atenderam as prescrições normativas. Apresentaram módulos de elasticidade obtidos através dos ciclos de carregamento da ordem de 32 GPa.

O bom desempenho do concreto laterítico, revela que podem-se produzir concretos com concreções lateríticas como agregado graúdo com resistências da ordem de 40 MPa aos 28 dias de idade, e de ótimo desempenho frente aos graus de agressividades ambientais (CHAGAS FILHO, 2005).

Chagas Filho e Barbosa (1995), apud Chagas Filho (2005), estudaram a aderência das barras de aço ao concreto laterítico. O estudo foi feito em barras de aço lisas e com rugosidades, mergulhadas em corpos-de-

prova de concreto laterítico e convencional de brita de rocha granítica para efeito comparativo. Os autores descrevem que para as barras com 10 mm de diâmetro há um aumento na força requerida para puxar as barras de aço dos corpos-de-prova de concreto laterítico, com o aumento do comprimento de ancoragem da barra, Tabela 2.2 e 2.3. A resistência de aderência no concreto laterítico obtida com cargas últimas entre barras de mesmo diâmetro, mostrou que as barras lisas apresentaram somente 53% da resistência obtida para as barras rugosas. Para o concreto convencional esta relação é de aproximadamente 42%.

Tabela 2.2 - Tensão última de aderência - concreto laterítico j=28 dias 1ª série de corpos-de-prova (CHAGAS FILHO; BARBOSA, 1995 apud CHAGAS FILHO, 2005)

Diâmetro da barra d (mm)	Tipo e barra	Comprimento de ancoragem (cm)	Carga última Pu (kN)		Nº de CP	Tensão última de aderência (MPa)	Deslocamento S (mm)
			Tração	Comp.			
10	lisa	30(30d)	72,4	9	–	7,6	–
10	lisa	30(30d)	–	2	69	7,3	–
10	lisa	30(30d)	–	1	52,4	5,6	2,04

$f_{cc} = 27,5$ MPa; t = tração; S = deslocamento; $f_{ct} = 2,8$ MPa; c = compressão

Tabela 2.3 Tensão última de aderência – concreto convencional j=28 dias 2ª série de corpos-de-prova (CHAGAS FILHO; BARBOSA, 1995 apud CHAGAS FILHO, 2005)

Diâmetro da barra d (mm)	Tipo e barra	Comprimento de ancoragem (cm)	Carga última Pu (kN)		Nº de CP	Tensão última de aderência (MPa)	Deslocamento S (mm)
			Tração	Comp.			
10	rugosa	26(21d)	66	–	3	8,4	0,44
10	lisa	26(21d)	28	–	1	3,3	1,4
12,5	lisa	26(21d)	–	26	1	3,2	0,83
12,5	rugosa	26(21d)	100	–	3	9,6	0,7
12,5	lisa	26(21d)	43	–	3	4,1	0,71

A Figura 2.17 indicada abaixo, mostra as curvas carga-deflexão para barras rugosas e lisas no concreto laterítico e no concreto convencional. As curvas carga em função do deslocamento mostram uma tendência para o comportamento linear e bilinear até valores em torno de 90% da carga-pico para vários ensaios realizados. Após este valor ter sido atingido o deslizamento da barra dentro da massa de concreto cresce rapidamente, pois esta não oferece mais nenhuma resistência ao esforço aplicado. Esse estudo forneceu importantes informações sobre o fenômeno de aderência no concreto armado laterítico, subsidiando a segurança para seu uso na prática de engenharia de estruturas com esse material. (CHAGAS FILHO, 2005).

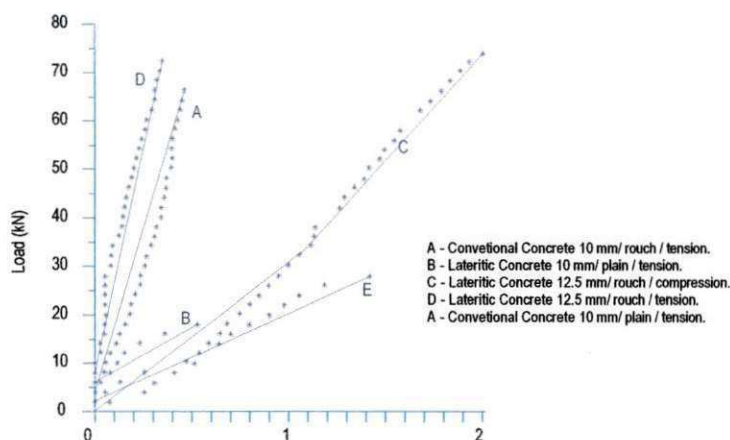


Figura 2.17 – Cargas em função dos deslocamentos para barras rugosas e lisas nos concretos lateríticos e convencionais (CHAGAS FILHO; BARBOSA, 1995 apud CHAGAS FILHO, 2005)

Barbosa e Chagas Filho (1990) realizaram ensaios em vigas de concreto laterítico e convencional, com características ilustradas na **Figura 2.18**. Os resultados obtidos encontram-se na **Tabela 2.4**. Observam-se, a partir das razões entre os momentos fletores teóricos e experimentais, os graus de segurança obtidos como os protótipos em que se usaram agregados graúdos lateríticos e graníticos (CHAGAS FILHO, 2005).

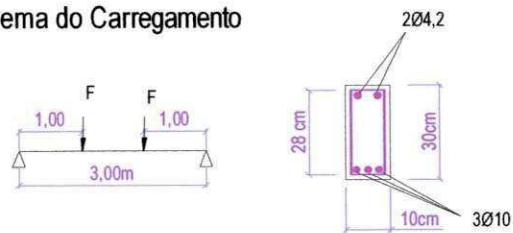
Tabela 2.4 Momentos fletores teóricos, experimentais e de serviço (BARBOSA; CHAGAS FILHO, 1990 apud CHAGAS FILHO, 2005)

Viga	Idade (dias)	F_{cj} (MPa)	F_{ck} (MPa)	M_{exp} (kN.m)	M_{teor} (kN.m)	M_{exp}/M_{teor}	M_{serv} (kN.m)	M_{exp}/M_{serv}
V2	89	23,4	16,8	39,5	21,8	1,8	15,6	2,5
V3	48	18,8	12,2	42,2	19,2	2,2	13,7	3,1
V4	49	18,9	12,3	41,2	19,2	2,1	13,7	3,0
V5gr	56	30,3	23,7	46,2	23,1	2,0	16,5	2,8
V8	28	12,7	6,1	47	22,5	2,1	16,1	2,9
V9gr	29	29,3	22,7	48,6	23,6	2,1	16,4	2,9
V10	29	17,2	10,6	23,7	10,9	2,2	7,8	3,0
V11	42	17,2	10,6	23,7	10,9	2,2	7,8	3,0
V12	35	17,6	11,0	22,1	11,1	2,0	7,9	2,8
V13	37	17,6	11,0	-	18,6	-	-	-
V14	80	19,4	12,8	27,4	14,5	1,90	10,4	2,6

M_{exp} - Momento último experimental; M_{teor} - Momento último teórico de cálculo (momento resistente de cálculo); M_{serv} - Momento de serviço - ($M_{teor}/1,4$); f_{ck} - Resistência característica à compressão do concreto; f_{cj} - Resistência à compressão do concreto a "j" dias de idade

Características dos Protótipos

Esquema do Carregamento

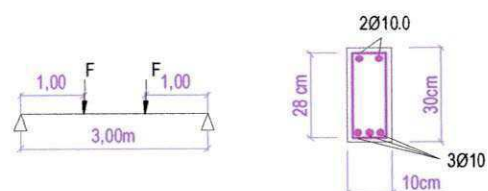


V1,V2,V3 e V4 - Concreto laterítico

V6 - Concreto laterítico - sem estribos

V5 - Concreto Granítico

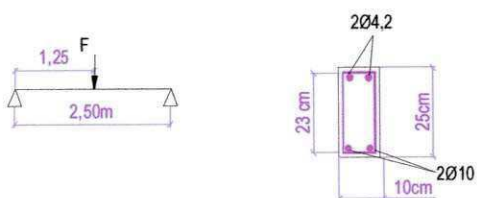
V7 - Concreto Granítico - sem estribos



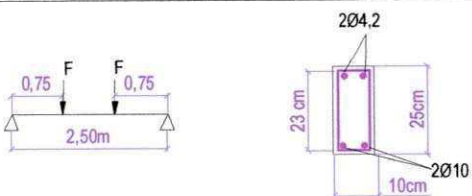
V8 - Concreto laterítico

V9 - Concreto Granítico

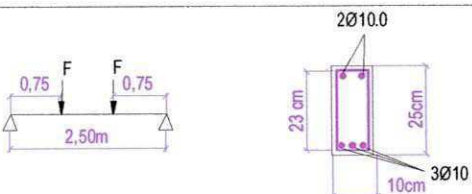
Obs.: Com armadura dupla



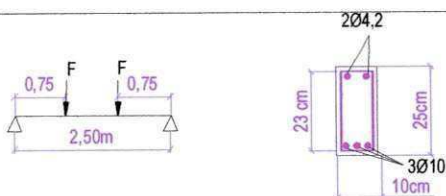
V10, V11 - Concreto laterítico



V12 - Concreto laterítico



V13 - Concreto laterítico



V14 - Concreto laterítico

Figura 2.18 – Esquemas de carregamento para protótipos ensaiados (BARBOSA; CHAGAS FILHO, 1988 apud CHAGAS FILHO, 2005)

Na Tabela 2.5 são mostrados valores encontrados por Chagas Filho (1992) para o estudo de deformações em vigas de concreto laterítico e convencional para efeito comparativo. Os valores das flechas instantâneas (a_{oteo}) foram próximas aos experimentais (a_{oexp}), indicando que as expressões teóricas, para o cálculo de flechas do concreto laterítico são plenamente compatíveis. Apesar do módulo de deformação longitudinal (E) do concreto laterítico ser aproximadamente a terça parte do módulo de deformação longitudinal do concreto granítico, as flechas não estão nesta proporção, mas sim com valores bem próximos.

Tabela 2.5 - Resultados das flechas instantâneas (a_o) e flechas em um tempo infinito (a_∞) para vigas ensaiadas a $P = 40KN$

Viga	F_{cj} (MPa)	$n=E_s/E_c$	E (GPa)	X_{II}	I (cm ⁴)	EI (kN.cm ²)	a_{oter} (cm)	a_{oexp} (cm)	a_{oteo}/a_{oexp} (%)	R	a_∞ (cm)
V1SP	15,4	17,70	12,25	11,20	16477,174	20184,538	0,981	0,998	-1,7	1,804	1,77
V2SP	23,4	15,85	1,25	10,90	15635,284	20716,751	0,956	0,907	5,4	1,731	1,65
V3MO	18,9	17,28	12,15	11,20	15566,866	20128,742	0,984	0,865	13,7	1,806	1,78
V4MO	18,9	17,14	12,25	11,20	16477,174	20184,538	0,981	0,950	3,3	1,804	1,77
V5G	30,0	5,53	38,00	7,18	6919,952	26295,815	0,753	0,774	-2,7	1,513	1,14
V6MO	17,0	16,80	18,50	11,10	16258,306	20322,883	0,974	1,000	-2,6	1,799	1,75
V7G	30,0	5,53	38,00	7,18	6819,952	26295,815	0,753	0,833	-9,6	1,513	1,14
V8SPD	12,7	16,80	12,50	9,83	17845,302	22306,628	0,888	0,928	-4,3	1,702	1,51
V9GD	29,3	5,53	38,00	6,75	7101,810	26986,887	0,734	0,745	-1,5	1,482	1,09

Cardoso Costa (1996), apud Chagas Filho 2005, estudou o comportamento de vigas e lajes pré-moldadas com concreto convencional e laterítico. Avaliou o comportamento das flechas ao longo do tempo. O comportamento foi inteiramente semelhante para os elementos estruturais estudados nos dois tipos de concreto. Embora mais deformáveis, os elementos de concreto laterítico, para as cargas de serviço, satisfazem ao Estado Limite de Utilização, ELU, prescrito pela NBR 6118. Não atingindo nenhum estado de deformação excessiva ou fissuração inaceitável.

Os resultados obtidos pelos autores incentivam os estudos para o uso das concreções lateríticas, como agregado graúdo alternativo na fabricação de concreto em construções de pequeno e médio porte, construções rurais, pavimentos de estradas e aeroportos e outros segmentos semelhantes (CHAGAS FILHO e BARBOSA, 2000).

Devido à abundância com que são encontradas na natureza, especialmente entre os trópicos, o uso das concreções lateríticas como agregado graúdo em peças de concreto armado, significa diminuição de custos nas edificações e conseqüentemente melhoria de vida para populações de vários países onde existe disponibilidade deste material de construção (CHAGAS FILHO, 2005).

CAPÍTULO 3

3 - MATERIAIS E MÉTODOS

No presente capítulo serão apresentados os materiais empregados nesta pesquisa, bem como os métodos utilizados para seu desenvolvimento. Inicialmente foi realizada caracterização física, química e mecânica dos materiais e em seguida os ensaios de reatividade dos agregados.

3.1 - MATERIAIS

3.1.1 - Cimento

O cimento utilizado foi Portland composto com filler, CIII F-32, Nassau. Escolhido por possuir alto teor de equivalente alcalino, de valor aproximado 1,96% obtido da **Tabela 4.5**, e não apresentar na sua constituição adições pozolânicas, que inibem a RAA. A quantidade de álcalis disponíveis para a ocorrência da reação também é fator importante, motivo pelo qual é fixado o teor de equivalente alcalino dos cimentos em geral 0,6%. Porém, apesar de importante, não é decisivo, pois os álcalis poderão vir de outras fontes tais como a água de amassamento. Estes dois fatores são considerados satisfatórios para os fins aos quais a pesquisa se destina.

3.1.2 - Agregado miúdo

O agregado miúdo utilizado foi areia natural oriunda do Rio Paraíba-PB, visualizado na **Figura 3.1**.



Figura 3.1 - Areia do Rio Paraíba

O agregado miúdo apresenta um módulo de finura 2,22 e dimensão máxima característica de 2,4 mm, sendo classificada como areia média. A areia é a geralmente utilizada em obras de construção na cidade de Campina Grande-PB.

3.1.3 - Agregado graúdo

Três tipos de agregados graúdos foram utilizados no trabalho, uma brita granítica muito comum em obras correntes da região de Campina Grande-PB e dois agregados lateríticos oriundos de concreções lateríticas Sapé-PB e Jacumã-PB que no decorrer dos anos vem sendo alvo de estudos por pesquisadores da região como CHAGAS FILHO (1986), CHAGAS FILHO e BARBOSA (1986), CHAGAS FILHO e BARBOSA (2000) e CHAGAS FILHO (2005).

3.1.3.1 - Brita granítica

A brita granítica (**Figura 3.2**) analisada foi uma existente no Laboratório de Estruturas da UFCG. Esta brita foi utilizada na confecção de concretos convencionais para serem comparados com concretos lateríticos em pesquisas anteriores.



Figura 3.2 - Brita granítica

3.1.3.2 - Concreções lateríticas

Os agregados graúdos lateríticos são oriundos das jazidas de concreções lateríticas localizadas nas cidades de Sapé-PB (**Figura 3.3 a**) e Jacumã-PB (**Figura 3.3 b**). Encontravam-se no Laboratório de Estruturas já britados e peneirados.



Figura 3.3 – Agregado laterítico: (a) Laterita Sapé-PB e (b) Laterita Jacumã-PB

3.1.4 - Água

A água utilizada nesse estudo foi a fornecida para consumo humano e distribuída pela Companhia de Água e Esgotos da Paraíba (CAGEPA), na cidade de Campina Grande-PB.

3.2 - MÉTODOS

Nesta seção, encontram-se descritos os métodos experimentais empregados na pesquisa. Os ensaios foram realizados de acordo com as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), American Society for Testing and Materials (ASTM), e procedimentos utilizados no Laboratório de Materiais e Estruturas (LAME-LACTEC) da cidade de Curitiba-PR.

A **Figura 3.4** ilustra o fluxograma dos ensaios de caracterização dos materiais realizados na pesquisa.

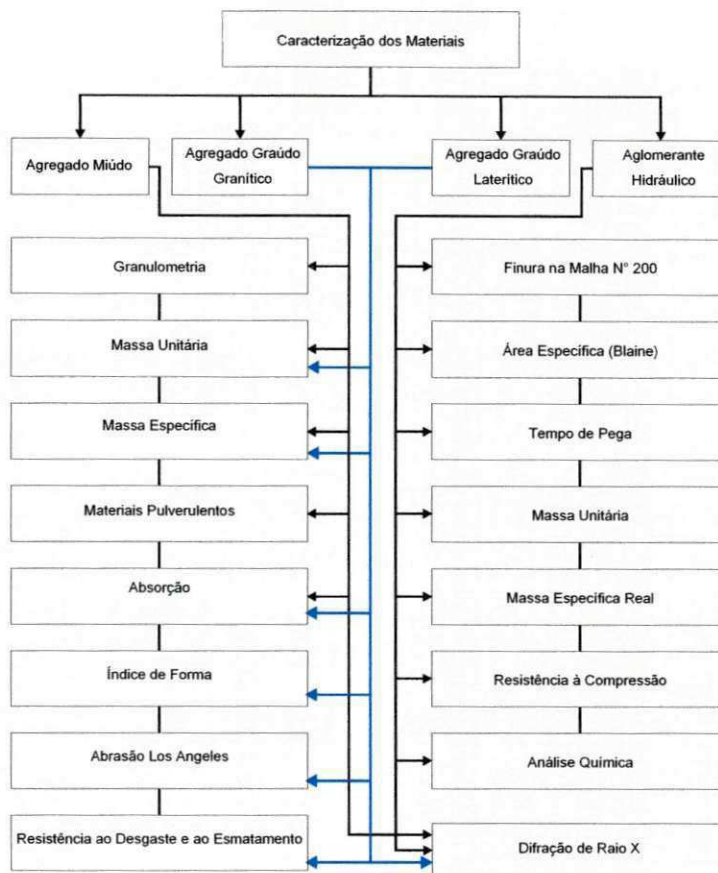


Figura 3.4 – Fluxograma de caracterização dos materiais

3.2.1 - Caracterização física

A caracterização física foi feita através dos procedimentos normativos apresentados na Tabela 3.1.

Tabela 3.1 - Ensaios de caracterização física

Ensaio	Norma
Finura na peneira nº 200 (0,074mm)	ABNT NBR 11579 (1991)
Resistência à compressão	ABNT NBR 7215 (1996)
Análise granulométrica	ABNT NBR 7217 (1987)
Teor de materiais pulverulentos	ABNT NBR 7219 (1982)
Massa unitária no estado solto	ABNT NBR 7251 (1982)
Absorção de água	ABNT NBR 9937 (1987)
Tempo de pega	ABNT NBR NM 65 (2003)
Superfície específica (Blaine)	ABNT NBR NM 76 (1998)
Resistência ao desgaste(Los Angeles)	ABNT NBR 6465 (1984)
Resistência ao esmagamento	ABNT NBR 9938 (1987)
Massa específica real	ABNT NBRs 6474 (1998) e 9776 (1987)

3.2.2 - Análise química

A análise química, apesar de não avaliar a total composição mineralógica e as propriedades físico-químicas e tecnológicas, é importante para quantificar os minerais existentes. Na análise química foram determinadas a perda ao fogo, matéria orgânica e os óxidos presentes, tais como: SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , MgO , Na_2O , K_2O , TiO_2 . As análises químicas foram realizadas segundo procedimentos utilizados no Laboratório de Análise Mineral do Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Federal de Campina Grande-PB e no Laboratório de Espectrometria de Fluorescência de Raio X do Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas da Universidade Federal do Rio Grande do Norte-RN.

3.2.3 - Difração de raios X

Foi utilizado o método do pó empregando-se um Difratorômetro SHIMADZU XRD-6000 com radiação $\text{CuK}\alpha$, tensão de 40 kV, corrente de 30 mA, tamanho do passo de 0,010 e tempo do passo de 1,000 s, com velocidade de varredura de $2\theta/\text{min}$, com ângulo 2θ . Este ensaio foi realizado no Laboratório de Caracterização da Unidade Acadêmica de Engenharia de Materiais da Universidade Federal de Campina Grande/PB.

3.2.4 - Reatividade do agregado

Foram realizados dois métodos de avaliação do agregado: análise petrográfica e método químico. O método acelerado, utilizado como terceiro ensaio, analisaram-se amostras de argamassa confeccionadas com o agregado em estudo. Ainda foi empregada Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV), como método auxiliar.

A **Figura 3.5** mostra o fluxograma dos ensaios de RAA realizados nos agregados e nas combinações agregado-cimento, para a detecção do potencial reativo dos agregados e também do fenômeno expansivo e deletério de RAA na combinação.

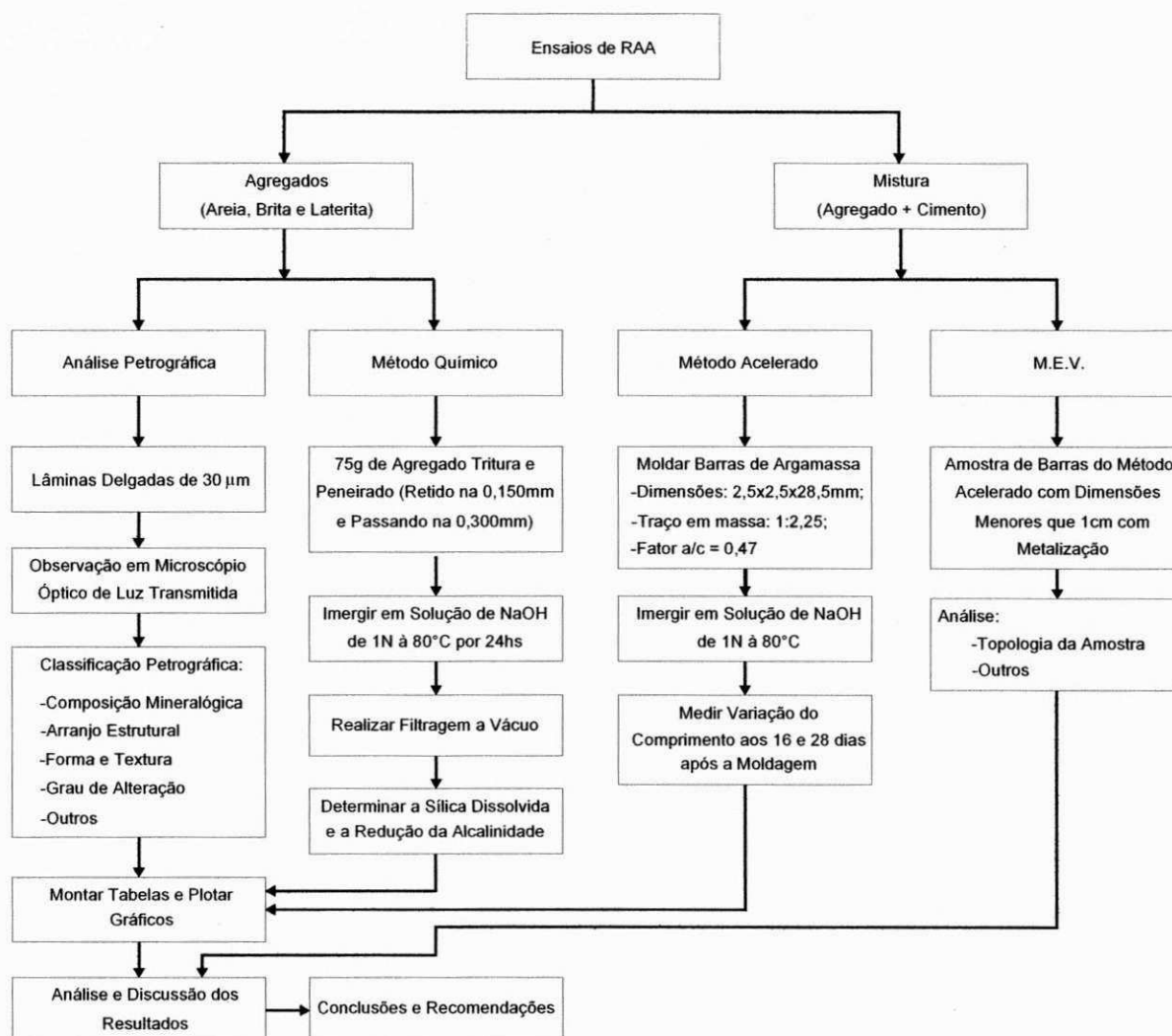


Figura 3.5 - Fluxograma dos ensaios para a detecção do potencial reativo dos agregados

3.2.4.1 - Análise petrográfica

a) Preparo das amostras

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

Agregados graúdos

Para o ensaio de análise petrográfica em agregados graúdos, inicialmente foram obtidas informações sobre uniformidade da rocha. Em seguida, procedeu-se o preparo de lâminas delgadas, com cerca de 30 µm de espessura, a fim de que o material estivesse na espessura exata para observação em microscópio óptico de luz transmitida.

Lâminas delgadas foram preparadas para todas as amostras de agregado graúdo. O processo consistiu na escolha de um fragmento representativo da rocha a ser estudada. 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 com politriz. 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.

Agregado miúdo

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

b) Análise

Todos os agregados foram analisados ao microscópio óptico de luz transmitida, através de técnicas petrográficas usuais, onde foram obtidas informações sobre o tipo do agregado, estrutura, granulação e mineralogia.

3.2.4.2 - Determinação da reatividade potencial pelo método acelerado e químico

- Preparo das amostras

Para os dois métodos de ensaios acelerado e químico, usados na determinação da reatividade potencial do agregado foram utilizados as mesmas amostras e procedimentos. O preparo das amostras seguiu as instruções do Procedimento de Ensaio e Análise (PEA-167) do LAME para o ensaio acelerado e a NBR 9774/87 para o ensaio pelo método químico. O procedimento PEA-167 do LAME é baseado na norma ASTM C-1620/05 e NBR 9773/87.

Procurou-se obter amostras representativas dos agregados realizando o quarteamento antes do processo de fragmentação.

Tabela 3.2 - Frações especificadas pela PEA-167/LAME para preparo dos materiais

Frações	Abertura da peneira		% em massa
	Passante	Retido	
Fração 1	4,75 mm (n° 4)	2,36 mm (n° 8)	10
Fração 2	2,36 mm (n° 8)	1,18 mm (n° 16)	25
Fração 3	1,18mm (n° 16)	0,600 mm (n° 30)	25
Fração 4	0,600 mm (n° 30)	0,300 mm (n° 50)	25
Fração 5	0,300 mm (n° 50)	0,150 mm (n° 100)	15

As amostras de agregado graúdo foram inicialmente reduzidas à granulometria aproximada de agregado miúdo, ou seja, diâmetro menor que 4,8 mm utilizando marreta de 1,0 kg. Em seguida o material foi peneirado, de maneira a separá-lo na granulometria em frações especificadas pelo PEA-167 de acordo com a Tabela 3.2 e mostradas na Figura 3.6.

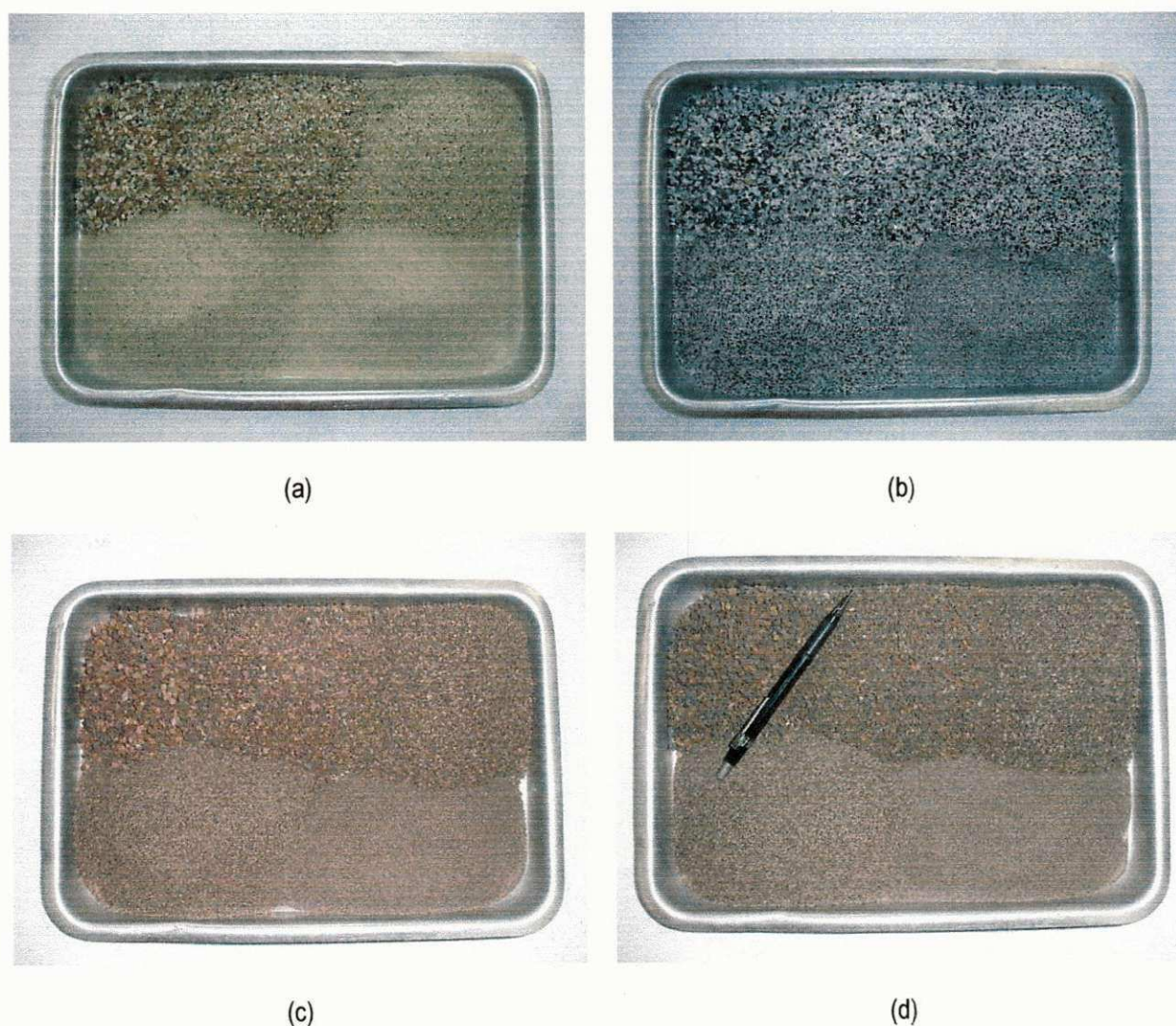


Figura 3.6 – Agregados nas frações (PEA-167): (a) areia, (b) brita, (c) laterita Sapé e (d) laterita Jacumã

Separadas as frações, o material retido foi lavado em água corrente na peneira correspondente, para total eliminação dos finos. A lavagem do agregado é importante porque no processo de fragmentação dos agregados graúdos para miúdos há formação de pó, que se não eliminado, pode alterar a granulometria do material, reduzindo as expansões reais.

O material depois de lavado foi seco em estufa, novamente peneirado, lavado e secado por três vezes, para total eliminação dos finos. Fêz-se esta repetição somente para os agregados lateríticos, devido ao fato de apresentarem muitos finos após sua fragmentação, por ser material friável. As amostras foram acondicionadas em sacos plásticos e fechados para conservação (**Figura 3.7**).

A amostra de areia foi quarteada e peneirada. Em seguida lavada, secada em estufa e acondicionada.



Figura 3.7 - Amostras dos agregados acondicionadas

a) Método acelerado

É chamado método acelerado porque o tempo de ensaio é bastante reduzido em comparação com o método das barras de argamassas (ASTM C-227/03 e NBR 9773/87).

O ensaio de expansão pelo método acelerado foi executado segundo a PEA-167, nas instalações do Laboratório de Estruturas da UFCG-CG.

Depois de preparadas as amostras como citado anteriormente, foram confeccionadas utilizando os moldes da **Figura 3.8**, 15 barras de argamassas com dimensões 25x25x285 mm, conforme combinações mostradas na **Tabela 3.3**. As composições percentuais dos agregados estão mencionadas na **Tabela 3.2**.

Tabela 3.3 - Quantidade de barras para cada combinação

Combinação	Nº de Barras
Areia + Cimento	4
Brita + Cimento	4
Laterita Jacumã + Cimento	4
Laterita Sapé + Cimento	3
Total	15



(a)



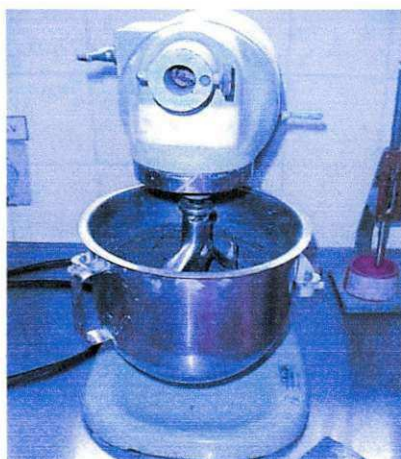
(b)

Figura 3.8 - Moldes metálicos: (a) desmontado e (b) montados e lubrificados com uma fina camada de óleo mineral

Todas as argamassas foram confeccionadas com um traço definido de 1:2,25 em massa e uma relação água/cimento fixa de 0,47. O traço e as quantidades de cada material são apresentados na Tabela 3.4, e a seqüência de fotos da Figura 3.9 ilustram o processo de mistura e moldagem.

Tabela 3.4 - Traço das argamassas (em massa)

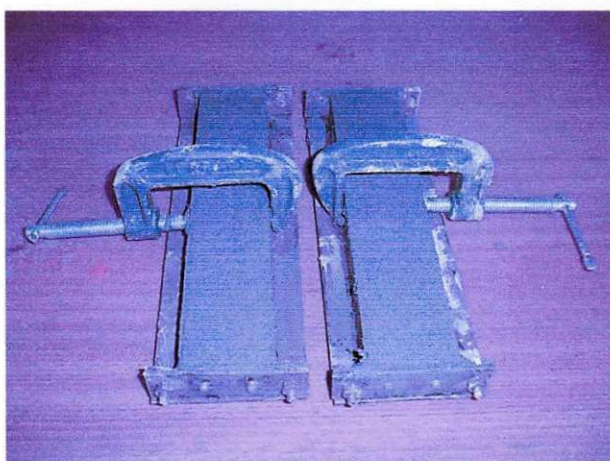
	Cimento	Agregado	Água
Traço	1	2,25	a/c = 0,47
Massa (g)	600	1350	282



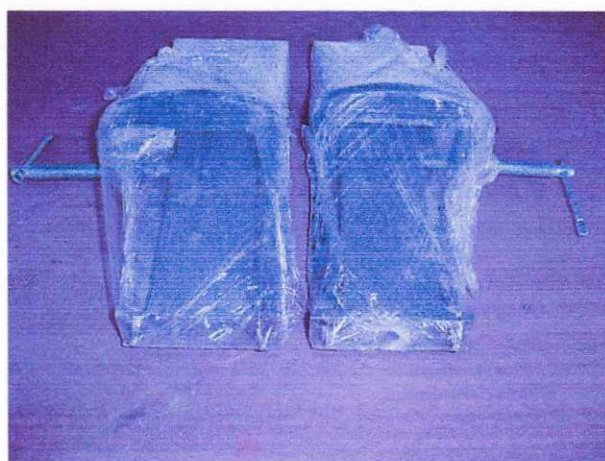
(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 3.9 - Mistura e moldagem das barras: (a) material na argamassadeira, (b) moldagem, (c) e (d) argamassa nos moldes

Os corpos-de-prova permaneceram em câmara úmida para cura durante 24 horas. Em seguida foram deformados (**Figura 3.10 a**) e realizada a medida do comprimento da barra com um paquímetro. A seguir, imersos em recipiente com água destilada durante 24h à temperatura de $23 \pm 2^\circ\text{C}$ que aumenta gradativamente até alcançar $80 \pm 2^\circ\text{C}$, evitando, assim, fissurações das barras devido ao choque térmico e permitindo uma cura acelerada (**Figura 3.10 b**). Este procedimento também teve como objetivo verificar as expansões causadas pelo aumento da temperatura ocorridas neste período.

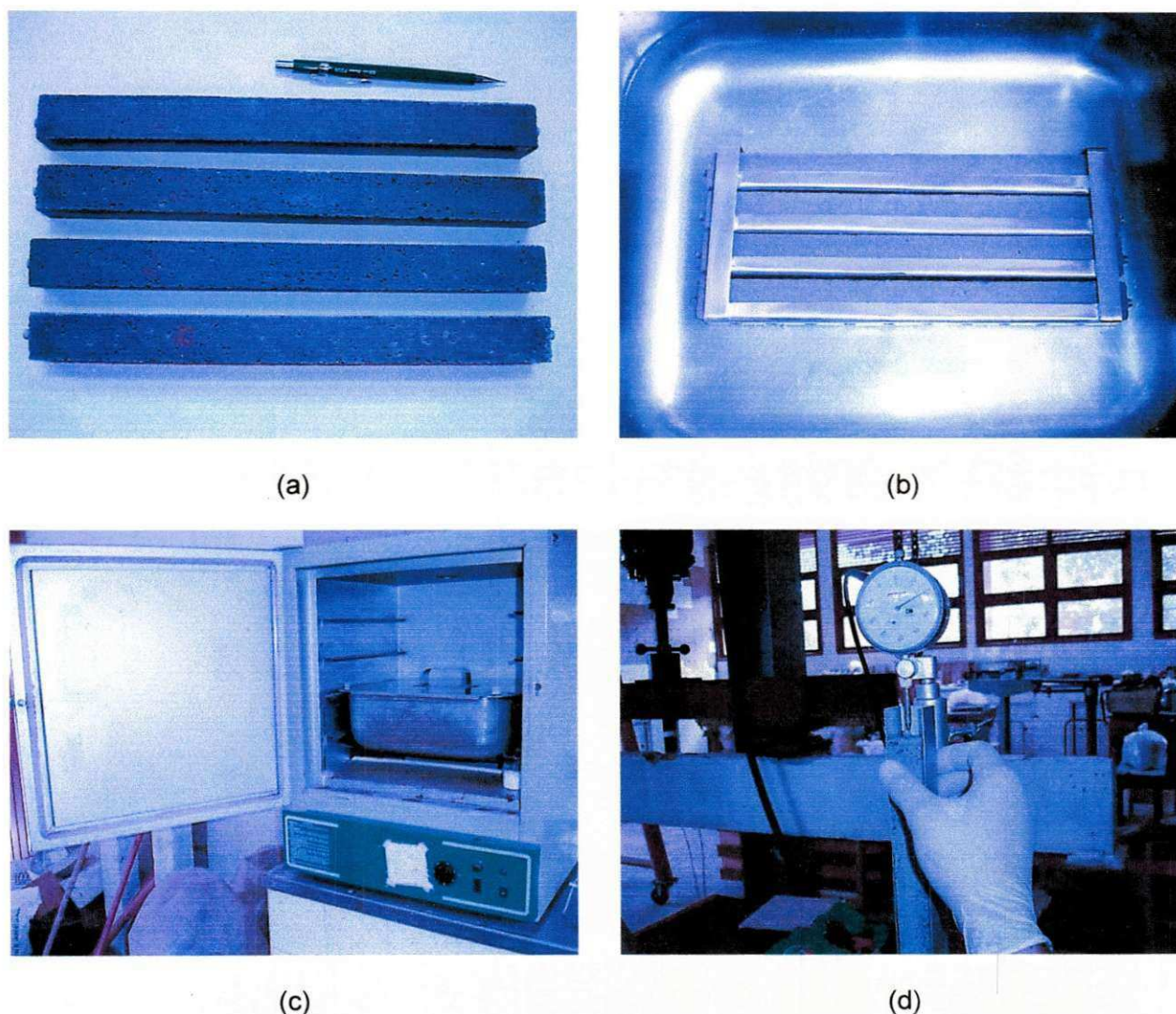


Figura 3.10 - Barras (a) após desmoldagem, (b) imersas em recipiente de aço inoxidável contendo água destilada, (c) em na estufa a 80°C e (d) medidas em relógio comparador

Após as 24 horas de imersão em água, as amostras foram retiradas do recipiente, feitas a primeira série de medidas e imersas em outro recipiente contendo solução de NaOH na concentração de 1 N, já na temperatura de $80 \pm 2^\circ \text{C}$ (Figura 3.10 c). Nesta etapa, as possíveis expansões causadas pela temperatura haviam ocorrido com imersão em água destilada, de maneira que as próximas expansões medidas poderiam ser seguramente, atribuídas às reações.

Procedeu-se leituras diárias de expansão através de relógio comparador (Figura 3.10 d). Essas leituras foram executadas em um tempo máximo de até 15 segundos, para evitar variações no comprimento dos corpos-de-prova por causa da diferença de temperatura entre a solução e o ambiente. Para cada barra, foram realizadas 4 leituras, cuja média aritmética é representativa da leitura diária. A temperatura e a concentração da solução de NaOH também foram controladas durante todo o ensaio.

A leitura de referência, segundo o PEA-167, foi realizada aos 16 dias de idade. Porém, é bastante recomendado que as leituras prossigam até os 28 dias, para que fique bem definido o comportamento do agregado. Isso é particularmente empregado para reações do tipo álcali-silicato, por serem mais lentas.

As leituras foram expressas em porcentagens de expansão e plotadas num gráfico expansão (%) versus idade (dias) exemplificado na **Figura 3.11**.

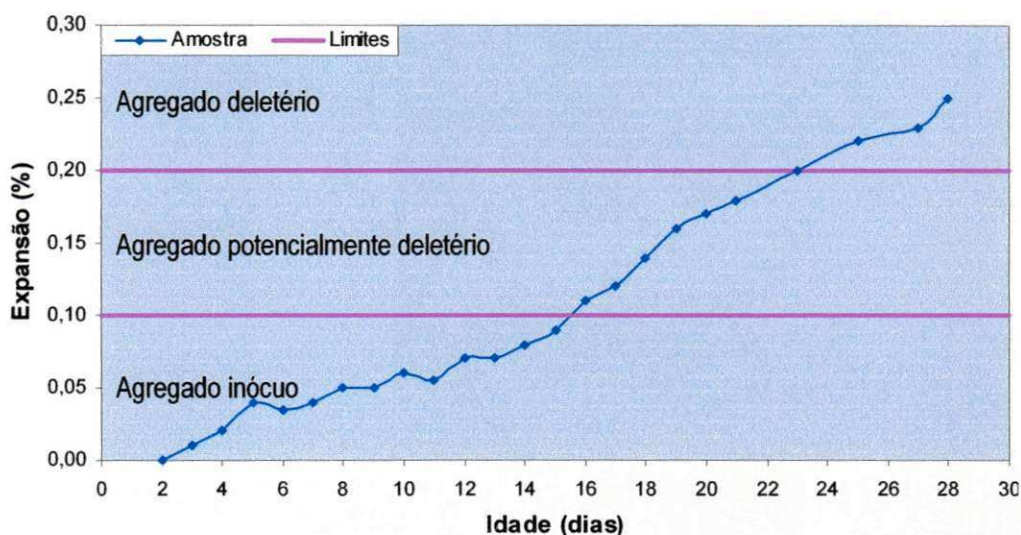


Figura 3.11 - Exemplo de gráfico de expansão (%) versus idade (dias) para o método acelerado

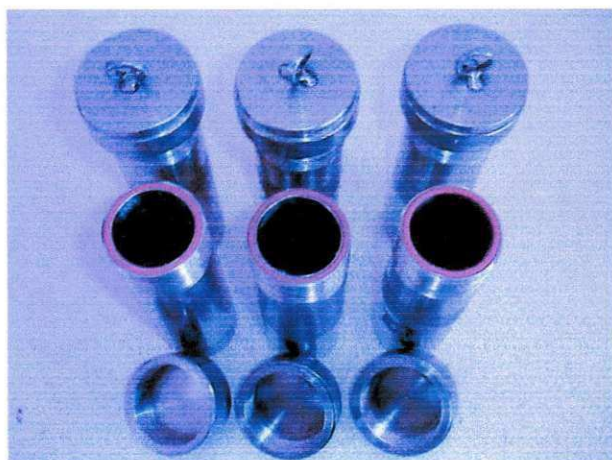
Para interpretar os resultados, na ASTM C-1260 (2005) são considerados como agregados inócuos no caso da expansão, na idade de 16 dias após a moldagem, seja inferior 0,10%, e potencialmente expansivo para valor superior a 0,20%. Valores de expansão compreendidos entre 0,10% e 0,20% mantêm a dúvida quanto ao caráter inócuo ou deletério do agregado, sendo recomendada a consideração da leitura na idade de 28 dias.

b) Método químico

Esta etapa experimental foi executada no Laboratório de Referência em Dessalinização (LABDES) da UFCG e de acordo com a NBR 9774/87. A amostra utilizada neste ensaio foi correspondente a fração 5 da **Tabela 3.2**, ou seja, passante na peneira de abertura nominal 0,300 mm e retida na peneira 0,150 mm. Após preparar a amostra conforme citado anteriormente, incluindo a etapa de lavagem do agregado, separou-se a fração necessária para cada ensaio.

Para cada amostra foram realizados três ensaios e ainda um ensaio em branco. Para cada agregado laterítico foram feitos 4 ensaios e um branco. O agregado, na quantidade de 25 g, é colocado dentro do reator de aço inoxidável (**Figura 3.12 a**) juntamente com 25 ml de solução de NaOH padronizada na concentração 1 N. O branco, consiste em colocar apenas a solução de NaOH no reator com a finalidade de verificar a presença de sílica na solução, ou seja, se a solução alcalina esta contaminada. Caso haja presença de sílica na amostra em branco, este será descontada dos valores encontrados nas demais amostras com agregado. Os reatores foram

fechados e conservados em estufa por 24 horas, à temperatura de $80 \pm 1^\circ \text{C}$. Em seguida a amostra e a solução foram filtradas a vácuo. A partir deste filtrado, foi retirado um alíquota de 10 ml e diluída em 190 ml de água deionizada, completando 200 ml de solução diluída que foram utilizadas para análise (Figura 3.12 b).



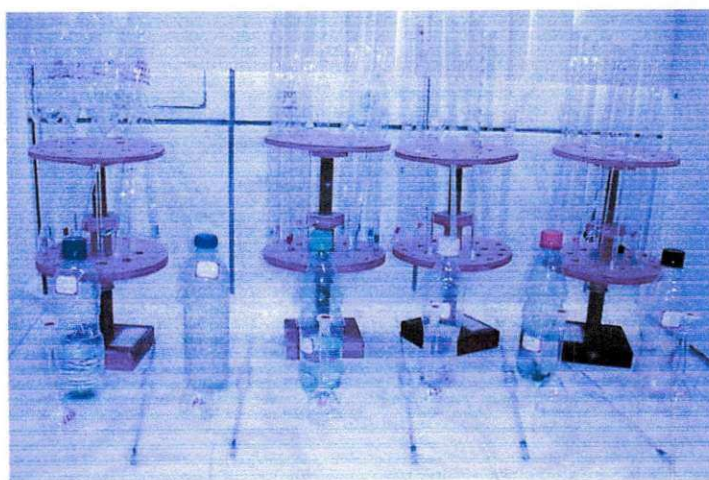
(a)



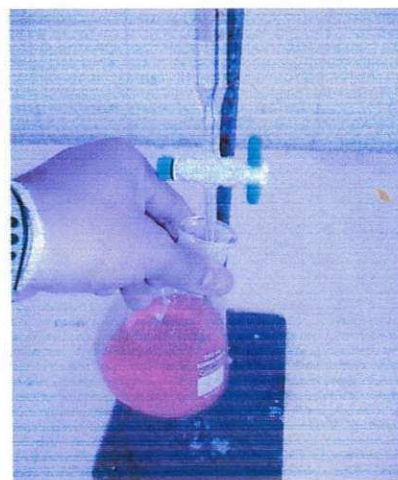
(b)

Figura 3.12 – Método químico: (a) reatores e (b) soluções diluídas das amostras para análise

Na solução foram feitos dois tipos de análise. Em um deles, quantificou-se a redução da alcalinidade da solução original. A concentração inicial da solução de NaOH é de 1 N. Após o ensaio, caso o agregado fosse considerado como reativo, este teria “consumido” uma parte dos álcalis da solução. Através da verificação da alcalinidade da solução de NaOH, quantificou-se este efeito titulando a uma parte da solução diluída (Figura 3.13 a) com ácido clorídrico padronizado de concentração 0,05N (Figura 3.13 b).



(a)



(b)

Figura 3.13 - Determinação da redução da alcalinidade: (a) soluções diluídas prontas para titulação e (b) titulação com HCl

O outro parâmetro fornecido foi a sílica dissolvida. Caso ocorra reação, através desta análise foi avaliada a quantidade de sílica do agregado que foi dissolvida e está presente no filtrado (Figura 3.14 a). Para obter este parâmetro, utilizou-se o Método Molibdosilicato e a leitura em fotômetro (Figura 3.14 b), que é utilizado pelo LABDES para a determinação da sílica dissolvida.

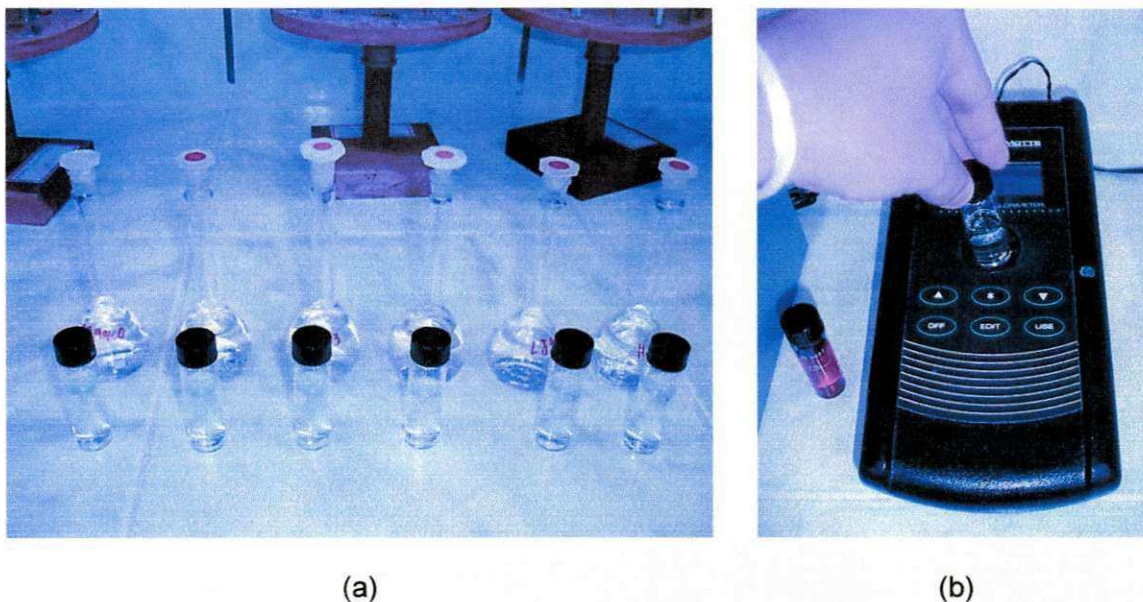


Figura 3.14 - Determinação da sílica dissolvida: (a) preparação da solução diluída para leitura e (b) leitura no fotômetro

Com os parâmetros, redução de alcalinidade versus sílica dissolvida, definiu-se um ponto no gráfico que expressa a reatividade do agregado conforme região situada (Figura 3.15).

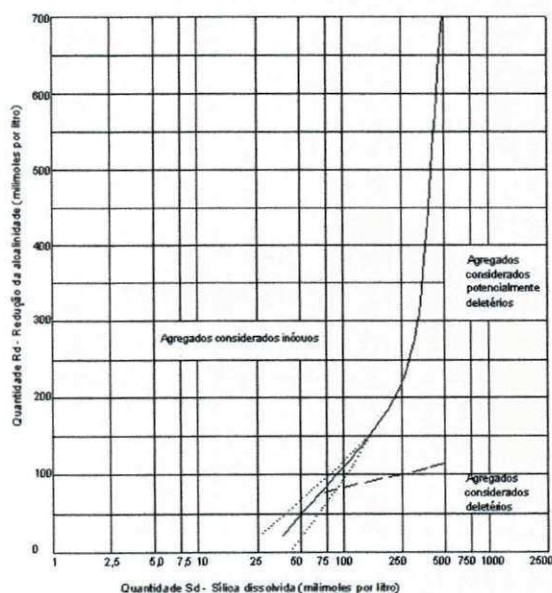


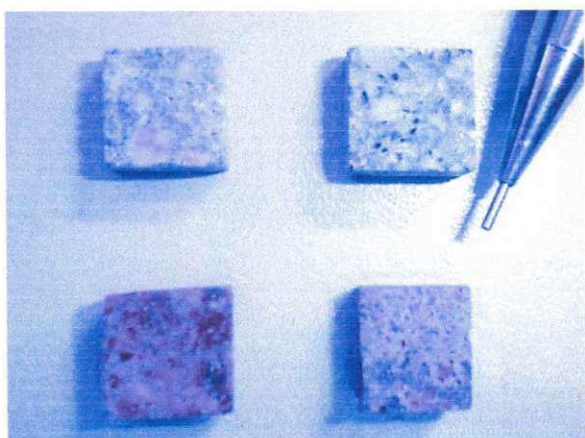
Figura 3.15 – Gráfico para análise dos resultados do método químico (NBR 9774, 1987)

3.2.4.3 - Microscopia eletrônica de varredura

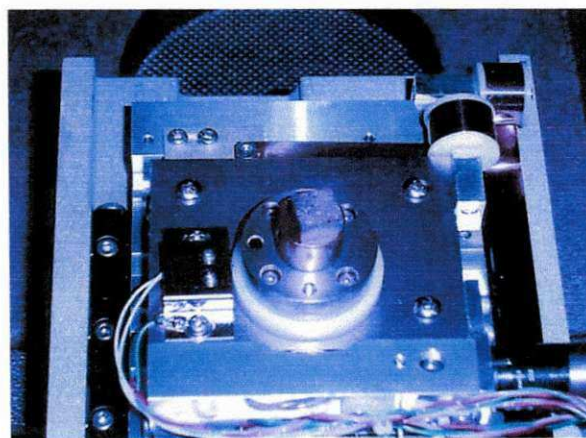
Após o término do ensaio de reatividade potencial pelo método acelerado, amostras foram submetidas à MEV para observação da microestrutura das argamassas.

Dentre as quatro barras ensaiadas para cada amostra de agregado, foram selecionadas as barras com as áreas que mais possuíam indícios de reação, tais como fissuras e barras curvadas na extremidade. As barras foram partidas e retiradas amostras do meio interno com área de 1 cm² e 0,5 cm de espessura (Figura 3.16 a).

No ensaio de MEV foram obtidas informações topológicas das amostras através de imagens de alta resolução. Os ensaios foram realizados no Centro de Tecnologia do Gás (CT-GÁS) em Natal-RN. As amostras receberam recobrimento de aproximadamente 15 nm de ouro (Figura 3.16 b) e foram analisadas em microscópio eletrônico de varredura, marca SHIMADZU SS-550 (Figura 3.16 c).



(a)



(b)



(c)

Figura 3.16 - (a) e (b) Amostra das barras de argamassa preparada para ensaio de MEV e (b) microscópio eletrônico de varredura

CAPÍTULO 4

4 - APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Neste capítulo é feita a apresentação e análise dos resultados da pesquisa. Inicialmente são analisados e discutidos os resultados dos ensaios de caracterização dos materiais. Em seguida da análise petrográfica, determinação da reatividade potencial dos agregados pelo método acelerado e químico e como ensaio complementar a microscopia eletrônica de varredura.

4.1 - ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO**4.1.1 - Cimento**

Na Tabela 4.1 observa-se que os resultados dos ensaios para determinação das propriedades físicas e mecânicas do cimento Portland CII-F 32 estão de acordo com os valores das especificações normativas da ABNT.

Tabela 4.1 - Resultados dos ensaios físicos e mecânicos do cimento CP II-F 32

Ensaio físico	Normas da ABNT	Limites:	Resultados
Finura malha nº 200 (%)	NBR 11579 (1991)	≤ 12	4,38
Massa específica real (g/cm ³)	NBR 6474 (1998)	-	3,04
Massa unitária (g/cm ³)	NBR 7251(1982)	-	1,15
Área específica (Blaine) cm ² /g	NBR NM 76 (1998)	≥2600	4.866
Tempo de pega (h:min)	NBR NM 65 (2003)	≥1:00 ≤10:00	2:03 3:40
Ensaio mecânico			
Resistência 3 dias (MPa)		≥ 10	24,00
Resistência 7 dias (MPa)	NBR 7215 (1996)	≥ 20	31,20
Resistência 28 dias (MPa)		≥ 32	38,70

4.1.2 - Agregado miúdo

Na Tabela 4.2 estão mostrados os valores encontrados para a caracterização física do agregado miúdo.

Tabela 4.2 – Resultados dos ensaios físicos do agregado miúdo

Ensaio		Norma	Resultados
Massa específica real (g/cm ³)		NBRs 6474 (1998) e 9776 (1987)	2,62
Massa unitária no estado solto (kg/dm ³)		NBR 7251(1982)	1,49
Absorção de água (%)		NBR 9937(1981)	0,50
Teor de materiais pulverulentos (%)		NBR 7219(1982)	1,70
Granulometria	D _{máx} (mm)	NBR 7217(1987)	2,40
	MF (%)		2,22

Na Tabela 4.3 temos a distribuição granulométrica do agregado miúdo utilizado. O módulo de finura foi de 2,22 e a dimensão máxima 2,4 mm, classificando a mesma como uma areia média.

Tabela 4.3 - Composição granulométrica do agregado miúdo (série normal)

Peneira nº	mm	Material retido		% que passa da amostra total
		Peso (g)	% amostra total	
04	4,80	3,00	0,30	99,70
08	2,40	39,50	3,95	95,75
16	1,20	118,84	11,88	83,87
30	0,60	227,53	22,75	61,12
50	0,30	306,92	30,69	30,43
100	0,15	238,10	23,81	6,62
Fundo:		66,20	6,62	0,00
Total:		1000,00	100,00	-

4.1.3 - Agregados graúdos

Na Tabela 4.4 estão apresentados os valores encontrados para a caracterização dos agregados graúdos, segundo as normas da ABNT.

Observa-se que há uma grande diferença nas características dos agregados graúdos, podendo se destacar o alto grau de vazios da lateritas de 26,6% em relação a brita de 3,70%. A absorção é bem elevada das lateritas comparada com a brita. As resistências ao desgaste e esmagamento mostra que as lateritas são bastante friáveis.

Estas características devem ser consideradas já que podem vir a interferir nos resultados dos ensaios para a detecção do potencial reativo dos agregados estudados.

Tabela 4.4 – Resultado dos ensaios de caracterização do agregado graúdo

Ensaio	Brita	Laterita Sapé	Laterita Jacumã
Massa específica real (g/cm ³)	2,79	3,14	-
Massa específica aparente (g/cm ³)	2,69	2,48	2,36
Massa unitária (g/cm ³)	1,40	1,43	1,44
Índice de forma	-	0,85	-
Coeficiente de vazios (%)	3,70	26,6	-
Absorção de água após 6hs (%)	1,30	9,50	5,4
Resistência ao desgaste (Los Angeles) (%)	12,50	42,50	76,10
Resistência ao esmagamento (%)	75,40	54,50	34,40

4.2 - COMPOSIÇÕES QUÍMICAS

4.2.1 - Cimento

Na Tabela 4.5 encontram-se os resultados obtidos da caracterização química do cimento Portland CPII-F 32 utilizado no preparo das argamassas para o ensaio acelerado.

Tabela 4.5 - Análise química do cimento (%)

Ensaio realizado	Cimento	
Perda ao fogo	4,80	
Dióxido de silício (SiO ₂)	29,22	
Óxido de magnésio (MgO)	2,40	
Óxido de alumínio (Al ₂ O ₃)	12,69	
Óxido de ferro (Fe ₂ O ₃)	2,32	
Óxido de cálcio (CaO)	44,80	
Álcis totais	Óxido de sódio (Na ₂ O)	0,68
	Óxido de potássio (K ₂ O)	1,51
Equivalente Alcalino (E.A. = K ₂ O + 0,658.Na ₂ O)	1,96	
Resíduo insolúvel (RI)	0,58	

Analisando os valores apresentados na Tabela 4.5 observa-se que a partir dos teores de álcalis totais do cimento, óxidos de sódio e potássio, determinou-se o teor de equivalente alcalino, do cimento encontrando-se 1,96%. Este resultado é superior a 0,60% estabelecido pela NBR 9773/87, adequando-se ao estudo.

4.2.2 - Agregados miúdo e graúdos

Na **Tabela 4.6** encontram-se os resultados obtidos da caracterização química dos agregados utilizados no preparo das argamassas para o ensaio acelerado e químico.

Tabela 4.6 - Análise química dos agregados (%)

Ensaio realizado	Areia	Brita	Laterita Sapé	Laterita Jacumã
Dióxido de silício (SiO ₂)	81,32	63,21	39,02	24,98
Óxido de magnésio (MgO)	0,33	0,97	-	-
Óxido de alumínio (Al ₂ O ₃)	8,94	16,16	1,15	3,82
Óxido de ferro (Fe ₂ O ₃)	1,14	4,63	39,21	40,36
Óxido de cálcio (CaO)	1,56	2,96	n.d.	0,08
Óxido de sódio (Na ₂ O)	1,72	3,46	n.d.	n.d.
Óxido de potássio (K ₂ O)	2,34	5,16	-	-
Óxido de fósforo (P ₂ O ₅)	0,03	0,19	-	-
Óxido de manganês (MnO)	0,03	0,07	-	-
Óxido de titânio (TiO ₂)	0,17	0,65	-	-

n.d. – não detectado

Analisando os valores apresentados na **Tabela 4.6** observa-se que a areia e brita, são constituídas por diversos óxidos, sendo predominante óxido de silício (SiO₂) e óxido de alumínio (Al₂O₃). As lateritas apresentaram-se compostas por óxidos de silício (SiO₂), óxido de alumínio (Al₂O₃) e óxido de ferro (Fe₂O₃), onde o óxido de ferro aparece como componente mais abundante, constituindo cerca de 40% dos óxidos presentes.

4.3 - ANÁLISE POR DIFRAÇÃO DE RAIOS X

4.3.1 - Cimento

Avaliando a difração de raios X do cimento Portland CII-F 32, observa-se a presença de vários picos, sendo alguns de maior intensidade, podendo-se destacar: Ca₃SiO₅, SiO₂, Ca₂SiO₄ e Ca₄(SiO₃)₃(OH)₂, conforme ilustra a **Figura 4.1**.

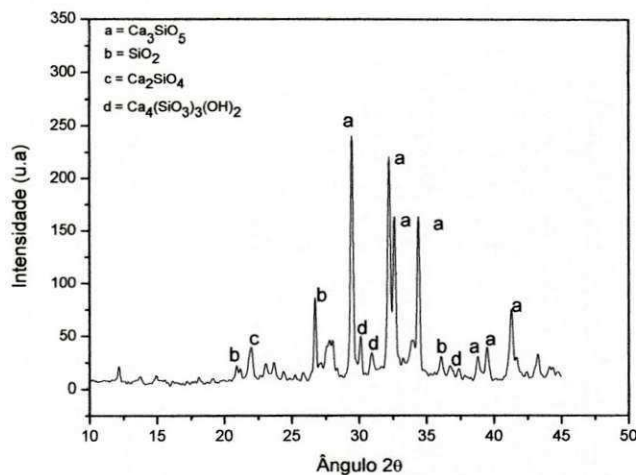


Figura 4.1 - Difração de raios X do cimento Portland

4.3.2 - Areia

O difratograma de raios X da amostra de areia estudada é mostrado na **Figura 4.2**. Verificam-se picos de difração característicos das fases cristalinas sílica (SiO_2) e dos silicatos na forma de feldspatos (Albita e Anortita).

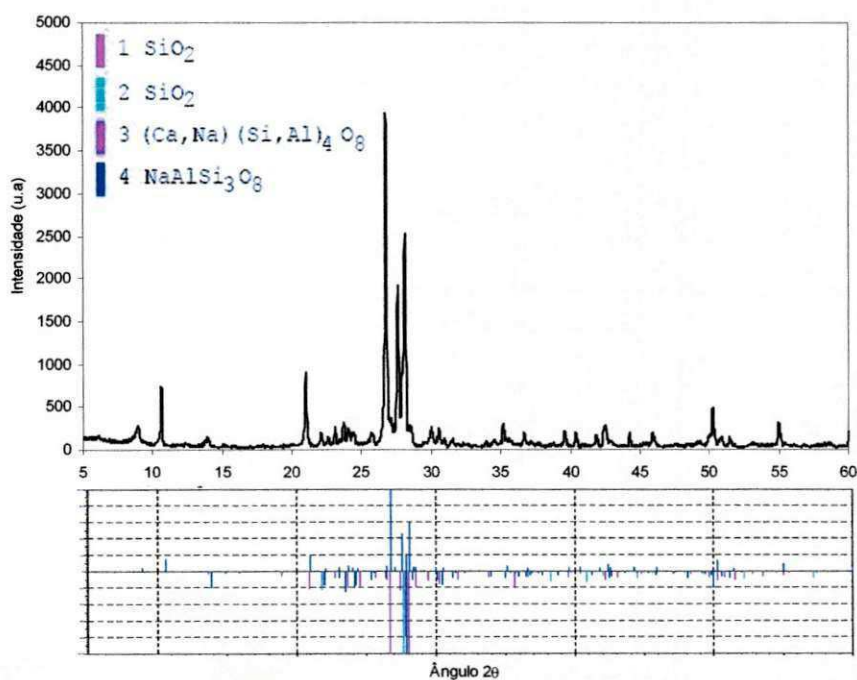


Figura 4.2 - Difração de raios X da areia

4.3.3 - Brita

No difratograma apresentado na **Figura 4.3**, pode-se observar que a amostra de brita apresenta uma variedade de minerais, sendo os mais evidentes mica muscovita ($(\text{Na},\text{K})(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_8$) e ortoclase (KAlSi_3O_8).

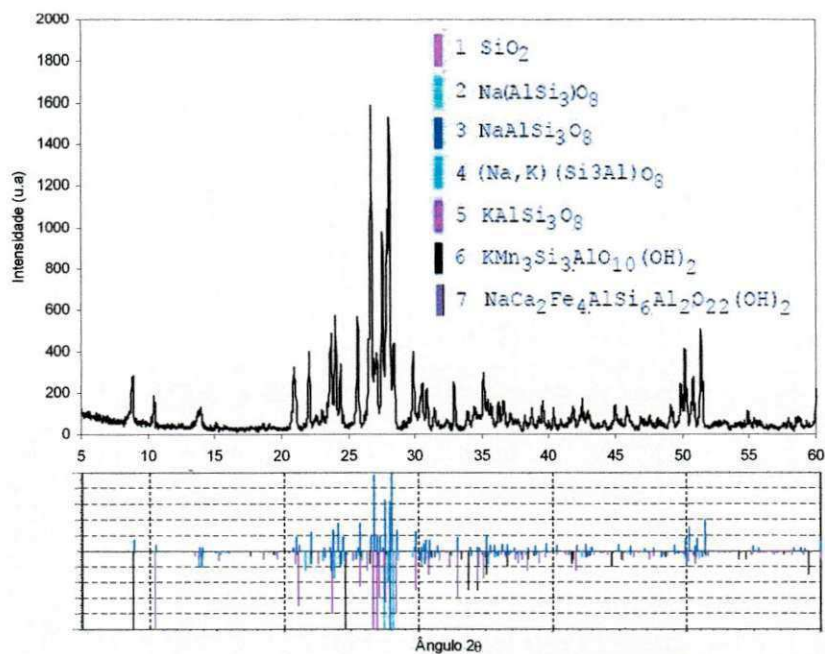


Figura 4.3 - Difração de raios X da brita

4.3.4 - Laterita Sapé

A difração de raios X da laterita Sapé mostrou, através dos picos de maior intensidade dos minerais na **Figura 4.4**, a presença de $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ (culinita), SiO_2 (quartzo) e Fe_2O_3 (hematita).

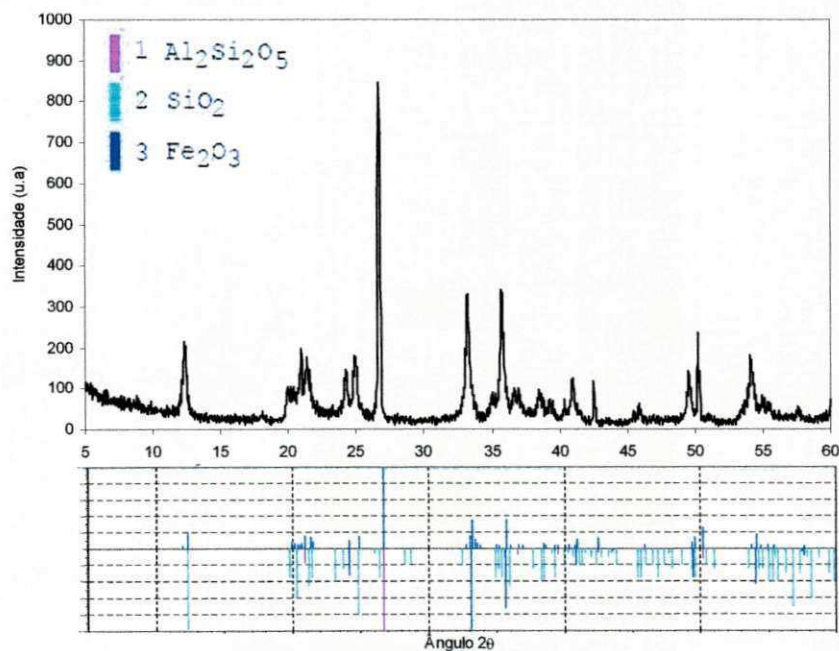


Figura 4.4 - Difração de raios X da laterita Sapé

4.3.5 - Laterita Jacumã

Na **Figura 4.5** observa-se que foram identificados picos de associados a Fe_2O_3 (hematita), SiO_2 (quartzo), $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ (culinita), $\text{Mg}(\text{OH})_2$ (brucita) e $\text{Fe}^{3+}\text{O}(\text{OH})$ geotita. A presença de hematita e geotita contribuem para a coloração vermelha do agregado laterítico.

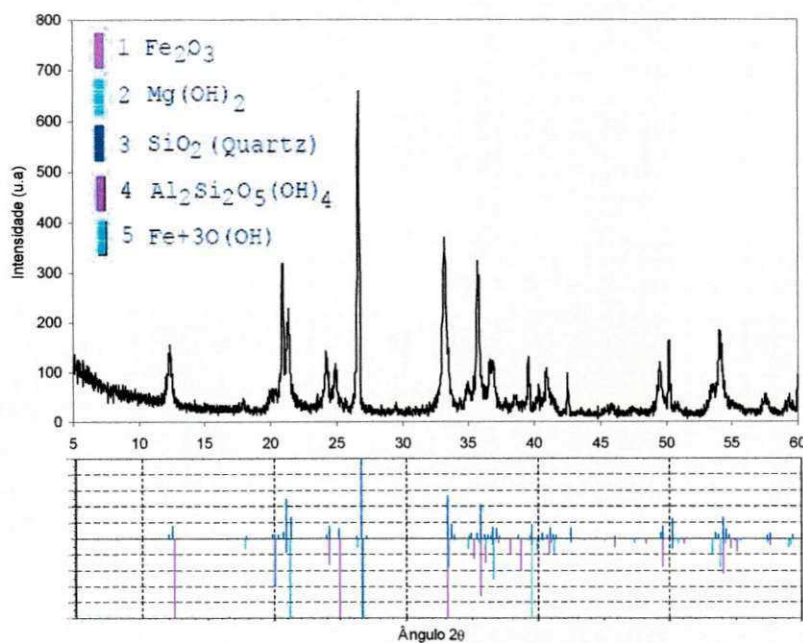


Figura 4.5 - Difração de raios X da laterita Jacumã

4.4 - ANÁLISE PETROGRÁFICA

Para fins da análise petrográfica, resumiu-se as informações principais na **Tabela 4.7**. A análise consistiu na observação de características como o tipo de rocha, estrutura, granulação e mineralogia principal, sem considerar todos os minerais acessórios, em geral bem diversificados.

Podemos destacar nas amostras de areia e agregados lateríticos são do tipo sedimentar enquanto que a brita é ígnea. A estrutura apresentou-se, em geral isotrópica, ou seja, não orientada, e a granulação variou de média a grossa.

As imagens das amostras dos agregados analisados, bem como informações gerais estão no Anexo A.

Tabela 4.7 – Análise petrográfica dos agregados

Agregados	Tipo	Estrutura	Granulação	Mineralogia	Reatividade
Areia	Sedimentar inconsolidada	Isotrópica	Média	Quartzo com bastante extinção ondulante, microclina e plagioclásio como minerais essenciais	Provavelmente reativa
Brita	Ígnea granito	isotrópico e sem orientação mineral	Média a grossa	Feldspato, plagioclásio e quartzo.	Indefinida
Laterita Sapé	Sedimentar	isotrópica e sem estrutura orientada	Média	Quartzo muito fraturado em duas direções Subperpendiculares e óxido de ferro.	Não reativa
Laterita Jacumã	Sedimentar	isotrópica e sem estrutura orientada	Grossa	Quartzo subarredondados, fraturados, com forte extinção ondulante e óxido de ferro.	Não reativa

4.5 - DETERMINAÇÃO DA REATIVIDADE POTENCIAL

A reatividade potencial foi determinada por dois métodos como descritos no capítulo 3, o método acelerado e o método químico, os quais se apresentam a seguir.

4.5.1 - Método acelerado

São apresentados nas Tabelas 4.8 a 4.11 os valores das expansões médias das 15 amostras ensaiadas. O modelo da planilha e os dados dos ensaios constam no Apêndice A.

A seguir são apresentados os gráficos de expansão (%) versus idade (dias), nas Figuras 4.6 a 4.9. Os resultados de expansão estão expressos como média aritmética das determinações das quatro barras confeccionadas com as amostras de areia, brita e laterita Sapé e, como média aritmética de três barras para a amostra de laterita Jacumã. Para todas as amostras as determinações foram feitas até a idade de 28 dias.

a) Amostra de areia

Na **Tabela 4.8** estão listados os valores médios das expansões das barras de argamassa com areia ao longo dos dias de ensaio.

Tabela 4.8 - Média das expansões da amostra de areia

Idade (dias)	Expansão (%)	Idade (dias)	Expansão (%)
0	0,00	14	0,03
1	0,00	15	0,03
2	0,00	16	0,04
3	0,00	17	0,02
4	0,00	18	0,03
5	0,02	19	0,04
6	0,03	20	0,03
7	0,03	21	0,04
8	0,02	23	0,04
9	0,03	25	0,04
10	0,03	27	0,04
11	0,02	28	0,05

Como ilustrado na **Figura 4.6**, a amostra de areia analisada apresenta o valor de 0,03% de expansão aos 16 dias, estando abaixo de 0,10%, sendo considerada não reativa (PEA-167).

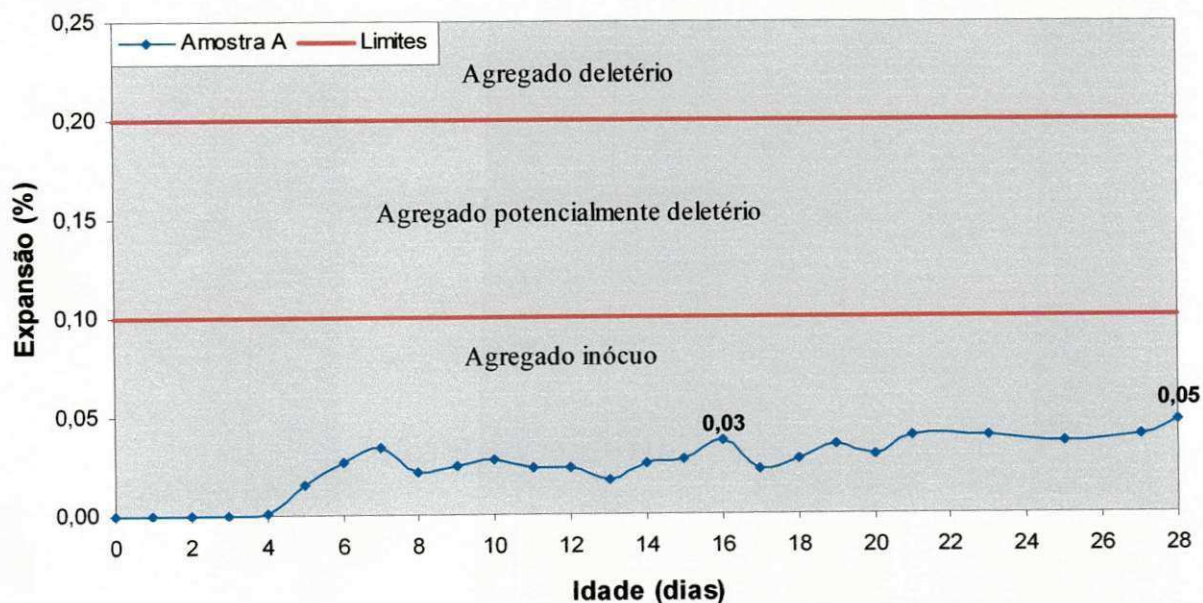


Figura 4.6 - Gráfico de expansão (%) versus idade (dias) da amostra de areia

b) Amostra de brita

Na **Tabela 4.9** estão listados os valores médios das expansões das barras de argamassa com brita ao logo dos dias de ensaio.

Tabela 4.9 - Média das expansões da amostra de brita

Idade (dias)	Expansão (%)	Idade (dias)	Expansão (%)
0	0,00	13	0,03
1	0,00	14	0,03
2	0,00	15	0,03
3	0,01	16	0,03
4	0,03	17	0,03
5	0,03	18	0,03
6	0,03	19	0,03
7	0,03	20	0,03
8	0,03	22	0,04
9	0,03	24	0,04
10	0,03	26	0,03
11	0,03	28	0,05
12	0,02	-	-

Como ilustrado na **Figura 4.7**, a amostra de brita analisada apresenta o valor de 0,03% de expansão aos 16 dias, estando abaixo de 0,10%, sendo considerada não reativa (PEA-167).

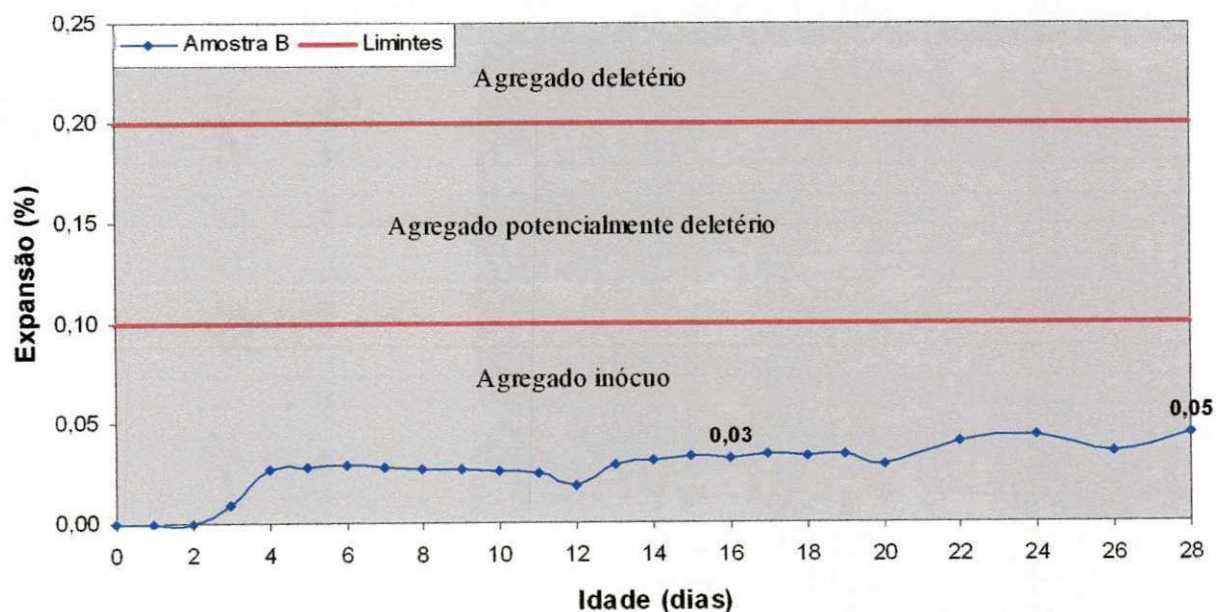


Figura 4.7 - Gráfico de expansão (%) versus idade (dias) da amostra de brita

c) Amostra de laterita Sapé

Na **Tabela 4.10** estão listados os valores médios das expansões das barras de argamassa com laterita Sapé ao longo dos dias de ensaio.

Tabela 4.10 - Média das expansões da amostra de laterita Sapé

Idade (dias)	Expansão (%)	Idade (dias)	Expansão (%)
0	0,00	11	0,04
1	0,00	12	0,04
2	0,00	13	0,05
3	0,02	14	0,03
4	0,02	15	0,04
5	0,02	16	0,04
6	0,03	18	0,05
7	0,04	21	0,04
8	0,04	23	0,05
9	0,04	25	0,04
10	0,04	28	0,04

Como ilustrado na **Figura 4.8**, a amostra de laterita Sapé analisada apresenta o valor de 0,03% de expansão aos 16 dias, estando abaixo de 0,10%, sendo considerada não reativa (PEA-167).

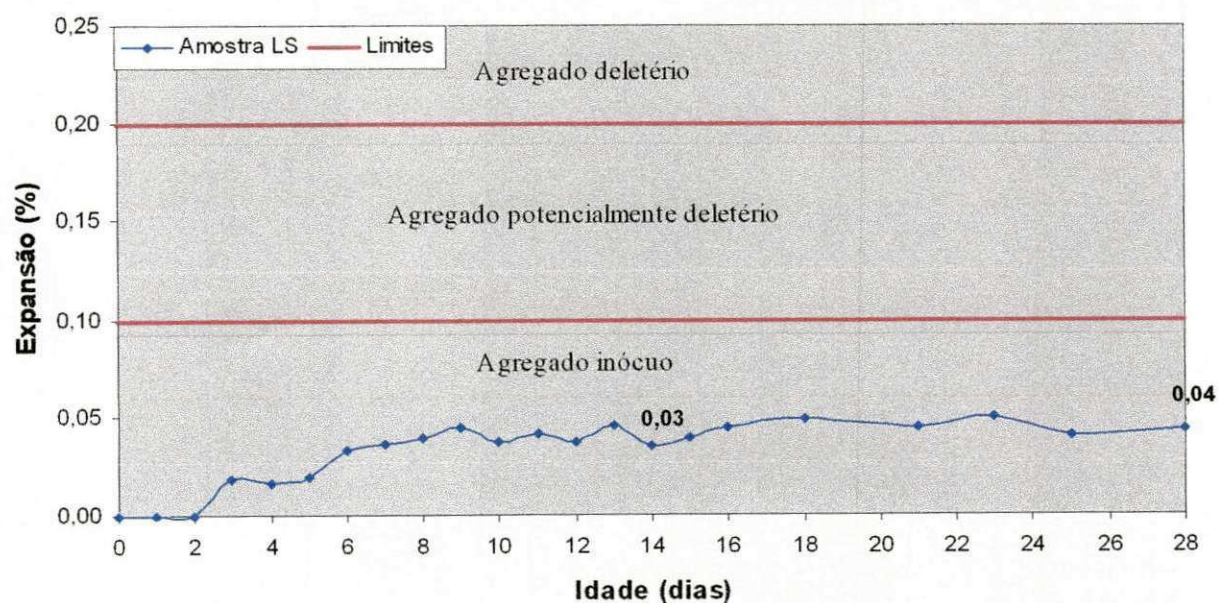


Figura 4.8 - Gráfico de expansão (%) versus idade (dias) da amostra de laterita Sapé

d) Amostra de laterita Jacumã

Na **Tabela 4.11** estão listados os valores médios das expansões das barras de argamassa com laterita Jacumã ao longo dos dias de ensaio.

Tabela 4.11 - Média das expansões da amostra de laterita Jacumã

Idade (dias)	Expansão (%)	Idade (dias)	Expansão (%)
0	0,00	11	0,04
1	0,00	12	0,05
2	0,00	13	0,05
3	0,04	14	0,05
4	0,04	15	0,05
5	0,04	16	0,05
6	0,04	19	0,05
7	0,04	22	0,06
8	0,05	25	0,05
9	0,04	28	0,08
10	0,06	-	-

Como ilustrado na **Figura 4.9**, a amostra de laterita Jacumã analisada apresenta o valor de 0,05% de expansão aos 16 dias, estando abaixo de 0,10%, sendo considerada não reativa (PEA-167).

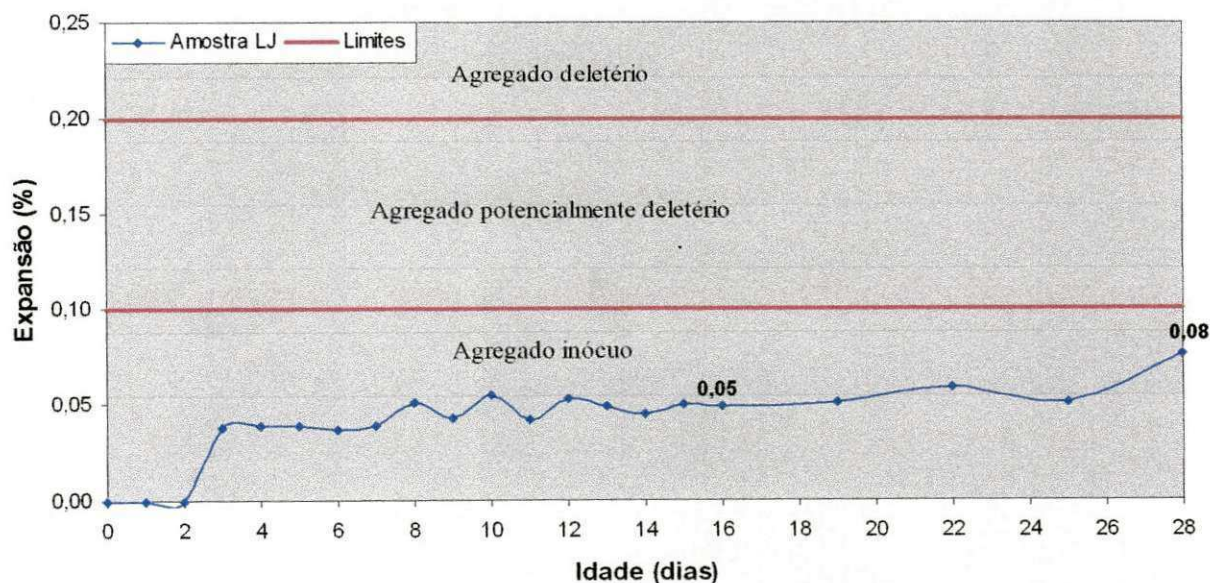


Figura 4.9 - Gráfico de expansão (%) versus idade (dias) da amostra de laterita Jacumã

4.5.2 - Método químico

Nas Tabelas 4.12 a 4.15 constam, para cada amostra ensaiada, os valores de sílica dissolvida, e a redução da alcalinidade. Os valores indicados apresentam-se com o desconto do ensaio em branco. Os modelos das planilhas utilizadas nos ensaio de redução de alcalinidade e sílica dissolvida são apresentados no Apêndice B. As Figuras 4.10 a 4.13 ilustram os resultados da média aritmética das determinações de cada amostra, onde todas as amostras ensaiadas foram consideradas não reativas.

a) Amostra de areia

Tabela 4.12 - Valores da redução da alcalinidade e sílica dissolvida da amostra de areia

Amostra	Sílica dissolvida (mmol/l)	Redução da alcalinidade (mmol/l)
A1	17,4	150
A2	18,4	410
A3	15,5	560
Média	17,1	373

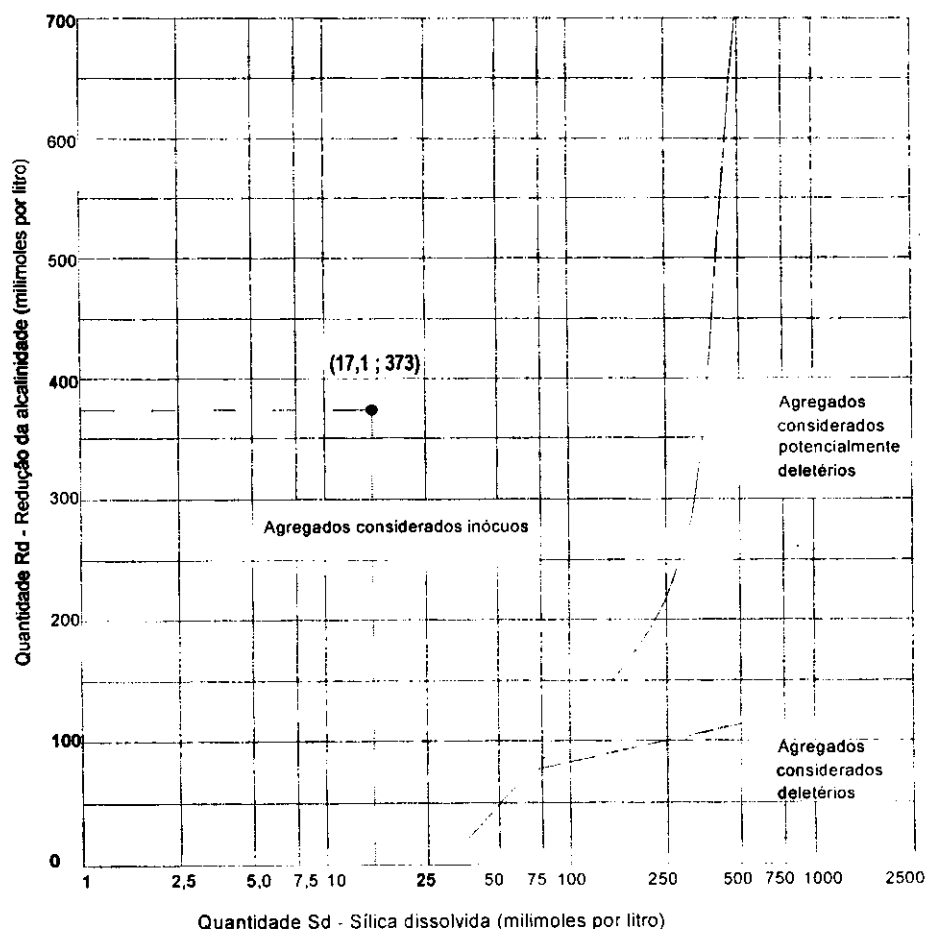


Figura 4.10 - Gráfico da redução da alcalinidade versus sílica dissolvida da amostra de areia

b) Amostra de brita

Tabela 4.13 - Valores da redução da alcalinidade e sílica dissolvida da amostra de brita

Amostra	Sílica dissolvida (mmol/l)	Redução da alcalinidade (mmol/l)
B1	9,3	560
B2	11,9	350
B3	14,4	380
Média	11,9	430

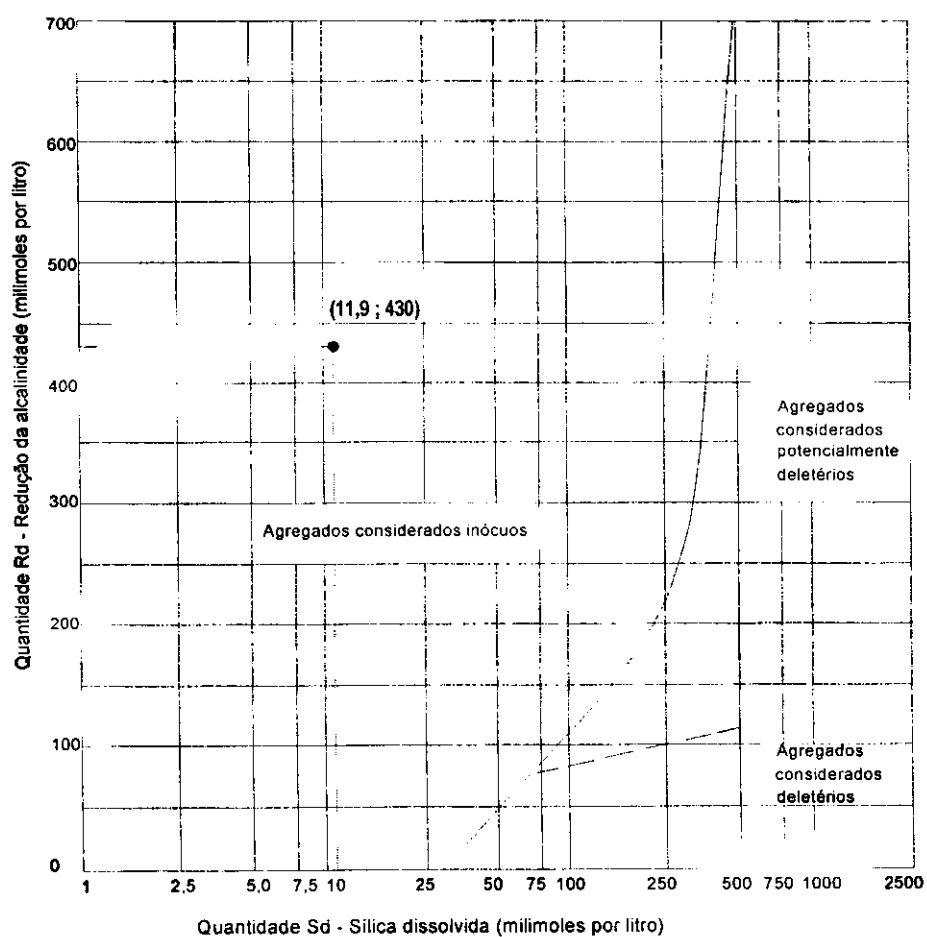


Figura 4.11 - Gráfico da redução da alcalinidade versus sílica dissolvida da amostra de brita

c) Amostra de laterita Sapé

Tabela 4.14 - Valores da redução da alcalinidade e sílica dissolvida da amostra de laterita Sapé

Amostra	Sílica dissolvida (mmol/l)	Redução da alcalinidade (mmol/l)
LS1	5,5	790
LS2	8,3	830
LS3	7,1	1020
LS4	6,0	850
Média	7,1	900

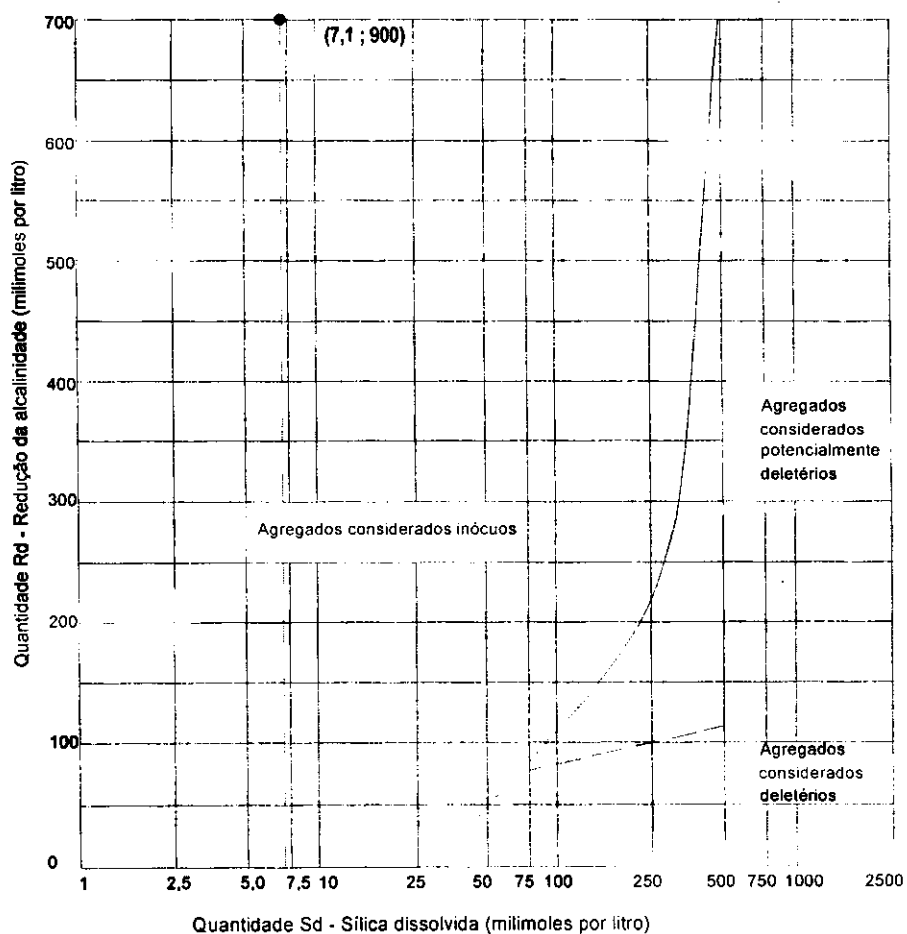


Figura 4.12 - Gráfico da redução da alcalinidade versus sílica dissolvida da amostra de laterita Sapé

d) Amostra de laterita Jacumã

Tabela 4.15 - Valores da redução da alcalinidade e sílica dissolvida da amostra de laterita Jacumã

Amostra	Sílica dissolvida (mmol/l)	Redução da alcalinidade (mmol/l)
LJ1	8,4	760
LJ2	11,3	550
LJ3	9,4	620
LJ4	9,9	710
Média	10,2	627

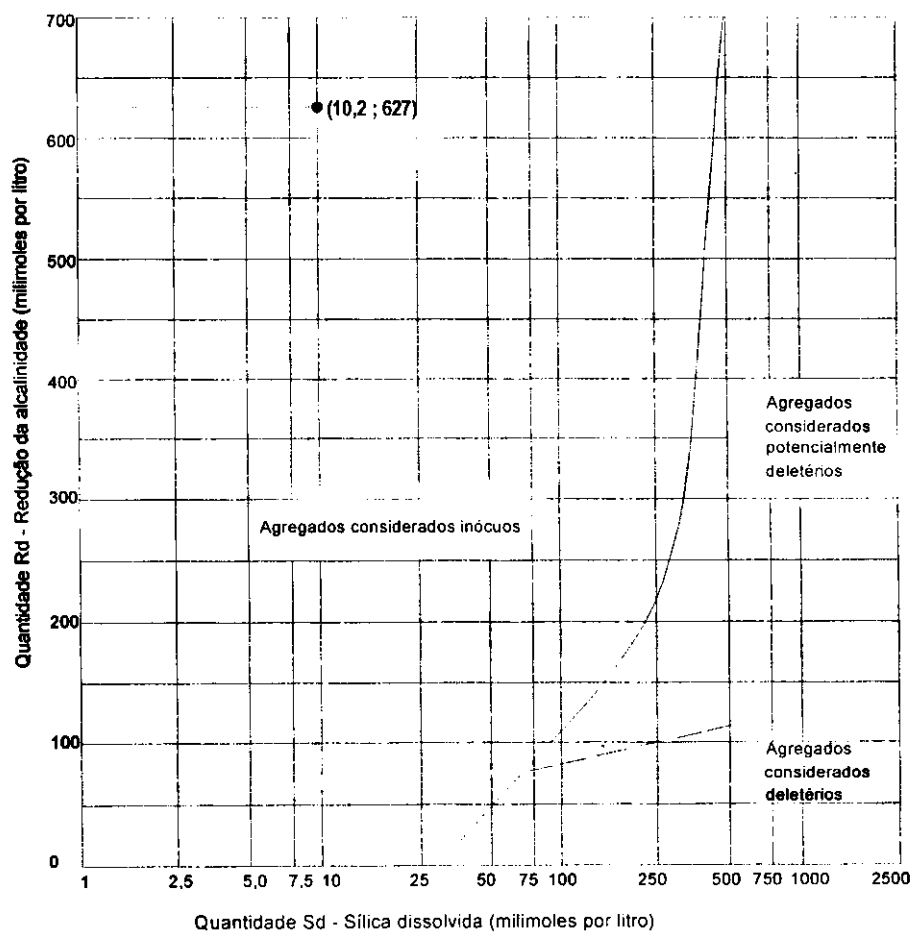


Figura 4.13 - Gráfico da redução da alcalinidade versus sílica dissolvida da amostra de laterita Jacumã

4.6 - MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA

Apenas uma barra de cada amostra do ensaio acelerado foi submetida à MEV. Como os agregados foram classificados como não reativos, ensaiou-se as barras das amostras que apresentaram as maiores expansões no ensaio da reatividade potencial pelo método acelerado.

O MEV serviu como ensaio complementar para observar a presença de gel expansivo ou outras indicações que identifiquem o possível potencial reativo dos agregados, tais como manchas escuras na interface pasta-agregado, bordas de reação e poros contendo gel expansivo.

4.6.1 - Amostra com areia - Barra A2

As Figuras 4.14 a 4.17 indicam que nas amostras analisadas não se observam bordas de reação ao redor do agregado nem manchas escuras na argamassa, sugerindo que o material com coloração branca é proveniente dos produtos cristalizados devido às reações de hidratação. Os poros não apresentaram produtos da reação álcali-agregado.

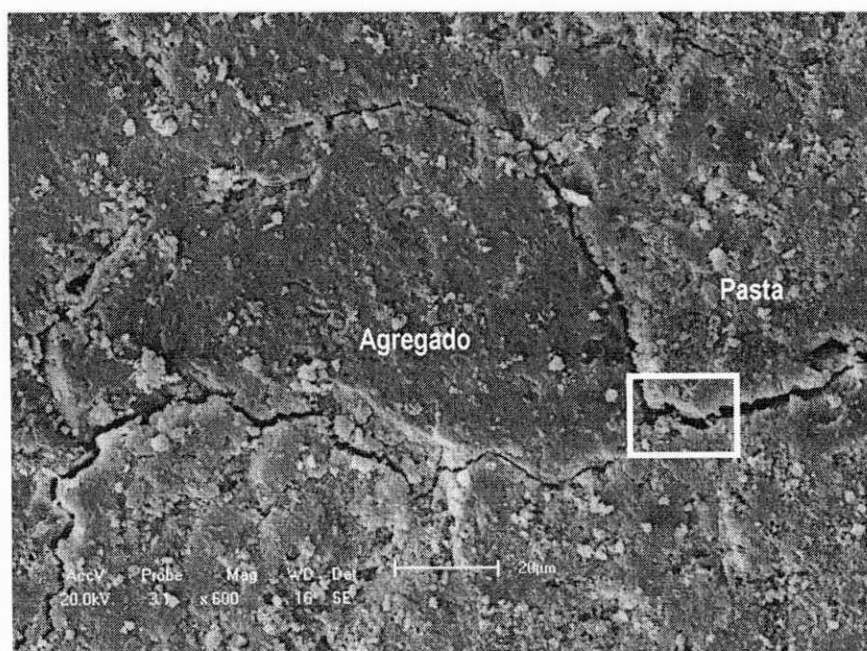


Figura 4.14 - Amostra A2: Visão geral da interface pasta-agregado

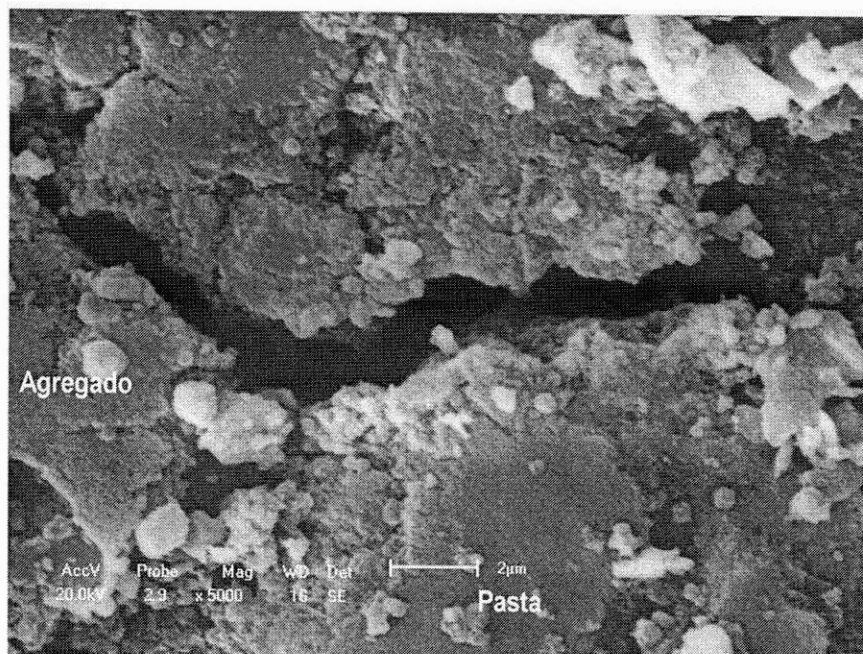


Figura 4.15 - Amostra A2: Aproximação da imagem da figura anterior

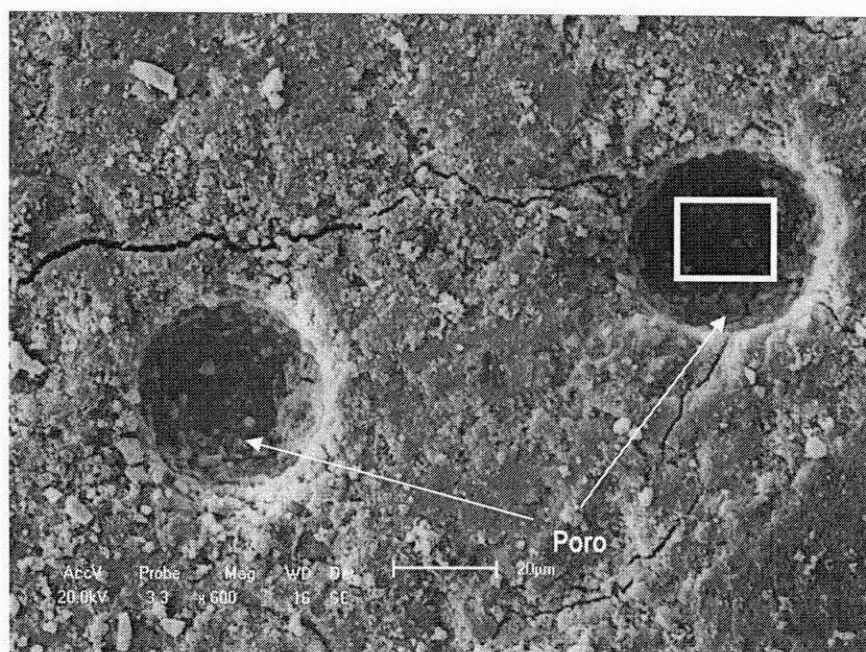


Figura 4.16 - Amostra A2: Imagem dos poros na amostra

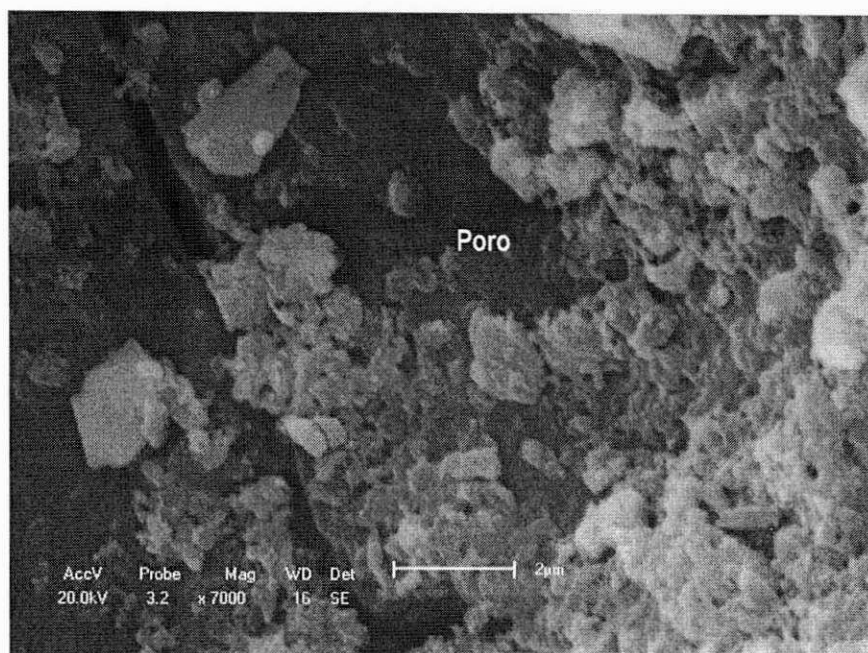


Figura 4.17 - Amostra A2: Aproximação da imagem anterior. Note fissura no interior do poro

4.6.2 - Amostra com brita - Barra B1

As imagens das Figuras 4.18 a 4.21 indicam que na amostra analisada não se observam bordas de reação ao redor do agregado nem manchas escuras na argamassa. Observa-se que o poro visualizado apresenta produtos das reações de hidratação do cimento. Isto porque a forma de rosáceas neste poro, segundo Metha e Monteiro (1994) caracteriza-se como típica da presença do monossulfato hidratado.

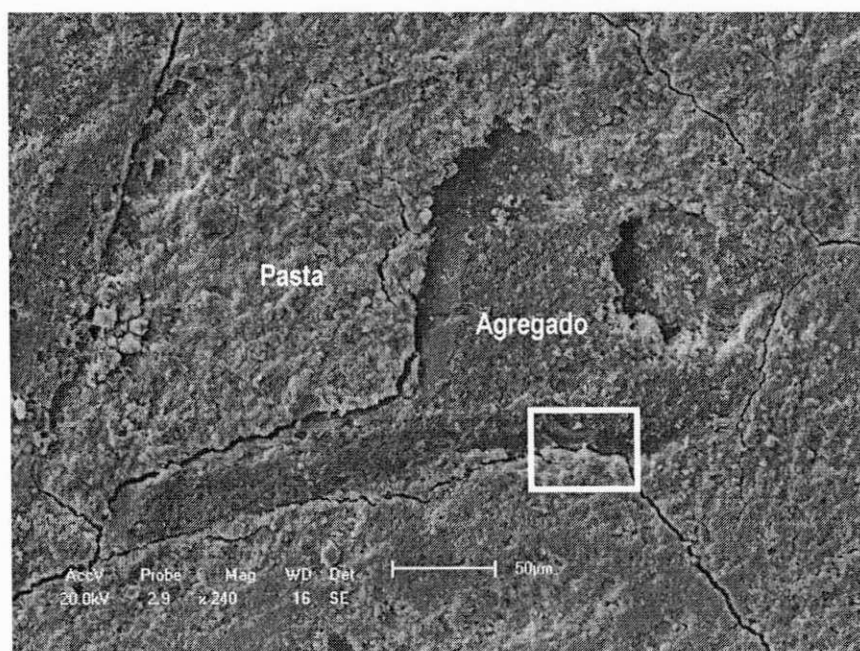


Figura 4.18 - Amostra B1: Visão geral da interface pasta-agregado

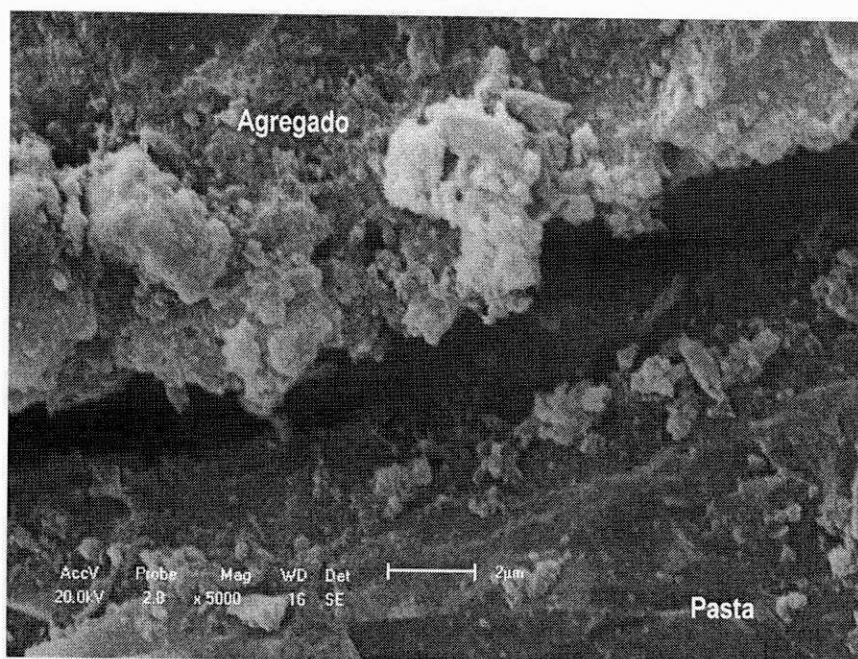


Figura 4.19 - Amostra B1: Aproximação da imagem anterior. Detalhe da fissura na interface pasta-agregado

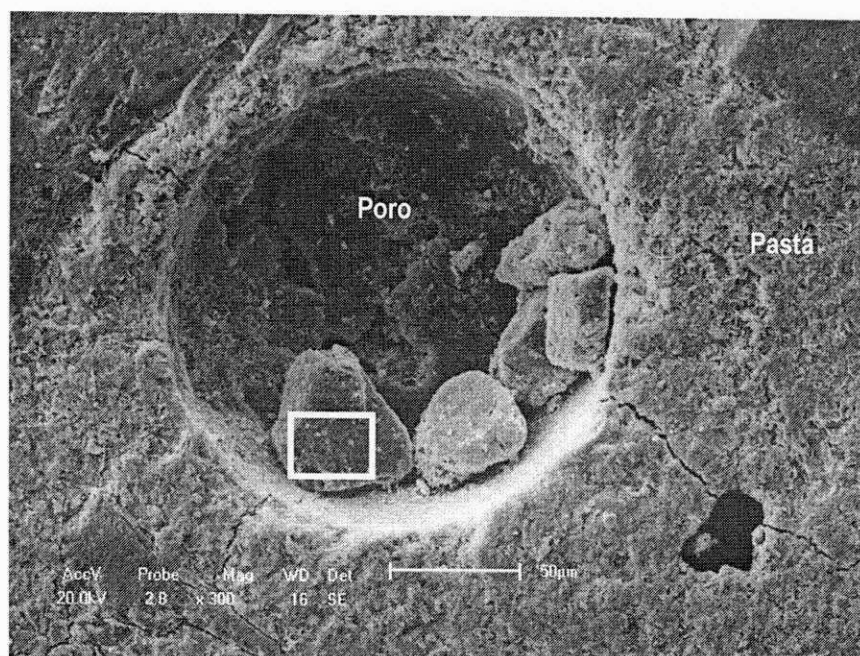


Figura 4.20 - Amostra B1: Poro com produto

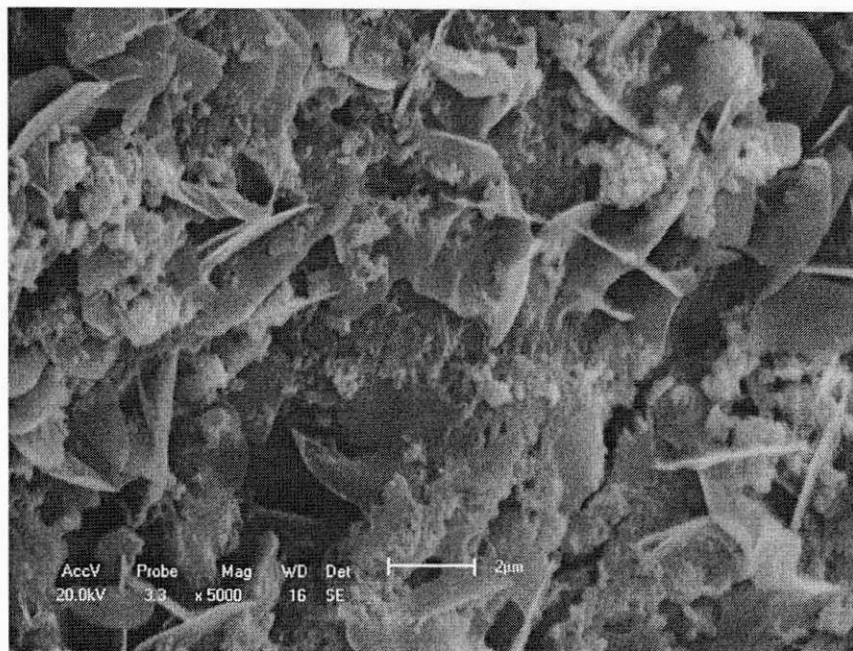


Figura 4.21 - Amostra B1: Aproximação da imagem anterior. Detalhe do produto no poro

4.6.3 - Amostra com laterita Sapé – Barra LS3

As Figuras 4.22 a 4.26 indicam vazios característicos da laterita. Observa-se que em torno do agregado não é formado bordas de reação nem manchas escuras. O material esbranquiçado visualizado nas micrografias apresenta cristais aciculares que segundo Metha e Monteiro (1994) identifica-os como trissulfato hidratado ($C_6AS_3H_{32}$), produtos da reação de hidratação, denominados etringita, formados pela mistura de soluções de aluminato de cálcio e sulfato de cálcio.

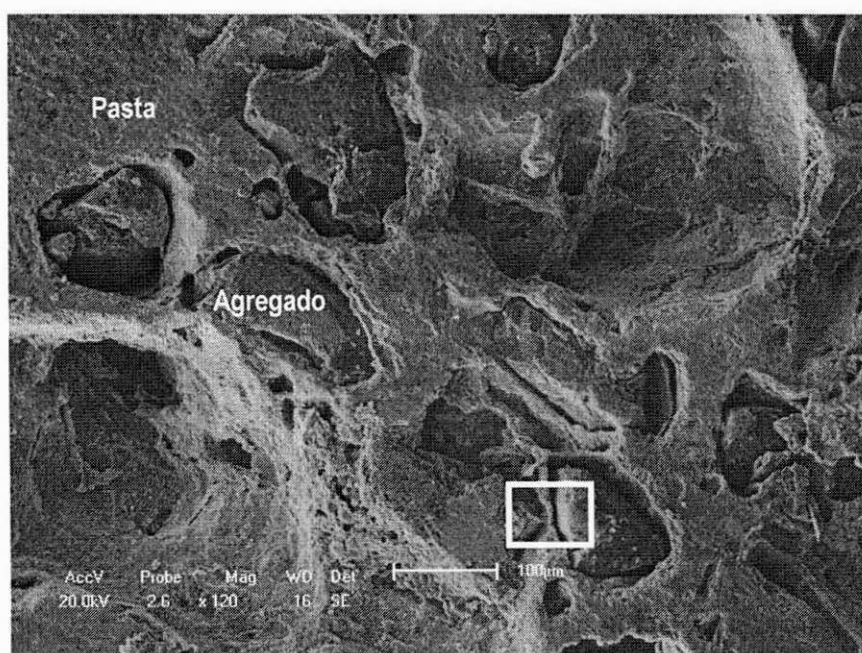


Figura 4.22 - Amostra LS3: Visão geral da interface pasta-agregado

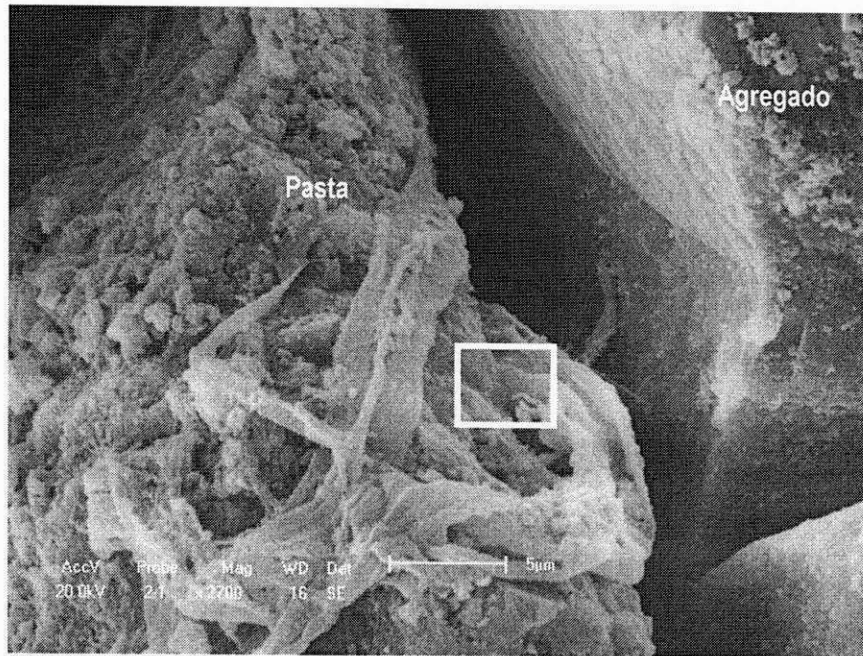


Figura 4.23 - Amostra LS3: Aproximação da imagem anterior. Detalhe de produto na interface pasta-agregado

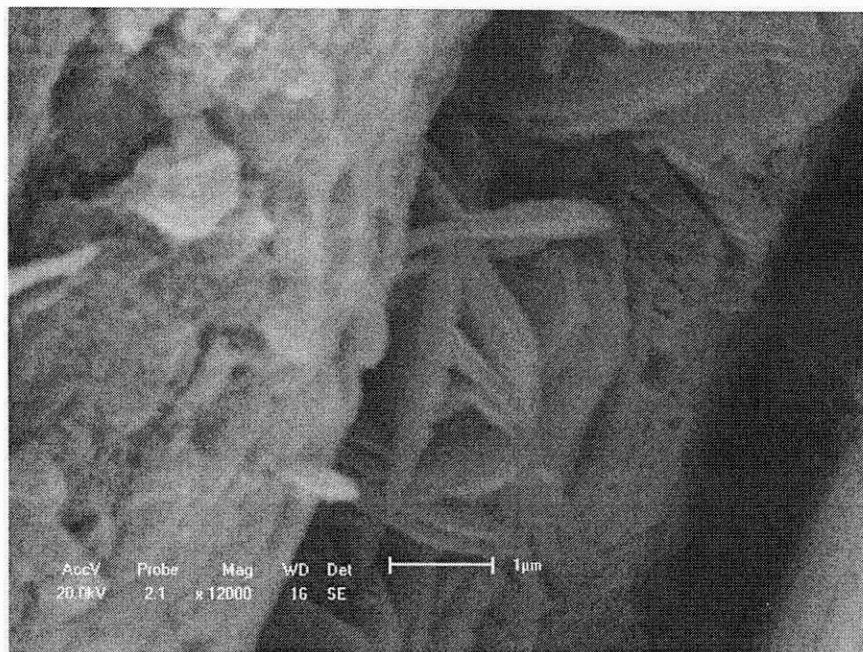


Figura 4.24 - Amostra LS3: Aproximação da imagem anterior. Detalhe de produto na forma de cristais aciculares

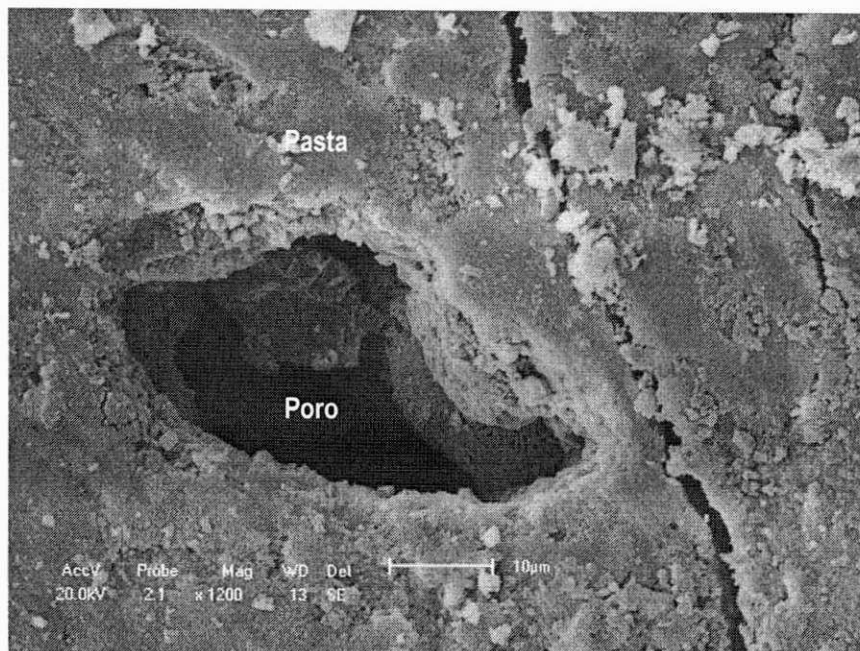


Figura 4.25 - Amostra LS3: Poro com produto. Note profundidade do poro e produto

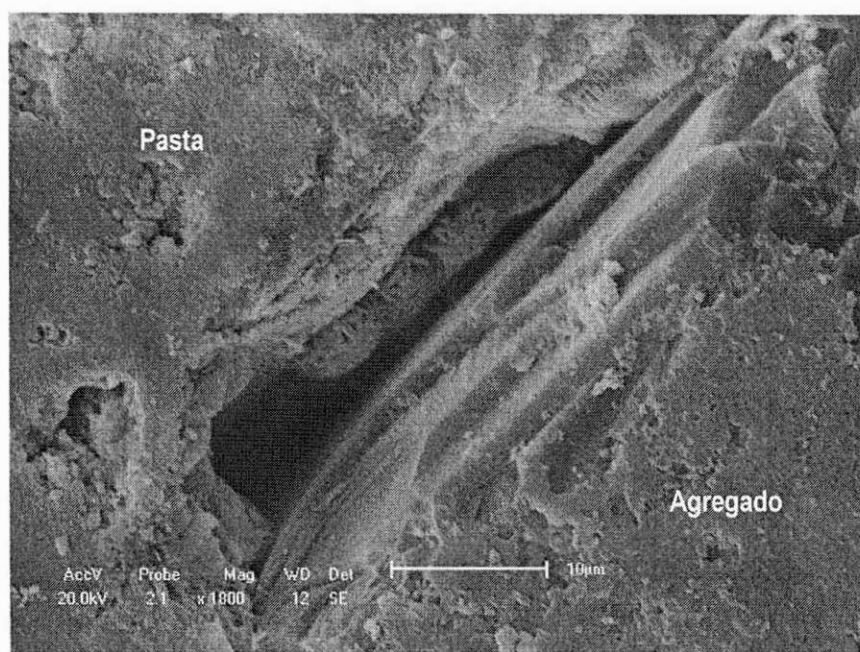


Figura 4.26 - Amostra LS3: Poro na interface pasta-agregado. Note profundidade e produto

4.6.4 - Amostra de laterita Jacumã - Barra LJ3

As Figuras 4.27 a 4.30 indicam que a laterita proveniente da jazida Jacumã-PB apresenta uma estrutura interna com grande quantidade de vazios e bem superior ao da laterita de Sapé-PB. Vale salientar que esta diferença de porosidade entre as duas lateritas é também visível a olho nu. Não se observam bordas de reação ao redor dos agregados e nem manchas escuras na argamassa. A quantidade de vazios e profundidade

dos poros, em relação a outros agregados, sugere que uma possível formação de materiais expansíveis em sua estrutura pouco efeito causaria em termos de fissuração ou exsudação.

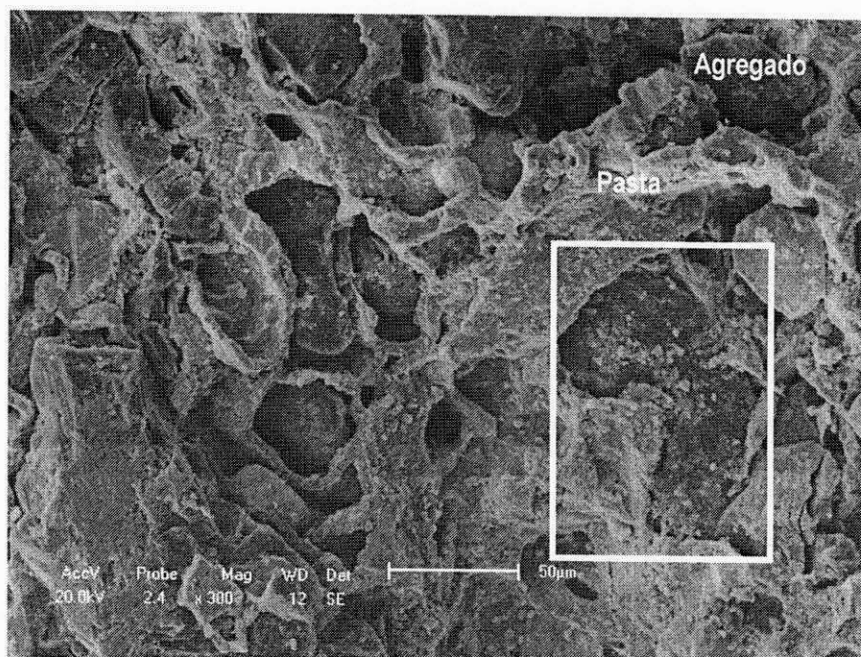


Figura 4.27 - Amostra LJ3: Visão geral da interface pasta-agregado

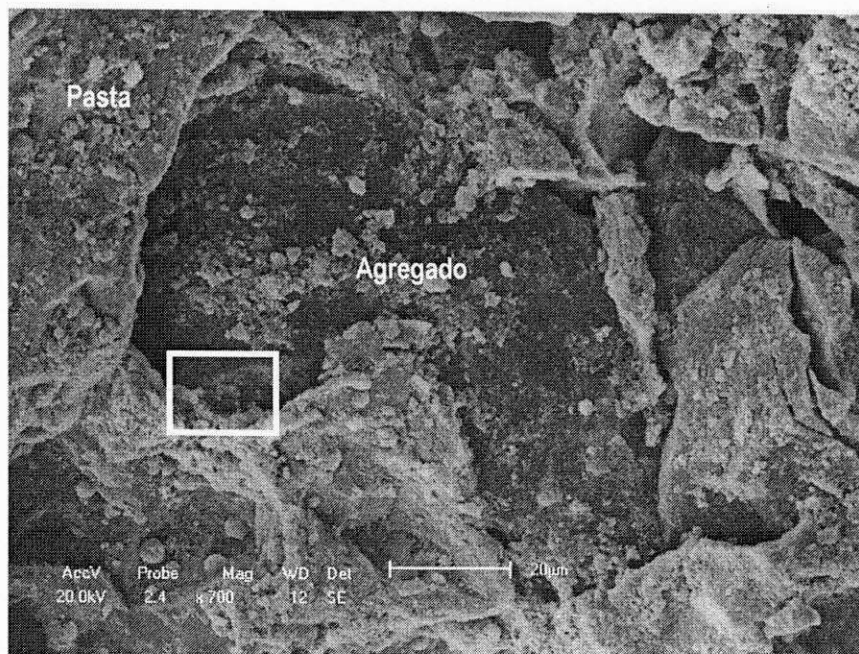


Figura 4.28 - Amostra LJ3: Aproximação da imagem anterior. Detalhe do agregado envolto em pasta de cimento

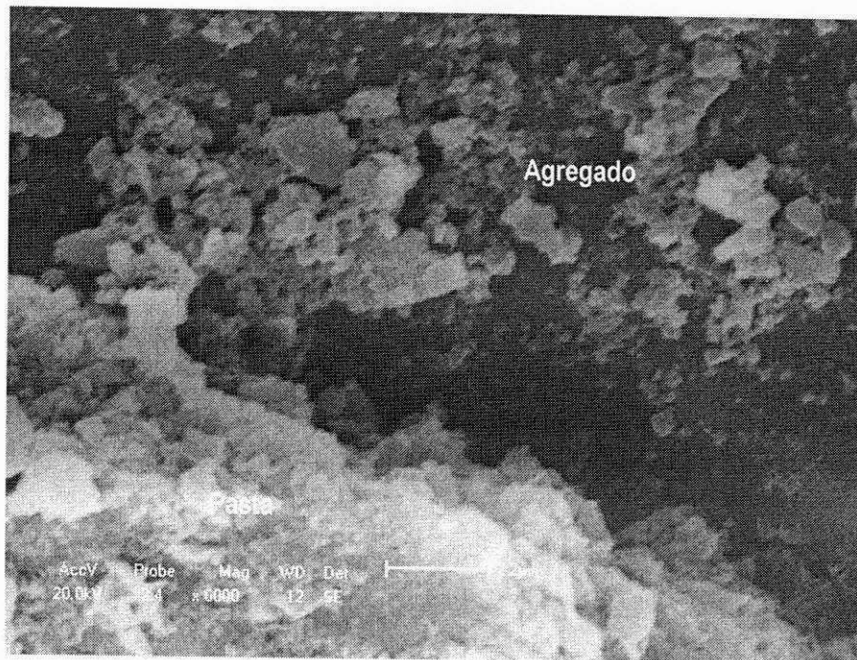


Figura 4.29 - Amostra LJ3: Aproximação da imagem anterior. Detalhe da interface pasta-agregado

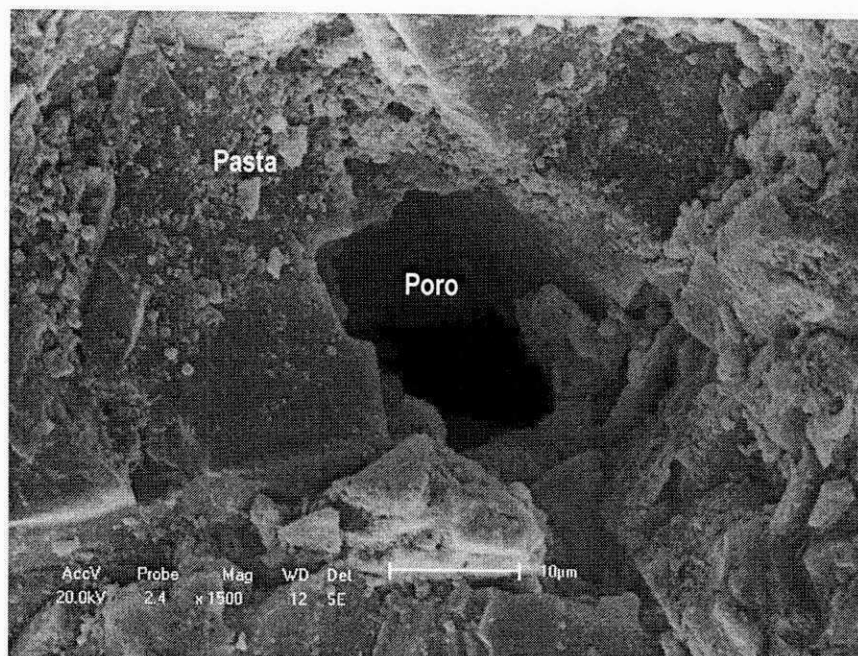


Figura 4.30 - Amostra LJ3: Detalhe de poro bastante profundo

CAPÍTULO 5

5 - CONCLUSÕES E SUGESTÕES

5.1 - CONCLUSÕES

Os resultados da presente pesquisa permitem tirar as seguintes conclusões sobre os agregados utilizados.

- 1) As micrografias confirmam o diferenciado grau de porosidade das concreções lateríticas. É possível que esta propriedade venha atenuar os efeitos de expansão da RAA em concretos executados com estes agregados.
- 2) Quanto ao nível de expansividade das barras de argamassa analisados, todos os agregados se mostraram inócuos para os níveis estabelecidos por norma no ensaio de barras de argamassa acelerado. Os valores das expansividades aos 16 dias e 28 dias variaram entre 0,03 a 0,05% e 0,04 a 0,08% respectivamente, ficando abaixo do limite inferior 0,10% que caracteriza agregados como potencialmente deletérios.
- 3) Os ensaios pelo método químico em todas as amostras dos agregados estudados, indicaram potencial não reativo para os mesmos. Vale salientar, que o método identifica uma possível reatividade à reação álcali-silica, não identificando potencial reativo quanto à reação álcali-silicato por ser esta uma reação mais lenta.
- 4) As amostras ensaiadas não apresentaram fissuras superficiais. Analisadas ao MEV observou-se fissuras na interface pasta-agregado prolongadas através da argamassa. Estas fissuras possivelmente podem ter origem na retração térmica durante o procedimento do ensaio, ao serem retiradas as amostras imersas na solução de NaOH a 80° C para realização das leituras à temperatura ambiente de 24° C.
- 5) A análise através da MEV, não identificou formação de gel expansivo nas barras ensaiados no método acelerado.

- 6) Pode-se concluir que para os agregados utilizados nesta pesquisa, com os ensaios realizados, nenhum deles apresentou potencial reativo quanto à reação álcali-agregado.

As conclusões aqui apresentadas resumem-se estritamente aos agregados estudados e não a todos aqueles utilizados em obras de engenharia na região de Campina Grande, bem como outras jazidas de concreções lateríticas. Para uso de quaisquer agregados desta pesquisa ou outros, se faz necessário ensaios adicionais para prever a reatividade potencial e ensaios de caracterização.

5.2 - SUGESTÕES PARA FUTURAS PESQUISAS

- 1) Realização do ensaio de reatividade nos agregados lateríticos utilizando outras metodologias para efeito comparativo;
- 2) Análise do potencial reativo ao álcali para agregados lateríticos variando os tipos de cimento;
- 3) Estudar a reação álcali-agregado em concretos lateríticos com uso de aditivos;
- 4) Mapeamento dos agregados da região nordeste quanto à reação álcali-agregado;
- 5) Estudo comparativo entre o método das barras e o método acelerado para os agregados utilizados nesta pesquisa.

6 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

___ASTM C 1260. Standard test method for potential alkali reactivity of cement-aggregate combinations (mortar-bar method). West Conshohocken, 2005.

___ASTM C 1567. Potential alkali-silica reactivity of combinations of cementitious materials and aggregate (accelerated mortar-bar method). West Conshohocken, 2005.

___ASTM C 441. Standard test method for effectiveness of mineral admixtures or ground blast-furnace Slag in preventing excessive expansion of concrete due to the alkali-silica reaction. West Conshohocken, 2005.

___NBR 10340. Agregados - Avaliação da reatividade potencial das rochas carbonáticas com os álcalis de cimento. Rio de Janeiro, 1988.

___NBR 11579. Cimento Portland - Determinação da finura por meio da peneira 75 micrômetros (número 200). Rio de Janeiro, 1991.

___NBR 12653. Materiais pozolânicos – Especificação. Rio de Janeiro, 1992.

___NBR 7215. Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, 1996.

___NBR 7217. Agregado – Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 1987.

___NBR 7219. Agregados – Determinação do teor de materiais pulverulentos. Rio de Janeiro, 1987.

___NBR 7251. Agregado em estado solto – Determinação da massa unitária. Rio de Janeiro, 1982.

___NBR 9773. Agregados – Reatividade potencial de álcalis em combinações cimento-agregado. Rio de Janeiro, 1987.

___NBR 9774. Agregados – Verificação da reatividade potencial pelo método químico. Rio de Janeiro, 1987.

___NBR 9776. Agregados – Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco de chapman. Rio de Janeiro, 1987.

___NBR 9937. Agregado graúdo - Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água. Rio de Janeiro, 1987.

___NBR 9938. Agregados - Determinação da resistência ao esmagamento de agregados graúdos. Rio de Janeiro, 1987.

___NBR NM 51. Agregado graúdo – Ensaio de abrasão "Los Angeles". Rio de Janeiro, 2001.

- Isostáticas Submetidas à Flexão Simples. Campina Grande - PB: - Coordenação de Pós - Graduação em Engenharia Civil - CCT -UFPB, 1986 (Dissertação de Mestrado).
- CHAGAS FILHO, M. B. Estudo da deformação, segurança e rigidez de vigas de concreto armado laterítico, 1992. 94f. Tese (Concurso Público para Professor Titular), Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal da Paraíba. UFPB, Campina Grande-PB, 1992.
- CHAGAS FILHO, M. B. Estudo de Agregados Lateríticos para Utilização em Concretos Estruturais. Campina Grande-PB: Universidade Federal de Campina Grande, 2005 (Tese de Doutorado).
- CHAGAS FILHO, M. B.; BARBOSA, N. P. Concreto Armado Laterítico: Nova Alternativa na Fabricação de Concreto para Construção Civil. *Interação*, Campina Grande, v. 01, p. 15-20, 2000.
- CHAGAS FILHO, M. B.; BARBOSA, N. P. Concreto Laterítico e Concreto Calcário. In: XXVI Congresso Brasileiro de Engenharia. *Materiais Não-Convencionais para Construções Rurais*, pg. 145-188. Campina Grande: Editora da UFPB – Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola – SBEA, 1997.
- CHAGAS FILHO, M. B.; BARBOSA, N. P. Resultados Comparativos dos Ensaios Experimentais de Vigas de Concreto Laterítico Armado. *Revista Estrutura*, Rio de Janeiro, v. 1, n. 115, p. 80-86, 1986.
- CICHINELLI, G. C. Reação perigosa. *Téchne*, São Paulo, SP, ano 15, ed.125, p. 40-43, ago. 2007.
- FERRARIS, C. F. Alkali-silica Reaction and High Performance Concrete. Disponível em: <<http://www.fire.nist.gov/bfrlpubs/build95/art004.html>>. Acesso em: 21 jun. 2007, às 21:00h.
- FONTOURA, J. T. F. Investigação dos mecanismos de reação álcali-agregado – metodologias e ensaios. In. SIMPÓSIO SOBRE REATIVIDADE ÁLCALI-AGREGADO EM ESTRUTURAS DE CONCRETO, 1997, Goiânia. Relatório Final – Panorama Brasileiro e Relato Técnico do Simpósio – Parte II – Tema I. Goiânia, 1999. p. 65-80.
- GALLO, G.; SANCHEZ, L.; MEDEIROS, M.; ANDRADE, T. Medidas preventivas para a reação álcali-agregado (RAA) no concreto. *Revista CONCRETO*, São Paulo, SP, ano 15, ed.125, p. 22-28, ago. 2005.
- GITAHY, H. S. O Problema dos Agregados para os Concretos da Barragem Jupia. Instituto de Pesquisas Tecnológicas, Publicação n. 692. São Paulo, 1963.
- HASPARYK, N. P. Investigação de concretos afetados pela reação álcali-agregado e caracterização avançada do gel exsudado. Porto Alegre, 2005. 326p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- HASPARYK, N. P. Investigação dos mecanismos da reação álcali-agregado – efeito da cinza de casca

- de arroz e da sílica ativa. Goiânia, 1999. 257p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Goiás, Escola de Engenharia Civil.
- 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.
- HOBBS, 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.
- LOPES, L.E. Modelagem mecânica e numérica da reação álcali-agregado com aplicação a barragens de concreto. Rio de Janeiro, 2004. 150p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. Concreto: estruturas, propriedades e materiais. São Paulo: Ed. Pini, 1994, p. 120.
- OLIVEIRA, R. A. O colapso do edifício Areia Branca e novos conceitos de vistorias de edifícios. Revista CONCRETO, São Paulo, SP, ano 15, ed.125, p. 18-21, ago. 2005.
- PAULON, V. A. Reações álcali-agregado em concreto. São Paulo, 1981. 114p. Dissertação (Mestrado) - Universidade de São Paulo, Escola Politécnica.
- PREZZI, M.; MONTEIRO, P. J. M.; SPOSITO, G. The alkali-silica reaction, Part I: use of the double-layer theory to explain the behaviour of reaction-products gels. ACI Materials Journal, v.94, n.1, p.10-17, 1997.
- PRISZKULNIK, Simão. Reações Expansivas no Concreto. In: Instituto Brasileiro do Concreto. (Org.). Concreto: Pesquisa, Desenvolvimento e Realizações. I ed. São Paulo: Instituto Brasileiro do Concreto, 2005, v. II, p. 1017-1070.
- RUIZ, M. D. Geologia Aplicada à Barragem de Jupia (Sistema Urubupungá). Instituto de Pesquisas Tecnológicas, Publicação n. 699. São Paulo, 1963.
- SABBAG, A. F. Verificação da existência de reação álcali-agregado no concreto da UHE de Mascarenhas. Curitiba, 2003. 113p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Paraná.
- SILVA, C. A. R.; FONTOURA, J. T. F.; SANTOS, M. C.; ANDRADE, N. P. H. Métodos na investigação da reação álcali-agregado. In: SIMPÓSIO SOBRE REATIVIDADE ÁLCALI-AGREGADO EM ESTRUTURAS DE CONCRETO, 1997, Goiânia. Anais... Goiânia, 1999. p. 53-60.
- SWENSON, E. G. A. Reactive Aggregate Undetected by ASTM Tests. Bulletin, American Society for

Testing and Materials, nº 226, 1957, p. 48.

TANG, M.; DENG, M.; LON X.; HAN, S. Studies on Alkali-Carbonate Reaction. Materials Journal. American concrete Institute. Jan.-Feb. 1994, p. 95-104.

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.

TIECHER, F. Reação Álcali-agregado: Avaliação do Comportamento de Agregados do Sul do Brasil quando se altera o Cimento utilizado. 2006. 171p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

TURRIZIANI, R. Internal degradation of concrete: alkali-aggregate reaction, reinforcement steel corrosion. In: INTERNATIONAL CONGRESS ON THE CHEMISTRY OF CEMENT, 8., 1986, Rio de Janeiro, Proceedings... Rio de Janeiro, 1986. v. 1, p. 388-442.

VALDUGA, L. Reação álcali-agregado – mapeamento de agregados reativo do Estado de São Paulo. Campinas, 2002. 213p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Campinas.

VIEIRA, S. R. S. S.; PECCHIO, M.; ABREU, J. V.; FERREIRA, M. C. N. F. Avaliação de diferentes cimentos como inibidores de 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.

Testing and Materials, nº 226, 1957, p. 48.

TANG, M.; DENG, M.; LON X.; HAN, S. Studies on Alkali-Carbonate Reaction. Materials Journal. American concrete Institute. Jan.-Feb. 1994, p. 95-104.

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.

TIECHER, F. Reação Álcali-agregado: Avaliação do Comportamento de Agregados do Sul do Brasil quando se altera o Cimento utilizado. 2006. 171p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

TURRIZIANI, R. Internal degradation of concrete: alkali-aggregate reaction, reinforcement steel corrosion. In: INTERNATIONAL CONGRESS ON THE CHEMISTRY OF CEMENT, 8., 1986, Rio de Janeiro, Proceedings... Rio de Janeiro, 1986. v. 1, p. 388-442.

VALDUGA, L. Reação álcali-agregado – mapeamento de agregados reativo do Estado de São Paulo. Campinas, 2002. 213p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Campinas.

VIEIRA, S. R. S. S.; PECCHIO, M.; ABREU, J. V.; FERREIRA, M. C. N. F. Avaliação de diferentes cimentos como inibidores de 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.

APÉNDICE

APÊNDICE A

Ensaio acelerado

Constam planilhas de cálculos resultantes dos ensaios de acelerado para o agregado miúdo e os agregados graúdos.

Variação do comprimento das barras com areia

2º Dia

Barra Padrão		Barra	A1	A2	A3	A4	CB (1/100mm)
L1	452,2	L1	499,3	451,0	425,8	334,8	
L2	452,2	L2	500,6	453,8	425,6	334,0	
L3	452,2	L3	500,3	452,4	425,3	334,4	
L4	452,2	L4	499,4	452,4	424,0	334,4	
Média	452,2	Média	499,9	452,4	425,2	334,4	
Des. Pad.	0	Des. Pad.	0,648	1,143	0,810	0,327	

3º Dia

Barra Padrão		Barra	A1	A2	A3	A4	Barra	Expansão (%)
L1	452,2	L1	499,3	451,0	425,8	334,8	A1	0
L2	452,2	L2	500,6	453,8	425,6	334,0	A2	0
L3	452,2	L3	500,3	452,4	425,3	334,4	A3	0
L4	452,2	L4	499,4	452,4	424,0	334,4	A4	0
Média	452,2	Média	499,9	452,4	425,2	334,4	Média	0,00
Des. Pad.	0	Des. Pad.	0,648	1,143	0,810	0,327	Des. Pad.	0,000

4º Dia

Barra Padrão		Barra	A1	A2	A3	A4	Barra	Expansão (%)
L1	456,8	L1	503,4	458,0	430,0	340,5	A1	0,00
L2	456,8	L2	504,0	457,2	429,8	339,0	A2	0,00
L3	456,8	L3	504,2	457,2	429,0	338,4	A3	0,00
L4	455,0	L4	505,8	456,0	430,0	337,8	A4	0,00
Média	456,4	Média	504,4	457,1	429,7	338,9	Média	0,00
Des. Pad.	0,900	Des. Pad.	1,025	0,825	0,476	1,159	Des. Pad.	0,000

5º Dia

Barra Padrão		Barra	A1	A2	A3	A4	Barra	Expansão (%)
L1	454,5	L1	507,0	467,0	430,2	341,0	A1	0,01
L2	454,5	L2	506,0	462,5	429,4	339,7	A2	0,03
L3	454,3	L3	505,2	463,5	429,4	339,2	A3	0,01
L4	454,3	L4	505,2	463,5	428,0	338,4	A4	0,01
Média	454,4	Média	505,9	464,1	429,3	339,6	Média	0,02
Des. Pad.	0,115	Des. Pad.	0,854	1,974	0,915	1,090	Des. Pad.	0,012

6º Dia

Barra Padrão		Barra	A1	A2	A3	A4	Barra	Expansão (%)
L1	453,0	L1	509,8	464,0	432,8	346,4	A1	0,02
L2	452,6	L2	508,0	465,6	429,8	344,0	A2	0,04
L3	452,8	L3	506,4	464,8	428,8	343,4	A3	0,01
L4	452,8	L4	506,4	462,4	428,8	342,4	A4	0,03
Média	452,8	Média	507,7	464,2	430,1	344,1	Média	0,03
Des. Pad.	0,163	Des. Pad.	1,620	1,366	1,893	1,700	Des. Pad.	0,010

Ai – amostra de areia

Bi – amostra de Brita

LSi – amostra de Laterita Sapé

LJi – amostra de Laterita Jacumã

Li – Leitura da barra no relógio comparador

Variação do comprimento das barras com areia (continuação)

7º Dia

Barra Padrão		Barra	A1	A2	A3	A4	Barra	Expansão (%)
L1	452,0	L1	509,0	469,0	432,5	347,4	A1	0,03
L2	451,1	L2	507,9	470,0	430,8	342,0	A2	0,06
L3	452,5	L3	507,8	469,0	430,0	342,2	A3	0,02
L4	451,1	L4	506,8	466,4	429,4	341,4	A4	0,03
Média	451,7	Média	507,9	468,6	430,7	343,3	Média	0,03
Des. Pad.	0,695	Des. Pad.	0,900	1,541	1,345	2,787	Des. Pad.	0,016

8º Dia

Barra Padrão		Barra	A1	A2	A3	A4	Barra	Expansão (%)
L1	453,3	L1	509,4	457,7	430,3	347,8	A1	0,03
L2	451,8	L2	508,8	457,6	428,8	345,4	A2	0,01
L3	451,9	L3	508,1	456,8	428,0	343,8	A3	0,01
L4	453,1	L4	507,5	455,6	427,0	343,4	A4	0,04
Média	452,5	Média	508,5	456,9	428,5	345,1	Média	0,02
Des. Pad.	0,785	Des. Pad.	0,827	0,971	1,394	1,997	Des. Pad.	0,012

9º Dia (02.09.07)

Barra Padrão		Barra	A1	A2	A3	A4	Barra	Expansão (%)
L1	448,1	L1	505,0	454,3	426,0	342,0	A1	0,03
L2	447,9	L2	503,8	451,9	425,0	341,0	A2	0,02
L3	447,8	L3	503,4	455,1	429,8	339,8	A3	0,02
L4	447,6	L4	502,4	453,6	424,0	339,4	A4	0,04
Média	447,9	Média	503,7	453,7	426,2	340,6	Média	0,03
Des. Pad.	0,208	Des. Pad.	1,075	1,362	2,535	1,182	Des. Pad.	0,008

10º Dia

Barra Padrão		Barra	A1	A2	A3	A4	Barra	Expansão (%)
L1	445,1	L1	503,0	451,0	424,0	341,0	A1	0,03
L2	444,9	L2	502,2	452,2	423,0	340,0	A2	0,02
L3	444,9	L3	502,0	450,9	422,5	338,8	A3	0,02
L4	445,1	L4	500,8	451,9	422,0	337,2	A4	0,04
Média	445,0	Média	502,0	451,5	422,9	339,3	Média	0,03
Des. Pad.	0,115	Des. Pad.	0,909	0,648	0,854	1,636	Des. Pad.	0,011

11º Dia

Barra Padrão		Barra	A1	A2	A3	A4	Barra	Expansão (%)
L1	444,9	L1	502,0	450,4	423,0	340,0	A1	0,03
L2	444,9	L2	501,2	450,8	422,5	338,8	A2	0,01
L3	444,8	L3	500,8	448,7	422,0	337,0	A3	0,02
L4	444,8	L4	500,0	447,3	421,8	336,5	A4	0,04
Média	444,9	Média	501,0	449,3	422,3	338,1	Média	0,02
Des. Pad.	0,058	Des. Pad.	0,833	1,615	0,538	1,619	Des. Pad.	0,011

Ai – amostra de areia

Bi – amostra de Brita

LSi – amostra de Laterita Sapé

LJi – amostra de Laterita Jacumã

Li – Leitura da barra no relógio comparador

Variação do comprimento das barras com areia (continuação)

12º Dia

Barra Padrão		Barra	A1	A2	A3	A4	Barra	Expansão (%)
L1	497,2	L1	555,5	502,4	477,0	390,0	A1	0,03
L2	497,1	L2	555,1	502,4	475,7	389,5	A2	0,02
L3	497,1	L3	554,9	501,9	473,4	388,0	A3	0,02
L4	497,2	L4	553,1	502,4	473,6	386,8	A4	0,03
Média	497,2	Média	554,7	502,3	474,9	388,6	Média	0,02
Des. Pad.	0,058	Des. Pad.	1,063	0,250	1,731	1,457	Des. Pad.	0,009

13º Dia

Barra Padrão		Barra	A1	A2	A3	A4	Barra	Expansão (%)
L1	495,5	L1	552,4	500,6	473,0	386,5	A1	0,03
L2	495,6	L2	551,3	500,1	471,9	386,5	A2	0,01
L3	495,7	L3	550,7	497,5	471,1	384,4	A3	0,01
L4	495,8	L4	550,1	497,3	469,9	384,4	A4	0,03
Média	495,7	Média	551,1	498,9	471,5	385,5	Média	0,02
Des. Pad.	0,129	Des. Pad.	0,981	1,717	1,307	1,212	Des. Pad.	0,009

14º Dia

Barra Padrão		Barra	A1	A2	A3	A4	Barra	Expansão (%)
L1	496,8	L1	555,0	502,5	477,0	392,0	A1	0,03
L2	496,6	L2	554,5	501,0	476,1	390,8	A2	0,01
L3	496,6	L3	553,8	501,0	474,9	388,2	A3	0,02
L4	496,3	L4	553,2	499,8	474,3	388,0	A4	0,04
Média	496,6	Média	554,1	501,1	475,6	389,8	Média	0,03
Des. Pad.	0,206	Des. Pad.	0,789	1,106	1,209	1,969	Des. Pad.	0,011

15º Dia

Barra Padrão		Barra	A1	A2	A3	A4	Barra	Expansão (%)
L1	493,3	L1	551,0	505,6	471,5	387,0	A1	0,03
L2	492,7	L2	549,5	504,0	469,8	384,5	A2	0,04
L3	493,1	L3	549,7	505,2	468,2	384,2	A3	0,01
L4	493,2	L4	549,1	504,2	468,9	383,5	A4	0,03
Média	493,1	Média	549,8	504,8	469,6	384,8	Média	0,03
Des. Pad.	0,263	Des. Pad.	0,822	0,772	1,426	1,525	Des. Pad.	0,012

16º Dia

Barra Padrão		Barra	A1	A2	A3	A4	Barra	Expansão (%)
L1	494,8	L1	555,0	509,8	476,0	392,0	A1	0,04
L2	494,7	L2	553,4	507,6	474,6	391,8	A2	0,04
L3	494,5	L3	552,7	508,4	474,2	388,0	A3	0,02
L4	494,4	L4	552,2	505,9	472,9	388,0	A4	0,04
Média	494,6	Média	553,3	507,9	474,4	390,0	Média	0,04
Des. Pad.	0,183	Des. Pad.	1,220	1,628	1,276	2,253	Des. Pad.	0,010

Ai – amostra de areia

Bi – amostra de Brita

LSi – amostra de Laterita Sapé

LJi – amostra de Laterita Jacumã

Li – Leitura da barra no relógio comparador

Variação do comprimento das barras com areia (continuação)

17º Dia

Barra Padrão		Barra	A1	A2	A3	A4	Barra	Expansão (%)
L1	493,2	L1	552,0	498,5	472,3	386,5	A1	0,03
L2	494,0	L2	551,2	497,0	470,7	385,7	A2	0,01
L3	493,9	L3	550,7	495,6	470,8	385,2	A3	0,01
L4	493,2	L4	549,9	495,7	469,3	384,0	A4	0,03
Média	493,6	Média	551,0	496,7	470,8	385,4	Média	0,02
Des. Pad.	0,435	Des. Pad.	0,881	1,359	1,226	1,047	Des. Pad.	0,012

18º Dia

Barra Padrão		Barra	A1	A2	A3	A4	Barra	Expansão (%)
L1	495,2	L1	554,5	504,0	475,0	390,0	A1	0,03
L2	495,0	L2	553,2	502,5	473,2	388,9	A2	0,02
L3	494,9	L3	552,6	502,2	472,2	387,0	A3	0,02
L4	494,9	L4	551,7	499,9	471,9	386,1	A4	0,04
Média	495,0	Média	553,0	502,2	473,1	388,0	Média	0,03
Des. Pad.	0,141	Des. Pad.	1,175	1,694	1,399	1,772	Des. Pad.	0,009

19º Dia

Barra Padrão		Barra	A1	A2	A3	A4	Barra	Expansão (%)
L1	496,8	L1	557,9	512,2	477,0	390,4	A1	0,04
L2	496,6	L2	556,1	511,1	475,2	387,9	A2	0,05
L3	495,8	L3	555,1	509,9	474,1	386,6	A3	0,02
L4	495,1	L4	554,1	508,5	473,3	386,0	A4	0,03
Média	496,1	Média	555,8	510,4	474,9	387,7	Média	0,04
Des. Pad.	0,780	Des. Pad.	1,621	1,590	1,602	1,952	Des. Pad.	0,012

20º Dia

Barra Padrão		Barra	A1	A2	A3	A4	Barra	Expansão (%)
L1	496,9	L1	558,8	503,4	477,0	389,4	A1	0,04
L2	496,8	L2	556,7	502,8	475,2	388,4	A2	0,02
L3	495,8	L3	556,5	502,8	474,8	387,2	A3	0,02
L4	495,8	L4	555,2	504,2	474,4	386,7	A4	0,03
Média	496,3	Média	556,8	503,3	475,4	387,9	Média	0,03
Des. Pad.	0,608	Des. Pad.	1,490	0,663	1,147	1,215	Des. Pad.	0,010

21º Dia

Barra Padrão		Barra	A1	A2	A3	A4	Barra	Expansão (%)
L1	493,6	L1	555,7	504,8	476,6	391,6	A1	0,04
L2	493,3	L2	553,3	503,2	475,0	388,5	A2	0,04
L3	493,2	L3	553,2	505,2	474,4	388,4	A3	0,03
L4	493,1	L4	552,3	504,3	473,6	388,9	A4	0,05
Média	493,3	Média	553,6	504,4	474,9	389,4	Média	0,04
Des. Pad.	0,216	Des. Pad.	1,455	0,866	1,270	1,515	Des. Pad.	0,008

Ai – amostra de areia

Bi – amostra de Brita

LSi – amostra de Laterita Sapé

LJi – amostra de Laterita Jacumã

Li – Leitura da barra no relógio comparador

Variação do comprimento das barras com areia (continuação)

23º Dia

Barra Padrão		Barra	A1	A2	A3	A4	Barra	Expansão (%)
L1	493,4	L1	558,0	509,2	476,5	388,2	A1	0,05
L2	493,4	L2	556,2	502,2	475,3	387,8	A2	0,04
L3	493,7	L3	555,7	507,7	474,8	385,8	A3	0,03
L4	493,4	L4	555,3	501,4	474,1	385,1	A4	0,04
Média	493,5	Média	556,3	505,1	475,2	386,7	Média	0,04
Des. Pad.	0,150	Des. Pad.	1,192	3,902	1,011	1,509	Des. Pad.	0,009

25º Dia

Barra Padrão		Barra	A1	A2	A3	A4	Barra	Expansão (%)
L1	490,5	L1	553,6	501,6	471,8	387,6	A1	0,05
L2	491,1	L2	552,2	501,2	470,6	385,2	A2	0,03
L3	490,9	L3	551,3	500,9	469,9	385,6	A3	0,02
L4	490,9	L4	550,3	500,9	469,8	384,2	A4	0,04
Média	490,9	Média	551,9	501,2	470,5	385,7	Média	0,04
Des. Pad.	0,252	Des. Pad.	1,401	0,332	0,922	1,427	Des. Pad.	0,010

27º Dia

Barra Padrão		Barra	A1	A2	A3	A4	Barra	Expansão (%)
L1	492,3	L1	555,8	503,7	475,2	391,0	A1	0,05
L2	492,0	L2	553,4	502,2	474,3	388,0	A2	0,03
L3	491,9	L3	552,3	501,5	473,3	388,6	A3	0,03
L4	491,8	L4	551,9	500,2	473,0	387,7	A4	0,05
Média	492,0	Média	553,4	501,9	474,0	388,8	Média	0,04
Des. Pad.	0,216	Des. Pad.	1,752	1,458	1,002	1,497	Des. Pad.	0,010

28º Dia

Barra Padrão		Barra	A1	A2	A3	A4	Barra	Expansão (%)
L1	480,6	L1	547,5	500,5	463,1	375,5	A1	0,06
L2	480,5	L2	545,9	501,2	461,9	374,8	A2	0,07
L3	480,4	L3	542,6	500,9	460,4	374,7	A3	0,03
L4	480,7	L4	543,2	498,5	459,8	373,5	A4	0,04
Média	480,6	Média	544,8	500,3	461,3	374,6	Média	0,05
Des. Pad.	0,129	Des. Pad.	2,302	1,218	1,490	0,830	Des. Pad.	0,018

Ai – amostra de areia

Bi – amostra de Brita

LSi – amostra de Laterita Sapé

LJi – amostra de Laterita Jacumã

Li – Leitura da barra no relógio comparador

Variação do comprimento das barras com brita

2º Dia

Barra Padrão		Barra	B1	B2	B3	B4	CB (1/100mm)
L1	452,2	L1	522,8	272,5	297,2	184,2	29450
L2	452,2	L2	522,0	272,3	296,2	184,0	
L3	452,2	L3	521,8	271,9	296,0	184,0	
L4	452,2	L4	521,6	268,0	295,0	186,0	
Média	452,2	Média	522,1	271,2	296,1	184,6	
Des. Pad.	0	Des. Pad.	0,526	2,131	0,902	0,971	

3º Dia

Barra Padrão		Barra	B1	B2	B3	B4	Barra	Expansão (%)
L1	456,8	L1	529,0	281,2	304,0	190,0	B1	0,01
L2	456,8	L2	528,8	282,0	304,8	189,4	B2	0,02
L3	456,8	L3	528,4	281,2	302,8	185,0	B3	0,01
L4	455,0	L4	527,4	281,6	304,0	187,2	B4	0,00
Média	456,35	Média	528,4	281,5	303,9	187,9	Média	0,01
Des. Pad.	0,900	Des. Pad.	0,712	0,383	0,825	2,277	Des. Pad.	0,010

4º Dia

Barra Padrão		Barra	B1	B2	B3	B4	Barra	Expansão (%)
L1	452,2	L1	528,8	282,0	302,4	196,5	B1	0,02
L2	453,5	L2	527,4	279,2	301,8	200,0	B2	0,03
L3	453	L3	526,8	283,5	300,8	197,2	B3	0,02
L4	452,0	L4	526,4	279,8	301,0	195,0	B4	0,04
Média	452,7	Média	527,4	281,1	301,5	197,2	Média	0,03
Des. Pad.	0,699	Des. Pad.	1,050	1,989	0,739	2,095	Des. Pad.	0,012

5º Dia

Barra Padrão		Barra	B1	B2	B3	B4	Barra	Expansão (%)
L1	453	L1	528,8	282,5	306,0	192,8	B1	0,02
L2	452,6	L2	528,4	282,2	305,5	194,5	B2	0,04
L3	452,8	L3	527,8	282,5	305,0	193,8	B3	0,03
L4	452,8	L4	527,8	281,4	303,5	193,4	B4	0,03
Média	452,8	Média	528,2	282,2	305,0	193,6	Média	0,03
Des. Pad.	0,163	Des. Pad.	0,490	0,520	1,080	0,714	Des. Pad.	0,007

6º Dia

Barra Padrão		Barra	B1	B2	B3	B4	Barra	Expansão (%)
L1	451,7	L1	527,5	279,2	305,0	191,5	B1	0,02
L2	451,4	L2	527,2	278,8	304,9	194,0	B2	0,03
L3	450,4	L3	526,4	278,5	304,9	193,2	B3	0,03
L4	450,4	L4	526,4	277,4	303,7	192,5	B4	0,03
Média	450,975	Média	526,9	278,5	304,6	192,8	Média	0,03
Des. Pad.	0,675	Des. Pad.	0,562	0,772	0,618	1,061	Des. Pad.	0,006

Ai -- amostra de areia

Bi -- amostra de Brita

LSi -- amostra de Laterita Sapé

LJi -- amostra de Laterita Jacumã

Li -- Leitura da barra no relógio comparador

Variação do comprimento das barras com brita (continuação)

7º Dia

Barra Padrão		Barra	B1	B2	B3	B4	Barra	Expansão (%)
L1	451,8	L1	530,2	281,4	307,5	189,4	B1	0,03
L2	451,7	L2	528,9	278,6	306,8	188,0	B2	0,03
L3	451,9	L3	528,3	278,8	306,8	187,7	B3	0,04
L4	448,8	L4	527,9	276,8	305,4	186,5	B4	0,02
Média	451,1	Média	528,8	278,9	306,6	187,9	Média	0,03
Des. Pad.	1,502	Des. Pad.	1,005	1,894	0,881	1,192	Des. Pad.	0,010

8º Dia

Barra Padrão		Barra	B1	B2	B3	B4	Barra	Expansão (%)
L1	447,8	L1	522,9	272,0	304,2	190,0	B1	0,02
L2	446,0	L2	522,4	271,5	302,2	186,4	B2	0,02
L3	446,0	L3	521,6	271,6	300,0	184,4	B3	0,04
L4	446,1	L4	521,3	270,6	301,4	187,6	B4	0,03
Média	446,5	Média	522,1	271,4	302,0	187,1	Média	0,03
Des. Pad.	0,885	Des. Pad.	0,733	0,591	1,754	2,341	Des. Pad.	0,009

9º Dia

Barra Padrão		Barra	B1	B2	B3	B4	Barra	Expansão (%)
L1	443,8	L1	521,0	270,2	300,2	186,2	B1	0,02
L2	443,6	L2	520,6	269,2	299,9	185,0	B2	0,02
L3	443,8	L3	520,2	271,2	299,0	186,2	B3	0,04
L4	444,6	L4	520,2	268,8	298,4	174,8	B4	0,02
Média	444,0	Média	520,5	269,9	299,4	183,1	Média	0,03
Des. Pad.	0,443	Des. Pad.	0,383	1,075	0,826	5,529	Des. Pad.	0,008

10º Dia

Barra Padrão		Barra	B1	B2	B3	B4	Barra	Expansão (%)
L1	443,0	L1	520,4	268,0	299,0	182,5	B1	0,02
L2	443,1	L2	519,4	266,5	298,2	182,5	B2	0,02
L3	442,1	L3	518,7	265,7	298,8	183,2	B3	0,04
L4	442,8	L4	517,5	266,2	296,0	182,5	B4	0,03
Média	442,8	Média	519,0	266,6	298,0	182,7	Média	0,03
Des. Pad.	0,451	Des. Pad.	1,219	0,990	1,376	0,350	Des. Pad.	0,009

11º Dia

Barra Padrão		Barra	B1	B2	B3	B4	Barra	Expansão (%)
L1	496,0	L1	575,0	321,0	353,0	237,0	B1	0,02
L2	497,8	L2	573,8	322,2	353,0	239,0	B2	0,02
L3	497,3	L3	573,8	320,3	352,5	233,0	B3	0,04
L4	497,0	L4	572,8	320,8	352,1	232,4	B4	0,02
Média	497,0	Média	573,9	321,1	352,7	235,4	Média	0,03
Des. Pad.	0,759	Des. Pad.	0,900	0,806	0,436	3,176	Des. Pad.	0,010

Ai – amostra de areia

Bi – amostra de Brita

LSi – amostra de Laterita Sapé

LJi – amostra de Laterita Jacumã

Li – Leitura da barra no relógio comparador

Variação do comprimento das barras com brita (continuação)

12º Dia

Barra Padrão		Barra	B1	B2	B3	B4	Barra	Expansão (%)
495,7	497,2	L1	575,0	320,6	351,8	232,5	B1	0,02
495,8	497,1	L2	573,4	320,3	349,7	232,5	B2	0,01
496,2	497,1	L3	572,5	320,2	349,8	231,4	B3	0,03
495,9	497,2	L4	572,1	320,8	350,0	230,0	B4	0,01
Média	497,2	Média	573,3	320,5	350,3	231,6	Média	0,02
Des. Pad.	0,058	Des. Pad.	1,287	0,275	0,991	1,186	Des. Pad.	0,010

13º Dia

Barra Padrão		Barra	B1	B2	B3	B4	Barra	Expansão (%)
L1	495,6	L1	576,4	322,5	353,5	233,5	B1	0,03
L2	495,6	L2	575,0	322,3	352,6	232,5	B2	0,03
L3	496,0	L3	574,6	322,2	352,3	231,5	B3	0,04
L4	495,8	L4	573,6	323,0	351,9	229,7	B4	0,01
Média	495,8	Média	574,9	322,5	352,6	231,8	Média	0,03
Des. Pad.	0,191	Des. Pad.	1,160	0,356	0,680	1,621	Des. Pad.	0,013

14º Dia

Barra Padrão		Barra	B1	B2	B3	B4	Barra	Expansão (%)
L1	494,0	L1	571,0	320,0	350,2	240,5	B1	0,02
L2	493,9	L2	569,8	320,2	350,2	237,7	B2	0,02
L3	494,0	L3	570,0	320,1	350,1	237,5	B3	0,04
L4	494,1	L4	570,1	319,0	349,7	237,1	B4	0,04
Média	494,0	Média	570,2	319,8	350,1	238,2	Média	0,03
Des. Pad.	0,082	Des. Pad.	0,532	0,556	0,238	1,553	Des. Pad.	0,011

15º Dia

Barra Padrão		Barra	B1	B2	B3	B4	Barra	Expansão (%)
L1	495,0	L1	572,0	320,9	352,1	240,1	B1	0,02
L2	494,0	L2	571,6	319,2	351,8	239,5	B2	0,02
L3	493,7	L3	569,7	318,7	350,7	238,4	B3	0,05
L4	493,7	L4	570,1	318,7	350,7	237,5	B4	0,04
Média	494,1	Média	570,9	319,4	351,3	238,9	Média	0,03
Des. Pad.	0,616	Des. Pad.	1,121	1,044	0,732	1,156	Des. Pad.	0,013

16º Dia

Barra Padrão		Barra	B1	B2	B3	B4	Barra	Expansão (%)
L1	493,2	L1	573,0	319,2	350,5	240,2	B1	0,03
L2	493,2	L2	571,4	316,9	351,3	238,1	B2	0,02
L3	494,6	L3	570,6	318,2	349,2	237,5	B3	0,04
L4	493,6	L4	570,4	316,0	348,9	237,7	B4	0,04
Média	493,7	Média	571,4	317,6	350,0	238,4	Média	0,03
Des. Pad.	0,661	Des. Pad.	1,182	1,410	1,124	1,242	Des. Pad.	0,013

Ai – amostra de areia

Bi – amostra de Brita

LSi – amostra de Laterita Sapé

LJi – amostra de Laterita Jacumã

Li – Leitura da barra no relógio comparador

Variação do comprimento das barras com brita (continuação)

17º Dia

Barra Padrão		Barra	B1	B2	B3	B4	Barra	Expansão (%)
L1	493,8	L1	573,0	319,5	351,5	239,8	B1	0,03
L2	493,8	L2	572,8	319,5	350,8	239,8	B2	0,02
L3	493,9	L3	571,4	320,9	350,8	236,4	B3	0,04
L4	494,2	L4	571,2	320,3	349,2	236,7	B4	0,04
Média	493,9	Média	572,1	320,1	350,6	238,2	Média	0,03
Des. Pad.	0,189	Des. Pad.	0,931	0,681	0,974	1,880	Des. Pad.	0,009

18º Dia

Barra Padrão		Barra	B1	B2	B3	B4	Barra	Expansão (%)
L1	494,9	L1	574,5	319,7	351,3	239,9	B1	0,03
L2	494,3	L2	573,2	317,2	351,1	238,9	B2	0,02
L3	493,8	L3	572,6	318,1	351,8	238,8	B3	0,04
L4	494,2	L4	571,0	320,2	351,2	237,1	B4	0,04
Média	494,3	Média	572,8	318,8	351,4	238,7	Média	0,03
Des. Pad.	0,455	Des. Pad.	1,452	1,393	0,311	1,162	Des. Pad.	0,012

19º Dia

Barra Padrão		Barra	B1	B2	B3	B4	Barra	Expansão (%)
L1	492,1	L1	571,4	316,2	350,4	238,6	B1	0,03
L2	492,1	L2	570,1	315,9	350,2	237,1	B2	0,02
L3	492,3	L3	569,3	317,7	350,1	237,2	B3	0,05
L4	492,1	L4	568,9	317,3	350,1	236,0	B4	0,04
Média	492,2	Média	569,9	316,8	350,2	237,2	Média	0,03
Des. Pad.	0,100	Des. Pad.	1,103	0,862	0,141	1,066	Des. Pad.	0,014

20º Dia

Barra Padrão		Barra	B1	B2	B3	B4	Barra	Expansão (%)
L1	492,4	L1	568,9	316,7	347,5	238,0	B1	0,02
L2	492,7	L2	568,1	315,6	347,5	237,5	B2	0,02
L3	492,3	L3	567,6	315,9	347,3	236,6	B3	0,04
L4	492,1	L4	566,1	317,5	347,1	235,0	B4	0,04
Média	492,4	Média	567,7	316,4	347,4	236,8	Média	0,03
Des. Pad.	0,250	Des. Pad.	1,179	0,854	0,191	1,318	Des. Pad.	0,013

22º Dia

Barra Padrão		Barra	B1	B2	B3	B4	Barra	Expansão (%)
L1	492,9	L1	574,3	322,5	350,8	239,4	B1	0,04
L2	492,7	L2	573,0	321,8	349,9	238,5	B2	0,04
L3	492,3	L3	572,8	321,8	349,3	238,9	B3	0,05
L4	492,8	L4	572,1	321,5	349,6	238,2	B4	0,05
Média	492,7	Média	573,1	321,9	349,9	238,8	Média	0,04
Des. Pad.	0,263	Des. Pad.	0,918	0,424	0,648	0,520	Des. Pad.	0,006

Ai – amostra de areia

Bi – amostra de Brita

LSi – amostra de Laterita Sapé

LJi – amostra de Laterita Jacumã

Li – Leitura da barra no relógio comparador

Variação do comprimento das barras com brita (continuação)

24º Dia

Barra Padrão		Barra	B1	B2	B3	B4	Barra	Expansão (%)
L1	490,4	L1	571,0	321,2	350,2	237,5	B1	0,03
L2	490,9	L2	570,1	319,2	350,3	239,8	B2	0,04
L3	490,9	L3	569,9	320,2	350,2	240,5	B3	0,05
L4	491,1	L4	569,3	320,2	349,8	239,5	B4	0,06
Média	490,8	Média	570,1	320,2	350,1	239,3	Média	0,04
Des. Pad.	0,299	Des. Pad.	0,704	0,816	0,222	1,287	Des. Pad.	0,012

26º Dia

Barra Padrão		Barra	B1	B2	B3	B4	Barra	Expansão (%)
L1	490,1	L1	571,8	318,9	342,6	238,9	B1	0,03
L2	490,7	L2	570,4	317,9	342,3	238,1	B2	0,03
L3	490,8	L3	570,9	317,3	341,9	237,1	B3	0,03
L4	490,6	L4	569,1	317,7	343,0	235,2	B4	0,05
Média	490,6	Média	570,6	318,0	342,5	237,3	Média	0,03
Des. Pad.	0,311	Des. Pad.	1,127	0,681	0,465	1,597	Des. Pad.	0,010

28º Dia

Barra Padrão		Barra	B1	B2	B3	B4	Barra	Expansão (%)
L1	477,2	L1	565,8	306,2	336,2	225,8	B1	0,06
L2	477,5	L2	563,8	304,5	334,5	225,4	B2	0,03
L3	478,6	L3	564,2	304,9	334,9	224,5	B3	0,05
L4	478,4	L4	563,9	305,9	335,9	223,2	B4	0,05
Média	477,9	Média	564,4	305,4	335,4	224,7	Média	0,05
Des. Pad.	0,680	Des. Pad.	0,932	0,806	0,806	1,153	Des. Pad.	0,012

Ai – amostra de areia

Bi – amostra de Brita

LSi – amostra de Laterita Sapé

LJi – amostra de Laterita Jacumã

Li – Leitura da barra no relógio comparador

Varição do comprimento das barras com laterita Sapé

2º Dia

Barra Padrão		Barra	LS1	LS2	LS3	LS4	CB (1/100)
L1	453,0	L1	476,2	352,4	345,8	302,4	29450
L2	452,6	L2	475,8	352,4	346,3	301,2	
L3	452,8	L3	474,8	352,2	338,0	302,2	
L4	452,8	L4	473,4	352,4	320,0	302,6	
Média	452,8	Média	475,1	352,4	337,5	302,1	
Des. Pad.	0,163	Des. Pad.	1,248	0,100	12,286	0,622	

3º Dia

Barra Padrão		Barra	LS1	LS2	LS3	LS4	Barra	Expansão (%)
L1	450,5	L1	475,4	358,2	348,0	302,2	LS1	0,01
L2	450,5	L2	475,4	357,9	343,0	302,1	LS2	0,02
L3	450,8	L3	475,0	355,8	346,5	302,8	LS3	0,03
L4	450,8	L4	474,4	356,2	343,8	302,3	LS4	0,01
Média	450,7	Média	475,1	357,0	345,3	302,4	Média	0,02
Des. Pad.	0,173	Des. Pad.	0,473	1,201	2,329	0,311	Des. Pad.	0,013

4º Dia

Barra Padrão		Barra	LS1	LS2	LS3	LS4	Barra	Expansão (%)
L1	447,0	L1	469,0	355,0	343,6	300,5	LS1	-0,01
L2	446,8	L2	464,4	353,0	344,0	298,8	LS2	0,02
L3	447,1	L3	466,3	353,5	343,0	302,2	LS3	0,04
L4	447,4	L4	468,1	353,0	341,4	299,0	LS4	0,01
Média	447,1	Média	467,0	353,6	343,0	300,1	Média	0,02
Des. Pad.	0,250	Des. Pad.	2,037	0,946	1,143	1,578	Des. Pad.	0,019

5º Dia

Barra Padrão		Barra	LS1	LS2	LS3	LS4	Barra	Expansão (%)
L1	445,1	L1	458,2	352,8	347,3	298,0	LS1	-0,01
L2	445,7	L2	464,2	352,4	346,9	298,0	LS2	0,02
L3	445,8	L3	466,8	351,4	347,0	296,4	LS3	0,06
L4	445,2	L4	468,0	350,6	346,8	297,0	LS4	0,01
Média	445,45	Média	464,3	351,8	347,0	297,4	Média	0,02
Des. Pad.	0,351	Des. Pad.	4,365	0,993	0,216	0,790	Des. Pad.	0,029

6º Dia

Barra Padrão		Barra	LS1	LS2	LS3	LS4	Barra	Expansão (%)
L1	443,2	L1	471,0	352,2	347,2	301,4	LS1	0,02
L2	443,4	L2	470,9	350,8	350,0	302,2	LS2	0,03
L3	443,0	L3	470,1	350,3	348,9	295,0	LS3	0,07
L4	443,0	L4	469,4	350,0	346,8	295,4	LS4	0,02
Média	443,15	Média	470,4	350,8	348,2	298,5	Média	0,03
Des. Pad.	0,191	Des. Pad.	0,751	0,974	1,493	3,828	Des. Pad.	0,024

Ai – amostra de areia

Bi – amostra de Brita

LSi – amostra de Laterita Sapé

LJi – amostra de Laterita Jacumã

Li – Leitura da barra no relógio comparador

Variação do comprimento das barras com laterita Sapé (continuação)

7º Dia

Barra Padrão		Barra	LS1	LS2	LS3	LS4	Barra	Expansão (%)
L1	443,5	L1	469,5	350,2	352,0	301,4	LS1	0,01
L2	444,5	L2	468,6	351,8	351,1	307,8	LS2	0,02
L3	443,3	L3	470,3	350,3	349,0	308,8	LS3	0,07
L4	443,8	L4	465,2	349,4	345,6	304,5	LS4	0,04
Média	443,8	Média	468,4	350,4	349,4	305,6	Média	0,04
Des. Pad.	0,525	Des. Pad.	2,244	1,001	2,843	3,363	Des. Pad.	0,027

8º Dia

Barra Padrão		Barra	LS1	LS2	LS3	LS4	Barra	Expansão (%)
L1	496,0	L1	522,0	405,0	410,8	354,0	LS1	0,01
L2	496,6	L2	522,2	403,0	407,2	356,0	LS2	0,03
L3	495,0	L3	521,3	403,4	402,8	355,0	LS3	0,09
L4	495,1	L4	520,0	402,4	403,5	352,6	LS4	0,03
Média	495,7	Média	521,4	403,5	406,1	354,4	Média	0,04
Des. Pad.	0,763	Des. Pad.	0,995	1,112	3,694	1,451	Des. Pad.	0,033

9º Dia

Barra Padrão		Barra	LS1	LS2	LS3	LS4	Barra	Expansão (%)
L1	496,2	L1	524,0	407,5	410,8	357,0	LS1	0,02
L2	496,2	L2	525,0	405,5	407,3	358,5	LS2	0,03
L3	496,2	L3	523,0	404,5	405,6	357,5	LS3	0,09
L4	496,4	L4	522,0	403,9	406,7	355,0	LS4	0,04
Média	496,3	Média	523,5	405,4	407,6	357,0	Média	0,04
Des. Pad.	0,100	Des. Pad.	1,291	1,578	2,246	1,472	Des. Pad.	0,032

10º Dia

Barra Padrão		Barra	LS1	LS2	LS3	LS4	Barra	Expansão (%)
L1	495,9	L1	525,0	406,4	401,3	357,0	LS1	0,02
L2	496,0	L2	522,0	404,0	402,0	356,2	LS2	0,03
L3	496,1	L3	523,5	403,0	400,6	355,1	LS3	0,07
L4	496,0	L4	523,0	403,4	401,7	352,0	LS4	0,03
Média	496,0	Média	523,4	404,2	401,4	355,1	Média	0,04
Des. Pad.	0,082	Des. Pad.	1,250	1,523	0,606	2,193	Des. Pad.	0,023

11º Dia

Barra Padrão		Barra	LS1	LS2	LS3	LS4	Barra	Expansão (%)
L1	495,3	L1	522,5	407,0	403,9	356,4	LS1	0,01
L2	494,8	L2	520,5	404,8	402,2	355,7	LS2	0,03
L3	495,0	L3	522,1	403,5	402,4	355,1	LS3	0,08
L4	495,2	L4	521,4	403,5	402,9	355,6	LS4	0,04
Média	495,1	Média	521,6	404,7	402,9	355,7	Média	0,04
Des. Pad.	0,222	Des. Pad.	0,877	1,651	0,759	0,535	Des. Pad.	0,027

Ai – amostra de areia

Bi – amostra de Brita

LSi – amostra de Laterita Sapé

LJi – amostra de Laterita Jacumã

Li – Leitura da barra no relógio comparador

Variação do comprimento das barras com laterita Sapé (continuação)

12º Dia

Barra Padrão		Barra	LS1	LS2	LS3	LS4	Barra	Expansão (%)
495,7	493,2	L1	519,8	405,0	399,6	350,1	LS1	0,01
495,8	493,7	L2	518,2	404,3	401,6	352,5	LS2	0,04
496,2	493,5	L3	521,2	402,5	398,9	350,5	LS3	0,08
495,9	493,5	L4	519,8	401,8	401,4	347,0	LS4	0,02
Média	493,5	Média	519,8	403,4	400,4	350,0	Média	0,04
Des. Pad.	0,206	Des. Pad.	1,226	1,499	1,333	2,274	Des. Pad.	0,027

13º Dia

Barra Padrão		Barra	LS1	LS2	LS3	LS4	Barra	Expansão (%)
L1	493,5	L1	520,0	405,0	405,7	355,7	LS1	0,02
L2	494,5	L2	520,5	403,0	403,1	355,9	LS2	0,03
L3	493,6	L3	522,2	402,8	407,3	355,5	LS3	0,09
L4	494,6	L4	521,9	402,0	403,9	356,0	LS4	0,04
Média	494,1	Média	521,2	403,2	405,0	355,8	Média	0,05
Des. Pad.	0,580	Des. Pad.	1,066	1,275	1,880	0,222	Des. Pad.	0,031

14º Dia

Barra Padrão		Barra	LS1	LS2	LS3	LS4	Barra	Expansão (%)
L1	495,6	L1	522,9	401,9	402,6	351,3	LS1	0,01
L2	495,2	L2	521,2	401,0	400,1	359,3	LS2	0,02
L3	494,8	L3	520,1	401,2	398,1	356,8	LS3	0,07
L4	495,2	L4	519,3	400,9	400,6	352,8	LS4	0,04
Média	495,2	Média	520,9	401,3	400,4	355,1	Média	0,03
Des. Pad.	0,327	Des. Pad.	1,559	0,451	1,848	3,663	Des. Pad.	0,025

15º Dia

Barra Padrão		Barra	LS1	LS2	LS3	LS4	Barra	Expansão (%)
L1	494,4	L1	520,6	402,0	403,3	356,0	LS1	0,01
L2	493,2	L2	520,0	401,4	401,6	354,6	LS2	0,03
L3	493,3	L3	519,7	401,0	400,4	354,3	LS3	0,08
L4	493,5	L4	519,1	400,8	399,5	353,1	LS4	0,04
Média	493,6	Média	519,9	401,3	401,2	354,5	Média	0,04
Des. Pad.	0,548	Des. Pad.	0,624	0,529	1,643	1,192	Des. Pad.	0,028

16º Dia

Barra Padrão		Barra	LS1	LS2	LS3	LS4	Barra	Expansão (%)
L1	492,7	L1	520,2	402,5	402,3	356,8	LS1	0,02
L2	492,2	L2	519,3	400,5	402,7	355,7	LS2	0,03
L3	492,2	L3	519,1	400,2	403,8	353,9	LS3	0,09
L4	492,4	L4	518,7	400,2	403,2	353,1	LS4	0,05
Média	492,4	Média	519,3	400,9	403,0	354,9	Média	0,04
Des. Pad.	0,236	Des. Pad.	0,634	1,109	0,648	1,682	Des. Pad.	0,031

Ai – amostra de areia

Bi – amostra de Brita

LSi – amostra de Laterita Sapé

LJi – amostra de Laterita Jacumã

Li – Leitura da barra no relógio comparador

Varição do comprimento das barras com laterita Sapé (continuação)

18º Dia

Barra Padrão		Barra	LS1	LS2	LS3	LS4	Barra	Expansão (%)
L1	492,4	L1	523,2	403,0	408,4	357,0	LS1	0,02
L2	492,1	L2	521,4	402,3	402,5	356,7	LS2	0,03
L3	492,6	L3	521,0	400,1	401,8	355,7	LS3	0,09
L4	492,2	L4	519,8	400,0	401,7	354,6	LS4	0,05
Média	492,3	Média	521,4	401,4	403,6	356,0	Média	0,05
Des. Pad.	0,222	Des. Pad.	1,408	1,529	3,220	1,086	Des. Pad.	0,030

21º Dia

Barra Padrão		Barra	LS1	LS2	LS3	LS4	Barra	Expansão (%)
L1	490,9	L1	520,2	402,5	397,0	354,8	LS1	0,02
L2	491,1	L2	519,2	400,8	397,7	353,6	LS2	0,04
L3	491,0	L3	519,2	401,9	397,7	353,7	LS3	0,07
L4	490,9	L4	519,2	401,0	398,0	352,1	LS4	0,05
Média	491,0	Média	519,5	401,6	397,6	353,6	Média	0,04
Des. Pad.	0,096	Des. Pad.	0,500	0,794	0,424	1,109	Des. Pad.	0,022

23º Dia

Barra Padrão		Barra	LS1	LS2	LS3	LS4	Barra	Expansão (%)
L1	493,0	L1	524,0	405,2	400,8	357,8	LS1	0,02
L2	492,9	L2	522,4	403,9	403,7	356,2	LS2	0,04
L3	492,7	L3	522,0	404,1	402,7	355,6	LS3	0,08
L4	492,4	L4	520,9	404,1	402,4	355,8	LS4	0,05
Média	492,8	Média	522,3	404,3	402,4	356,4	Média	0,05
Des. Pad.	0,265	Des. Pad.	1,284	0,591	1,203	0,998	Des. Pad.	0,025

25º Dia

Barra Padrão		Barra	LS1	LS2	LS3	LS4	Barra	Expansão (%)
L1	488,2	L1	512,2	397,5	398,9	352,2	LS1	0,00
L2	488,6	L2	511,6	397,2	396,9	351,1	LS2	0,03
L3	488,7	L3	513,7	396,2	397,5	350,9	LS3	0,08
L4	489,2	L4	511,9	396,1	397,6	349,8	LS4	0,04
Média	488,7	Média	512,4	396,8	397,7	351,0	Média	0,04
Des. Pad.	0,411	Des. Pad.	0,933	0,705	0,842	0,983	Des. Pad.	0,033

28º Dia

Barra Padrão		Barra	LS1	LS2	LS3	LS4	Barra	Expansão (%)
L1	475,2	L1	497,2	386,0	385,3	341,0	LS1	0,00
L2	475,2	L2	498,0	385,4	387,2	339,6	LS2	0,03
L3	475,6	L3	497,5	384,2	387,4	338,7	LS3	0,09
L4	475,1	L4	497,0	383,9	386,5	338,0	LS4	0,05
Média	475,3	Média	497,4	384,9	386,6	339,3	Média	0,04
Des. Pad.	0,222	Des. Pad.	0,435	0,991	0,949	1,295	Des. Pad.	0,038

Ai – amostra de areia

Bi – amostra de Brita

LSi – amostra de Laterita Sapé

LJi – amostra de Laterita Jacumã

Li – Leitura da barra no relógio comparador

Variação do comprimento das barras com laterita Jacumã

2º Dia

Barra Padrão		Barra	LJ1	LJ2	LJ3	CB (1/100mm)
L1	453,3	L1	467,5	521,0	552,2	29450
L2	453,5	L2	467,0	520,8	551,8	
L3	453,1	L3	466,4	520,4	551,4	
L4	452,5	L4	465,4	520,4	550,0	
Média	453,1	Média	466,6	520,7	551,4	
Des. Pad.	0,432	Des. Pad.	0,903	0,300	0,957	

3º Dia

Barra Padrão		Barra	LJ1	LJ2	LJ3	Barra	Expansão (%)
L1	447,5	L1	478,5	526,5	555,4	LJ1	0,05
L2	447,5	L2	477,9	526,1	558,1	LJ2	0,03
L3	450,5	L3	476,7	525,1	557,4	LJ3	0,03
L4	449,8	L4	476,4	525,0	556,7	Média	0,04
Média	448,8	Média	477,4	525,7	556,9	Des. Pad.	0,011
Des. Pad.	1,556	Des. Pad.	0,991	0,741	1,152		

4º Dia

Barra Padrão		Barra	LJ1	LJ2	LJ3	Barra	Expansão (%)
L1	444,2	L1	469,2	524,4	555,8	LJ1	0,04
L2	444,2	L2	469,0	523,5	554,1	LJ2	0,04
L3	444,3	L3	468,5	522,9	553,0	LJ3	0,04
L4	443,0	L4	468,2	522,4	552,5	Média	0,04
Média	443,9	Média	468,7	523,3	553,9	Des. Pad.	0,001
Des. Pad.	0,618	Des. Pad.	0,457	0,860	1,462		

5º Dia

Barra Padrão		Barra	LJ1	LJ2	LJ3	Barra	Expansão (%)
L1	443,6	L1	469,5	522,3	557,5	LJ1	0,04
L2	443,8	L2	469,0	522,0	555,5	LJ2	0,03
L3	443,5	L3	467,2	521,3	554,2	LJ3	0,04
L4	443,3	L4	467,1	520,0	551,9	Média	0,04
Média	443,6	Média	468,2	521,4	554,8	Des. Pad.	0,005
Des. Pad.	0,208	Des. Pad.	1,230	1,023	2,349		

6º Dia

Barra Padrão		Barra	LJ1	LJ2	LJ3	Barra	Expansão (%)
L1	442,5	L1	468,5	522,0	552,0	LJ1	0,04
L2	442,7	L2	467,3	520,4	553,3	LJ2	0,03
L3	442,1	L3	467,5	519,2	551,6	LJ3	0,04
L4	442,7	L4	466,5	519,1	553,0	Média	0,04
Média	442,5	Média	467,5	520,2	552,5	Des. Pad.	0,003
Des. Pad.	0,283	Des. Pad.	0,823	1,352	0,806		

Ai – amostra de areia

Bi – amostra de Brita

LSi – amostra de Laterita Sapé

LJi – amostra de Laterita Jacumã

Li – Leitura da barra no relógio comparador

Variação do comprimento das barras com laterita Jacumã (continuação)

7º Dia

Barra Padrão		Barra	LJ1	LJ2	LJ3	Barra	Expansão (%)
L1	494	L1	521,0	575,0	606,0	LJ1	0,04
L2	494,5	L2	520,5	573,4	604,8	LJ2	0,04
L3	494,5	L3	519,6	573,0	604,0	LJ3	0,04
L4	495,2	L4	519,0	572,0	603,2	Média	0,04
Média	494,6	Média	520,0	573,4	604,5	Des. Pad.	0,001
Des. Pad.	0,493	Des. Pad.	0,896	1,248	1,194		

8º Dia

Barra Padrão		Barra	LJ1	LJ2	LJ3	Barra	Expansão (%)
L1	497,3	L1	526,0	580,0	612,7	LJ1	0,05
L2	497,1	L2	525,4	578,5	611,8	LJ2	0,05
L3	496,9	L3	525,0	578,1	610,4	LJ3	0,06
L4	496,9	L4	524,0	577,9	611,7	Média	0,05
Média	497,1	Média	525,1	578,6	611,7	Des. Pad.	0,004
Des. Pad.	0,191	Des. Pad.	0,841	0,950	0,947		

9º Dia

Barra Padrão		Barra	LJ1	LJ2	LJ3	Barra	Expansão (%)
L1	494	L1	521,0	577,0	606,2	LJ1	0,04
L2	495,7	L2	520,2	575,0	607,8	LJ2	0,04
L3	494,9	L3	520,1	575,2	607,5	LJ3	0,05
L4	494,7	L4	519,0	573,0	606,4	Média	0,04
Média	494,8	Média	520,1	575,1	607,0	Des. Pad.	0,004
Des. Pad.	0,699	Des. Pad.	0,822	1,636	0,793		

10º Dia

Barra Padrão		Barra	LJ1	LJ2	LJ3	Barra	Expansão (%)
L1	496,1	L1	526,7	581,5	613,3	LJ1	0,05
L2	496,2	L2	526,1	580,2	610,5	LJ2	0,06
L3	496,1	L3	524,8	579,9	609,4	LJ3	0,06
L4	496,1	L4	524,8	578,9	611,0	Média	0,06
Média	496,1	Média	525,6	580,1	611,1	Des. Pad.	0,001
Des. Pad.	0,050	Des. Pad.	0,956	1,072	1,642		

11º Dia

Barra Padrão		Barra	LJ1	LJ2	LJ3	Barra	Expansão (%)
L1	493,6	L1	520,0	573,2	606,4	LJ1	0,04
L2	493,2	L2	518,7	572,8	605,4	LJ2	0,04
L3	493,2	L3	518,5	572,0	605,2	LJ3	0,05
L4	493,0	L4	518,0	571,4	605,2	Média	0,04
Média	493,3	Média	518,8	572,4	605,6	Des. Pad.	0,004
Des. Pad.	0,252	Des. Pad.	0,852	0,806	0,574		

Ai – amostra de areia

Bi – amostra de Brita

LSi – amostra de Laterita Sapé

LJi – amostra de Laterita Jacumã

Li – Leitura da barra no relógio comparador

Variação do comprimento das barras com laterita Jacumã (continuação)

12º Dia

Barra Padrão		Barra	LJ1	LJ2	LJ3	Barra	Expansão (%)
L1	496,5	L1	525,5	580,2	611,0	LJ1	0,05
L2	496,1	L2	524,0	578,9	612,2	LJ2	0,05
L3	495,6	L3	523,1	578,9	611,1	LJ3	0,06
L4	495,6	L4	522,7	577,0	611,0	Média	0,05
Média	496,0	Média	523,8	578,8	611,3	Des. Pad.	0,005
Des. Pad.	0,436	Des. Pad.	1,242	1,318	0,585		

13º Dia

Barra Padrão		Barra	LJ1	LJ2	LJ3	Barra	Expansão (%)
L1	495,1	L1	549,9	573,5	608,0	LJ1	0,06
L2	494,7	L2	518,8	573,1	607,9	LJ2	0,04
L3	494,1	L3	518,2	572,9	606,9	LJ3	0,05
L4	494,3	L4	517,8	572,2	606,2	Média	0,05
Média	494,6	Média	526,2	572,9	607,3	Des. Pad.	0,012
Des. Pad.	0,443	Des. Pad.	15,822	0,544	0,858		

14º Dia

Barra Padrão		Barra	LJ1	LJ2	LJ3	Barra	Expansão (%)
L1	493,4	L1	521,5	575,7	608,1	LJ1	0,04
L2	493,7	L2	520,4	574,3	605,2	LJ2	0,05
L3	493,7	L3	519,8	575,0	604,2	LJ3	0,05
L4	493,7	L4	519,1	573,0	605,2	Média	0,05
Média	493,6	Média	520,2	574,5	605,7	Des. Pad.	0,001
Des. Pad.	0,150	Des. Pad.	1,017	1,152	1,684		

15º Dia

Barra Padrão		Barra	LJ1	LJ2	LJ3	Barra	Expansão (%)
L1	492,2	L1	520,5	574,9	608,0	LJ1	0,04
L2	492,6	L2	519,2	574,7	607,0	LJ2	0,05
L3	492,2	L3	517,9	575,0	607,2	LJ3	0,06
L4	492,6	L4	517,7	574,1	607,9	Média	0,05
Média	492,4	Média	518,8	574,7	607,5	Des. Pad.	0,007
Des. Pad.	0,231	Des. Pad.	1,300	0,403	0,499		

16º Dia

Barra Padrão		Barra	LJ1	LJ2	LJ3	Barra	Expansão (%)
L1	492,5	L1	520,0	575,3	608,9	LJ1	0,05
L2	492,4	L2	520,0	574,4	607,1	LJ2	0,05
L3	492,8	L3	519,2	573,8	605,2	LJ3	0,05
L4	492,9	L4	519,0	573,2	606,6	Média	0,05
Média	492,7	Média	519,6	574,2	607,0	Des. Pad.	0,005
Des. Pad.	0,238	Des. Pad.	0,526	0,896	1,529		

Ai – amostra de areia

Bi – amostra de Brita

LSi – amostra de Laterita Sapé

LJi – amostra de Laterita Jacumã

Li – Leitura da barra no relógio comparador

Variação do comprimento das barras com laterita Jacumã (continuação)

19º Dia

Barra Padrão		Barra	LJ1	LJ2	LJ3	Barra	Expansão (%)
L1	491,5	L1	520,0	576,1	604,8	LJ1	0,05
L2	491,8	L2	519,2	575,3	606,9	LJ2	0,05
L3	492,1	L3	518,3	574,5	607,0	LJ3	0,05
L4	492,0	L4	517,8	574,5	606,1	Média	0,05
Média	491,9	Média	518,8	575,1	606,2	Des. Pad.	0,005
Des. Pad.	0,265	Des. Pad.	0,974	0,766	1,017		

22º Dia

Barra Padrão		Barra	LJ1	LJ2	LJ3	Barra	Expansão (%)
L1	490	L1	519,2	575,0	610,2	LJ1	0,05
L2	490	L2	518,7	574,3	610,4	LJ2	0,06
L3	490	L3	518,2	573,3	609,9	LJ3	0,07
L4	490,2	L4	517,2	573,1	609,6	Média	0,06
Média	490,1	Média	518,3	573,9	610,0	Des. Pad.	0,012
Des. Pad.	0,100	Des. Pad.	0,854	0,888	0,350		

25º Dia

Barra Padrão		Barra	LJ1	LJ2	LJ3	Barra	Expansão (%)
L1	489,1	L1	517,0	572,5	604,2	LJ1	0,04
L2	489,1	L2	516,0	571,2	604,3	LJ2	0,05
L3	489	L3	515,2	570,3	605,7	LJ3	0,06
L4	488,8	L4	514,1	570,0	604,5	Média	0,05
Média	489,0	Média	515,6	571,0	604,7	Des. Pad.	0,007
Des. Pad.	0,141	Des. Pad.	1,228	1,122	0,695		

28º Dia

Barra Padrão		Barra	LJ1	LJ2	LJ3	Barra	Expansão (%)
L1	475,1	L1	511,0	566,5	595,5	LJ1	0,07
L2	474,9	L2	509,7	565,1	597,1	LJ2	0,08
L3	475,2	L3	508,8	564,7	595,7	LJ3	0,08
L4	474,1	L4	508,8	564,0	596,6	Média	0,08
Média	474,8	Média	509,6	565,1	596,2	Des. Pad.	0,003
Des. Pad.	0,499	Des. Pad.	1,040	1,053	0,754		

Ai – amostra de areia

Bi – amostra de Brita

LSi – amostra de Laterita Sapé

LJi – amostra de Laterita Jacumã

Li – Leitura da barra no relógio comparador

APÊNDECE B

Método Químico

Constam planilhas de cálculos resultantes do ensaio pelo método químico para o agregado miúdo e os agregados graúdos.

Tabela de dados: Análise da sílica dissolvida

Série	Amostra	Leitura (ppm ou mg/L)			Sílica Dissolvida (mmol/L)	Sd* (mmol/L)
		A (antes)	D (depois)	A - D		
I	BRANCO	0,0	10,7	10,7	7,1	-
	B1	0,0	13,9	13,9	9,3	9,3
	B2	0,0	17,9	17,9	11,9	11,9
	LS1	1,3	9,5	8,2	5,5	5,5
	LS2	1,5	13,9	12,4	8,3	8,3
	LJ3	0,0	14,1	14,1	9,4	9,4
II	BRANCO	0,0	8,9	8,9	5,9	-
	A1	0,0	26,1	26,1	17,4	17,4
	A2	0,0	27,6	27,6	18,4	18,4
	A3	0,0	23,3	23,3	15,5	15,5
	LJ1	0,0	12,6	12,6	8,4	8,4
	LJ2	0,0	16,9	16,9	11,3	11,3
III	BRANCO	0,0	7,4	7,4	4,9	-
	B3	0,0	15,6	15,6	10,4	10,4
	LS3	1,6	12,2	10,6	7,1	7,1
	LS4	2,1	11,1	9,0	6,0	6,0
	LJ4	0,0	14,8	14,8	9,9	9,9

*Sd = Sílica Dissolvida - BRANCO

Ai - amostra de areia

Bi - amostra de Brita

LSi - amostra de Laterita Sapé

LJi - amostra de Laterita Jacumã

Tabela de dados: Análise da redução da alcalinidade

Série	Amostra	Volumes gastos (cm ³)			Redução da Alcalinidade (mmol/L)	Rd** (mmol/L)
		V _i	V _t	V = 2V _i - V _t		
I	BRANCO	14,8	18,5	11,1	1110	-
	B1	11,6	17,7	5,5	550	560
	B2	12,2	16,8	7,6	760	350
	LS1	8,1	13,0	3,2	320	790
	LS2	7,9	13,0	2,8	280	830
	LJ3	9,3	13,7	4,9	490	620
II	BRANCO	17,4	19,2	15,6	1560	-
	A1	16,1	18,1	14,1	1410	150
	A2	14,2	16,9	11,5	1150	410
	A3	15,2	18,1	12,3	1230	330
	LJ1	10,7	13,4	8,0	800	760
	LJ2	12,5	14,9	10,1	1010	550
III	BRANCO	16,9	19,8	14,0	1400	-
	B3	14,4	18,6	10,2	1020	380
	LS3	8,4	13,0	3,8	380	1020
	LS4	11,0	16,5	5,5	550	850
	LJ4	9,2	11,5	6,9	690	710

**Rd = Redução da Alcalinidade – BRANCO

Ai - amostra de areia

Bi - amostra de Brita

LSi - amostra de Laterita Sapé

LJi - amostra de Laterita Jacumã

ANEXOS

ANEXO A

Análise Petrográfica

Constam descrição resumida das lâminas da análise petrográfica para o agregado miúdo e os agregados graúdos.

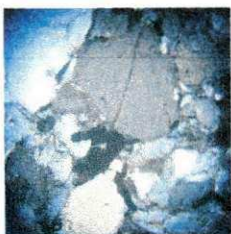
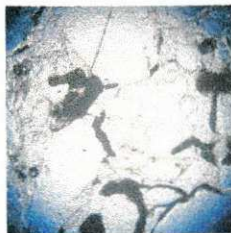

Amostra: AREIA


Tipo de rocha: Sedimentar inconsolidada

Estrutura: Isotrópica com gradação de tamanho de grãos, porem sem apresentar nem acamamento nem laminação sedimentar.

Granulação: Areia grossa

Mineralogia: Quartzo, microclina e plagioclásio como minerais essenciais e anfibólio, silimanita, titanita, clorita e oxido de ferro como minerais secundários. O quartzo é o mineral mais abundante com até 0,27 mm e com bastante extinção ondulante; O feldspato K ocorre muito pouco, mas é o maior grão da lamina com 6 mm e frequentemente mostra textura mirmequitica. O plagioclásio é geminado tipo polissintético com comprimento de até 0,8 mm e com terminações retangulares, indicando pouco transporte mecânico. O anfibólio é euédrico pequeno (0,2 mm de largura basal). O oxido de ferro ocorre entre os demais grãos. A Presença de plagioclásio retangular, de quartzo fortemente anguloso e de anfibólio não atacado quimicamente, sugere uma fonte de material próxima ou uma deposição rápida.

Imagem	Código	Descrição
	DSC00186	Óxido de ferro (preto) entre grãos de plagioclásio e quartzo
	DSC00187	Idem nicois paralelos
	DSC00189	Detalhe do grão de silimanita (colorido pequeno) no centro da foto.

	DSC00190	Idem nicois paralelos
	DSC00194	Grãos de microclina com geminação carlsbad e com forma alongada
	DSC00195	Idem nicois paralelos
	DSC00196	Maior cristal da lâmina. É microclina com geminação carlsbad. Mostra deformação intensa e está intemperizado.
	DSC00197	Idem nicois paralelos

Amostra: BRITA

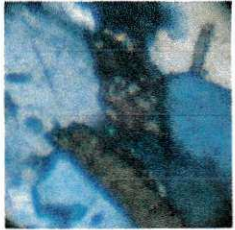


Tipo de rocha: Ígnea Granito



Estrutura: Isotrópico e sem orientação mineral

Granulação: Média a grossa

Mineralogia: Principalmente feldspato K (até 7 mm) , plagioclásio (6 mm) e quartzo (6 mm). Como acessórios tem ainda biotita em ripas (12 mm), titanita lozangulares (2 mm) e clorita (3 mm).

Obs.: O feldspato K mostra textura mirmequita (vermicular) e muitas fraturas, as quais esta parcialmente preenchida por biotita.

Imagem	Código	Descrição
	DSC00171	Biotita e titanita.
	DSC00180	Detalhe plagioclásio ripiforme e biotita marron. Também se vê mirmequita (textura vermicular)
	DSC00181	Idem com nicóis paralelos.O marron mais claro na porção inferior é titanita.

	DSC00182	Os grãos azuis identificam grãos com textura mirmequita em contato com microclina.
	DSC00185	Idem nicois paralelos

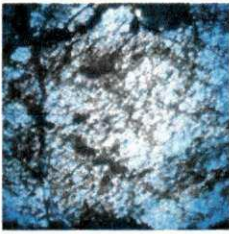
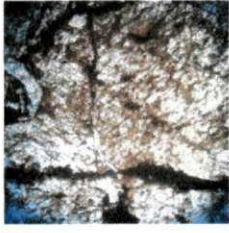
Amostra: LATERITA SAPÊ

Tipo de rocha: Sedimentar

Estrutura: Isotrópica sem estrutura orientada

Granulação: Média

Mineralogia: Quartzo e óxido de ferro. Identificaram-se grãos de quartzo de até 6 mm, muito fraturados em duas direções subperpendiculares, contendo óxido de ferro. Algumas pores da lâmina são mais alaranjadas (mais limoníticas) e outras são mais avermelhadas (mais hematíticas).

Imagem	Código	Descrição
	DSC00205	Grande grão de quartzo fraturado e com óxido de ferro laranja nas fraturas (limonita)
	DSC00206	Idem nicol paralelo.