

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL,
ARQUITETURA E URBANISMO

Propriedades de Argamassas de Assentamento Produzidas com
Areia Artificial para Alvenaria Estrutural

Paulo Hidemitsu Ishikawa

Campinas

2003



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL,
ARQUITETURA E URBANISMO

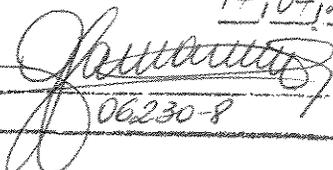
Propriedades de Argamassas de Assentamento Produzidas com
Areia Artificial para Alvenaria Estrutural

Paulo Hidemitsu Ishikawa

Orientadora: Prof^a Dr^a Gladis Camarini

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

Campinas, SP
2003

Atesto que esta é a versão definitiva da dissertação/tese	
	14, 04, 2004
Prof. Dr.	
Matrícula.	06230-8

UNIDADE	BC
Nº CHAMADA	UNICAMP
	Is 3p
V	EX
TOMBO BC	58624
PROC.	16-117-04
C	<input type="checkbox"/>
D	<input checked="" type="checkbox"/>
PREÇO	11,00
DATA	24-06-09
Nº CPD	

CM00198192-5

BIB ID 317193

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

Is3p

Ishikawa, Paulo Hidemitsu

Propriedades de argamassas de assentamento produzidas com areia artificial para alvenaria estrutural / Paulo Hidemitsu Ishikawa. --Campinas, SP: [s.n.], 2003.

Orientador: Gladis Camarini.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil.

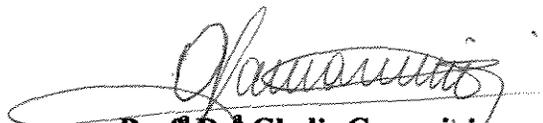
1. Areia. 2. Argamassas. 3. Elasticidade. 4. Alvenaria. 5. Propriedades mecânicas. I. Camarini, Gladis. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Civil. III. Título.

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL,
ARQUITETURA E URBANISMO

Propriedades das Argamassas de Assentamento de Alvenaria
Estrutural Produzidas com Areia Artificial

Paulo Hidemitsu Ishikawa

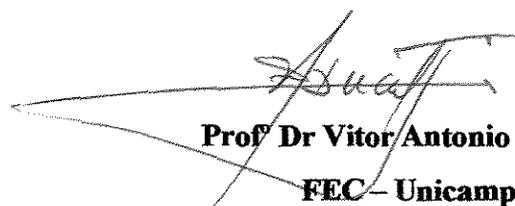
Dissertação de Mestrado aprovada pela Banca Examinadora, constituída por:



Profª Drª Gladis Camarini
Presidente e Orientadora / FEC – Unicamp



Profª Drª Silvia Maria de Souza Selmo
Departamento de Engenharia de Construção Civil
Escola Politécnica – PCC - Universidade de São Paulo



Profª Dr Vitor Antonio Ducatti
FEC – Unicamp

Campinas, 19 de dezembro de 2003

AGRADECIMENTOS

À Professora Dra Gladis Camarini, minha orientadora, e a principal incentivadora na condução deste trabalho e que plantou a semente da iniciação da pesquisa científica, pela sua competência e dedicação e, assim, aprimorando a minha educação, o meu profundo agradecimento.

Ao Professor Dr Vladimir Antonio Paulon, pela oportunidade de ingressar no curso de mestrado e pela confiança em mim depositada.

À Faculdade de Engenharia Civil da Unicamp, pela aceitação como aluno no curso de mestrado e pela sua estrutura que permitiu o desenvolvimento deste trabalho, aos funcionários pela atenção e aos professores do curso de mestrado pela dedicação e formação recebida.

À EPT – Engenharia e Pesquisas Tecnológicas S/A que permitiu a utilização de suas instalações e equipamentos para o desenvolvimento da pesquisa e aos funcionários do laboratório pelo auxílio na manipulação dos equipamentos.

À Faculdade de Tecnologia de São Paulo, pelo incentivo à participação no curso de mestrado da Faculdade de Engenharia Civil da Unicamp.

À bibliotecária Vera Duarte pela ajuda ao acesso aos artigos e publicações científicas.

Às pedreiras que forneceram as amostras de agregados miúdos.

À minha família pelo apoio recebido, em especial a minha esposa que incentivou a continuar os estudos, e aos meus filhos Fabiana e Ricardo pelo apoio moral e incentivo. Aos meus pais (in memoriam) pelo legado de vida.

A DEUS pela graça da vida.

SUMÁRIO

SIGLAS	x
LISTA DE FIGURAS	xii
LISTA DE TABELAS	xvi
RESUMO	xx
ABSTRACT	xxi
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 Objetivo	2
1.2 Justificativa	5
1.3 Estrutura do trabalho	8
2 AGLOMERANTES MINERAIS	10
2.1 Cimento Portland	10
2.1.1 Fabricação	10
2.1.2 Adições introduzidas na moagem do clínquer Portland.....	11

2.1.3 Hidratação do cimento Portland	12
2.1.4 Influência dos tipos de cimento na resistência das argamassas.....	13
2.1.5 Função do cimento na argamassa.....	14
2.2 Cal hidratada	16
2.2.1 Matéria-prima.....	16
2.2.2 Hidratação da cal virgem.....	17
2.2.3 Endurecimento da cal hidratada	18
2.2.4 Requisitos essenciais da cal hidratada.....	18
2.2.5 Reologia da pasta de cal hidratada	19
2.2.6 Maturação da cal hidratada.....	20
2.2.7 A função da cal na argamassa	20
2.2.8 Defeitos que podem ocorrer na utilização da cal hidratada.....	22
3 AGREGADOS PARA ARGAMASSAS	23
3.1 Areia natural.....	24
3.1.1 Forma das partículas do agregado	24
3.1.2 Textura das partículas de agregado	26
3.1.3 Massa unitária	27
3.1.4 Teor de umidade do agregado	28
3.1.5 Inchamento do agregado miúdo	29
3.1.6 Materiais pulverulentos	30
3.1.7 Composição granulométrica.....	31
3.1.8 Influência da granulometria do agregado na argamassa	34
3.1.9 O efeito dos finos nas propriedades das argamassas.....	37
3.2 Areia artificial	37
3.2.1 Forma e textura dos grãos	39
3.2.2 Teor de materiais pulverulentos	42
3.2.3 Granulometria.....	43
3.2.4 Produção de agregado para construção civil	45

4 ARGAMASSA DE ASSENTAMENTO DE ALVENARIA ESTRUTURAL	48
4.1 Alvenaria estrutural de blocos vazados de concreto	49
4.2 Função da argamassa no assentamento de alvenaria.....	50
4.3 Retração hidráulica	51
4.3.1 Quanto ao estado físico da argamassa	52
4.3.2 Quanto à natureza do fenômeno.....	52
4.3.3 Quanto ao grau de restrição.....	54
4.3.4 Quanto à permanência da retração	55
4.4 Aderência da argamassa	58
4.5 Proporção entre cimento e cal.....	62
4.6 Características físicas e mecânicas das argamassas	62
4.6.1 Argamassa no estado fresco	62
4.6.2 Argamassa no estado endurecido	66
4.7 Dosagem de argamassa	69
4.7.1 Dosagem de argamassa para alvenaria estrutural.....	72
5 PROGRAMA EXPERIMENTAL	78
5.1 Materiais constituintes.....	78
5.1.1 Agregado miúdo	79
5.1.2 Cimento Portland.....	80
5.1.3 Cal hidratada	80
5.2 Mistura experimental.....	81
5.3 Propriedades das argamassas.....	82
5.3.1 Propriedades no estado fresco	82
5.3.2 Argamassa endurecida.....	83
5.4 Prismas Ocos de Blocos Vazados de Concreto para Alvenaria Estrutural.....	90

6 RESULTADOS OBTIDOS E ANÁLISE	92
6.1 Caracterização dos materiais	92
6.1.1 Agregados miúdos	92
6.1.2 Cimento Portland.....	96
6.1.3 Cal hidratada	96
6.2 Resultados das propriedades das argamassas	97
6.2.1 Argamassa no estado fresco	97
6.2.2 Argamassa no estado endurecido	102
6.3 Prismas ocos de blocos vazados de concreto para alvenaria estrutural.....	115
6.4 Custo das argamassas.....	116
7 CONCLUSÕES.....	119
8 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	123
APÊNDICES.....	125
APÊNDICE A	126
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	143

SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ANEPAC – Associação Nacional das Entidades de Produtores de Agregados para Construção Civil

CH –I – Cal hidratada tipo I

CH –I – Cal hidratada tipo II

CH –I – Cal hidratada tipo III

CP-II-E-32 - Cimento Portland tipo II, classe 32

DNPM – Departamento Nacional de Produção Mineral

IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas S/A

ISO – International Organization for Standardization

NBR – Norma Brasileira Registrada no INMETRO (Instituto Nacional de Metrologia)

RILEM – Reunion Internationale des Laboratoires et Experts des Matériaux

RMSP – Região Metropolitana de São Paulo

CaCO_3 , MgO_3 – Carbonato de cálcio e magnésio

Al_2O_3 – Óxido de alumínio

Fe_2O_3 – Óxido de ferro

CaCO_3 .- Carbonato de cálcio (Calcário)

CO_2 .- Dióxido de carbono (Gás carbônico)

CaO .- Óxido de cálcio

C_3S .- Silicato tricálcico

C_2S .- Silicato bicálcico

C_3A .- Aluminato tricálcico

C_4AF – Ferro aluminato tetra cálcico

C-S-H. – Silicatos de cálcio hidratados

MgO – Óxido de magnésio

Ca(OH)₂.- Hidróxido de cálcio

CaO.MgO – Óxido de cálcio e magnésio

Ca(OH)₂.Mg(OH)₂.- Hidróxidos de cálcio e magnésio

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 Localização das pedreiras onde foram coletadas as amostras de AMPB	4
Figura 2.1 Comportamento da resistência à compressão simples de argamassas, com diferentes tipos de cimento	14
Figura 2.2 Influência dos diversos tipos de cimento na resistência de aderência da argamassa	15
Figura 3.1 Avaliação visual dos graus de esfericidade e arredondamentos, conforme NBR 7389	25
Figura 3.2 Padrão de imagens de arredondamentos	26
Figura 3.3 Gráfico típico de variação da massa unitária com a umidade de um agregado miúdo	27
Figura 3.4 Gráfico típico de variação do coeficiente de inchamento com a umidade superficial de um agregado miúdo	29
Figura 3.5 Limites granulométricos da especificação NBR 7211	32

Figura 3.6 Ilustração da forma de distribuição granulométrica e comparação das respectivas variações de volumes de vazios	33
Figura 3.7 Montanha de areia artificial	38
Figura 3.8 Areia artificial antes do beneficiamento (a) e após submetido a um beneficiamento (b)	40
Figura 3.9 Esquema da coleta de areia artificial para beneficiamento	41
Figura 3.10 Granulometria comparativa entre areia artificial sem e após beneficiamento.....	44
Figura 3.11 e 3.12 Materiais passantes na peneira ABNT de 2,4 mm e retidos na peneira ABNT de 1,2 mm e materiais passantes nas. peneiras ABNT de 1,2 mm e retidos na peneira ABNT 0,600 mm	44
Figura 3.13 a 3.15 Materiais passantes na peneira ABNT de 0,600 mm e retidos na peneira ABNT de 0,300 mm ; materiais passantes nas. peneiras ABNT de 0,300 mm e retidos na peneira ABNT 0,150 mm e material passante na. peneira ABNT 0,150.....	45
Figura 3.16 Gráfico de evolução da produção de agregados para construção civil	47
Figura 4.1 Retração impedida da argamassa de traço 1:1:6	55
Figura 4.2 Gráfico de evolução da retração da argamassa de traço 1:1:6, em volume, aplicada sobre uma base não absorvente	57
Figura 4.3 Gráfico de evolução da retração da argamassa de traço 1:1:6, em volume, com aumento do teor de cal, aplicada sobre uma base não absorvente.....	58

Figura 4.4 Retração da argamassa de traço 1:1:6, (cimento: cal: areia, em volume), aplicada sobre uma base não absorvente	59
Figura 5.1 Equipamento de medida de retração por secagem.....	85
Figura 5.2 Medida de retração por secagem de um prisma.....	85
Figura 5.3 Aparelho de permeabilidade ao ar	86
Figura 5.4 Dispositivo metálico com anel de borracha interno, onde está acomodado o corpo de prova de argamassa	87
Figura 5.5 Prisma de bloco de concreto para alvenaria estrutural.....	90
Figura 5.6 Ensaio de resistência à compressão simples em prisma de bloco de concreto para alvenaria estrutural	91
Figura 6.1 Granulometria das areias artificiais	93
Figura 6.2 Variações das consistências das argamassas, dentro do limite de 240 ±10 mm. estabelecido no Programa de Ensaio.....	99
Figura 6.3 Gráfico dos valores de retenção de água das argamassas produzidas	100
Figura 6.4 Resultado do teor de ar aprisionado das argamassas produzidas com as areias artificiais e naturais.....	101
Figura 6.5 Resultados das massas específicas das argamassas produzidas com as areias artificiais e naturais.....	102
Figura 6.6 Evolução da resistência à compressão simples das argamassas produzidas com as areias artificiais e naturais	104

Figura 6.7 Resultados de resistência à compressão simples das argamassas na idade de 28 dias em função das respectivas relações	105
Figura 6.8 Gráficos dos valores dos módulos de elasticidade em função das respectivas relações a/c	107
Figura 6.9 Evolução da absorção por capilaridade, em horas, após 28 dias	109
Figura 6.10 Gráficos de evolução da retração com a idade	113

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 – Material pulverulento presente nos agregados.....	30
Tabela 3.2 – Evolução da produção de agregados para construção civil, entre os anos de 1991 a 2001	46
Tabela 4.1 – Valor de x_n conforme número de ensaios.....	73
Tabela 4.2 – Critérios para definição da tensão de dosagem.....	73
Tabela 4.3 – Dosagem não experimental da NBR 8798, (ABNT, 1985).....	74
Tabela 4.4 – Exigências mínimas para argamassa de assentamento de alvenaria estrutural.....	75
Tabela 4.5 – Traços de argamassa para alvenaria estrutural e não estrutural.....	75
Tabela 4.6 – Propriedades específicas para argamassa preparadas em laboratório – ASTM C 270 - 82.....	76
Tabela 5.1 – Localização das pedreiras de granito.....	79
Tabela 6.1 – Agregados miúdos – Características físicas - Resumo.....	95
Tabela 6.2 – Cimento Portland CP-II-E-32 – Características físicas	96

Tabela 6.3 – Cal hidratada – CH III – Características físicas	97
Tabela 6.4 – Resultados obtidos na argamassa fresca – Características físicas.....	98
Tabela 6.5 – Resultados obtidos com a argamassa no estado endurecido – Resistências médias mecânicas médias e respectivas relações a/c e consumo de cimento.....	103
Tabela 6.6 – Argamassa no estado endurecido– Módulo de elasticidade	106
Tabela 6.7 – Absorção por capilaridade e massa específica aparente	110
Tabela 6.8 – Resultados dos ensaios de retração por secagem – corpos de prova prismáticos...	112
Tabela 6.9 - Determinação do coeficiente de permeabilidade k na idade de 28 dias.....	114
Tabela 6.10 – Resultados do ensaio de resistência à compressão simples de prismas ocos assentados com as argamassas estudadas	116
Tabela 6.11 – Custo da argamassa com areia artificial e areia de rio	118
Tabela A.1 - Granulometria e características físicas da amostra no 1Amostra original- Areia artificial de granito.....	127
Tabela A.2 – Granulometria e características físicas da amostra n ^o 1Amostra estudada- Areia artificial de granito.....	128
Tabela A.3 – Granulometria e características físicas da amostra n ^o 2-Amostra original e estudada -Areia artificial de granito.....	129
Tabela A.4 – Granulometria e características físicas da amostra n ^o 3-Amostra original- Areia artificial de granito.....	130

Tabela A.5 – Granulometria e características físicas da amostra n ^o 3-Amostra estudada- Areia artificial de granito.....	131
Tabela A.6 – Granulometria e características físicas da amostra n ^o 4-Amostra original- Areia artificial de granito.....	132
Tabela A.7 – Granulometria e características físicas da amostra n ^o 4-Amostra estudada- Areia artificial de granito	133
Tabela A.8 – Granulometria e características físicas da amostra no 5-Amostra original- Areia artificial de granito.....	134
Tabela A.9 – Granulometria e características físicas da amostra n ^o 5-Amostra estudada- Areia artificial de granito.....	135
Tabela A.10 – Granulometria e características físicas da amostra n ^o 6-Amostra original- Areia artificial de granito.....	136
Tabela A.11 – Granulometria e características físicas da amostra n ^o 6-Amostra estudada- Areia artificial de granito.....	137
Tabela A.12 – Granulometria e características físicas da amostra n ^o 7-Amostra original e estudada- Areia artificial de granito.....	138
Tabela A.13 – Granulometria e características físicas da amostra n ^o 8-Amostra original e estudada-Areia de rio.....	139
Tabela A.14 – Granulometria e características físicas da amostra n ^o 9-Amostra original e estudada-Areia de rio.....	140

Tabela A.15 – Granulometria e características físicas da amostra nº 10-Amostra original e estudada-Areia normal brasileira.....	141
Tabela A.16 – Granulometria e características físicas da amostra nº 11-Amostra original e estudada-Areia de quartzo ou areia rosa.....	142

RESUMO

Ishikawa, Paulo Hidemitsu. **Propriedades de argamassa de assentamento produzidas com areia artificial para alvenaria estrutural**. Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, 2003. 158 p. Dissertação de mestrado.

A areia artificial é um material de rejeito encontrado nas pedreiras oriunda da britagem de rocha para produção de agregado graúdo para concreto. Este trabalho teve por objetivo avaliar o comportamento da areia artificial, de origem granítica, na argamassa para assentamento de bloco de concreto simples para alvenaria estrutural. Foram preparadas 11 argamassas, sendo 7 com areia artificial de granito, 2 com areia de rio, 1 com areia normal brasileira e 1 com areia de quartzo e avaliadas as propriedades físicas das argamassas, no estado fresco e endurecido. No estado fresco foram avaliadas as propriedades de consistência, retenção de água, teor de ar aprisionado e massa específica e no estado endurecido, a resistência à compressão simples, módulo de elasticidade, absorção por capilaridade, massa específica aparente, retração por secagem e permeabilidade ao ar. Com as argamassas estudadas foram moldados prismas de bloco de concreto para alvenaria estrutural para ensaio de resistência à compressão. Os resultados obtidos com as argamassas com areia artificial de granito apresentaram, praticamente o mesmo desempenho que as demais argamassas, indicando que a areia artificial de granito pode substituir a areia de rio.

Palavras - chave: areia artificial, argamassa de assentamento, consistência, retenção de água, teor de ar aprisionado, resistência à compressão, módulo de elasticidade, alvenaria estrutural.

ABSTRACT

Ishikawa, Paulo Hidemitsu. **Properties of lay mortar produced with artificial sand for structural masonry**. Campinas, Faculty of Civil Engineering, Architecture and Urban, State University of Campinas, 2003. 158 pp. Master dissertation.

The artificial sand is a reject material found in the quarries that comes from crushed stone for the production of coarse aggregate for concrete. This work had the purpose of estimating the behavior of the artificial sand, from granitic origin, in the mortar for the lay of blocks of simple concrete for structural masonry. Eleven mortars were prepared, seven of them with an artificial sand of granite, two with a river sand, one with standard sand (Brazilian sand) and one with a quartz sand. Their physical properties were also estimated in the fresh and hardened state. In the fresh state, properties of consistence, retention of water, percentage of air content and specific mass were estimated and in the hardened state, the compressive strength, static modulus of elasticity, capillary absorption, bulk density, shrinkage by drying and air permeability were also estimated. Prisms of concrete block for structural masonry were made with the mortars studied to observe their compressive strength. The results obtained with the mortars with artificial sand of granite showed practically the same performance as other mortars, indicating that the artificial sand of granite can substitute the river sand.

Keywords: artificial sand, mortar for the lay, consistence, retention of water, percentage of air content, compressive strength, static modulus of elasticity, structural masonry

1 INTRODUÇÃO

Os finos gerados na britagem de rocha, denominados de areia artificial de rocha, são materiais ainda pouco utilizados na produção de argamassas. Talvez, a sua pouca utilização deve-se a maior oferta de areia de rio disponível em todas as lojas de materiais de construção. A areia artificial foi recentemente incluída como agregado miúdo para concreto na revisão em andamento da NBR 7211 (ABNT, 2003c). Os setores da construção civil que consomem a areia artificial são as fábricas de pré-moldados de blocos de concreto para alvenaria e na pavimentação de ruas e rodovias, como camada de sub - base e na produção de concreto asfáltico.

O material residual gerado na produção de agregado graúdo por britagem de rocha é geralmente denominado no mercado de pó de pedra. Esta terminologia não é adequada a este material, pois a sua composição granulométrica apresenta dimensão de grãos retidos em todas as peneiras da série normal, a partir de 4,8 mm e até, a grãos com dimensão inferior a 150 μm . Desta forma, este material é classificado como agregado miúdo, originado pela cominuição de rocha, ou agregado miúdo de pedra britada. Em tecnologia de concreto é denominado como areia de brita ou areia artificial de rocha. A NBR 7225 (ABNT, 1987e) define pó-de-pedra como “material proveniente do britamento de pedra, de dimensão nominal máxima inferior a 0,075 mm”. O agregado miúdo originado de britagem de rocha é definido pela NBR-9935 (ABNT, 1987g) como areia artificial. Portanto, neste trabalho o agregado miúdo originado de britagem de rocha será denominado apenas de areia artificial, muito embora seja recomendável explicitar o material que lhe deu origem, no caso, areia artificial de rocha, quando se tratar de citações em outros documentos.

A areia artificial, como os demais produtos da britagem de rocha, é estocada em montes ao ar livre, exposto às intempéries, gerando uma série de impactos ao ambiente, como poluição atmosférica. Quando não armazenado, apropriadamente, a água da chuva carrega o material provocando assoreamento de leitos de cursos d'água e drenagem. Com o aumento do consumo da areia artificial pode-se diminuir a poluição ambiental com a diminuição do estoque.

Como as jazidas de areias de rio estão ficando cada vez mais distantes da RMSP, que é o grande centro consumidor deste material, o transporte tende a ficar cada vez mais oneroso para o distribuidor e, em consequência, para o consumidor final.

Ao redor e dentro da grande São Paulo existem várias pedreiras que produzem a areia artificial. Este material é produzido indiretamente, ou seja, é separado como resíduo da britagem da rocha na produção de pedra britada. Atualmente já existe uma pedreira na cidade de Mogi das Cruzes aperfeiçoando o processo de obtenção da areia artificial por meio do beneficiamento da areia artificial original.

Neste sentido, para avaliar o uso deste material, este trabalho apresenta o desempenho da agregado miúdo de areia artificial de granito, na produção de argamassa, especificamente para assentamento de blocos vazados de concreto para alvenaria estrutural. Com a realização de ensaios, procurou-se observar a utilização da areia artificial, sem descarte de finos abaixo de 75 μm , como material alternativo à areia de rio ou de cava.

1.1 Objetivo

Este trabalho teve como objetivo avaliar as propriedades, no estado fresco e endurecido, de argamassas produzidas com areia artificial para assentamento de blocos de concreto para alvenaria estrutural. Essas propriedades foram comparadas com as argamassas produzidas com agregado miúdo de rio.

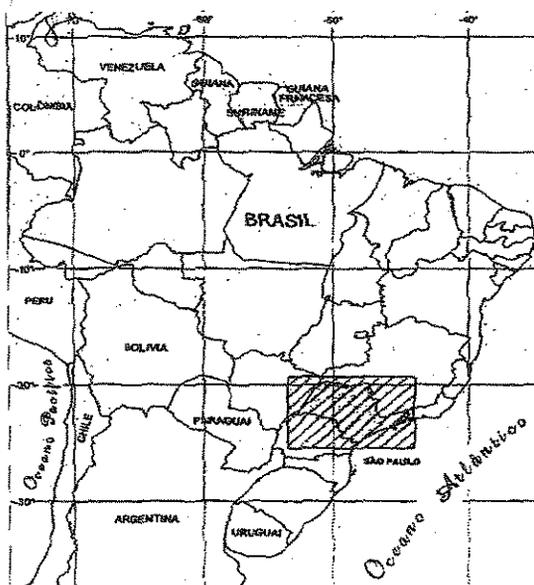
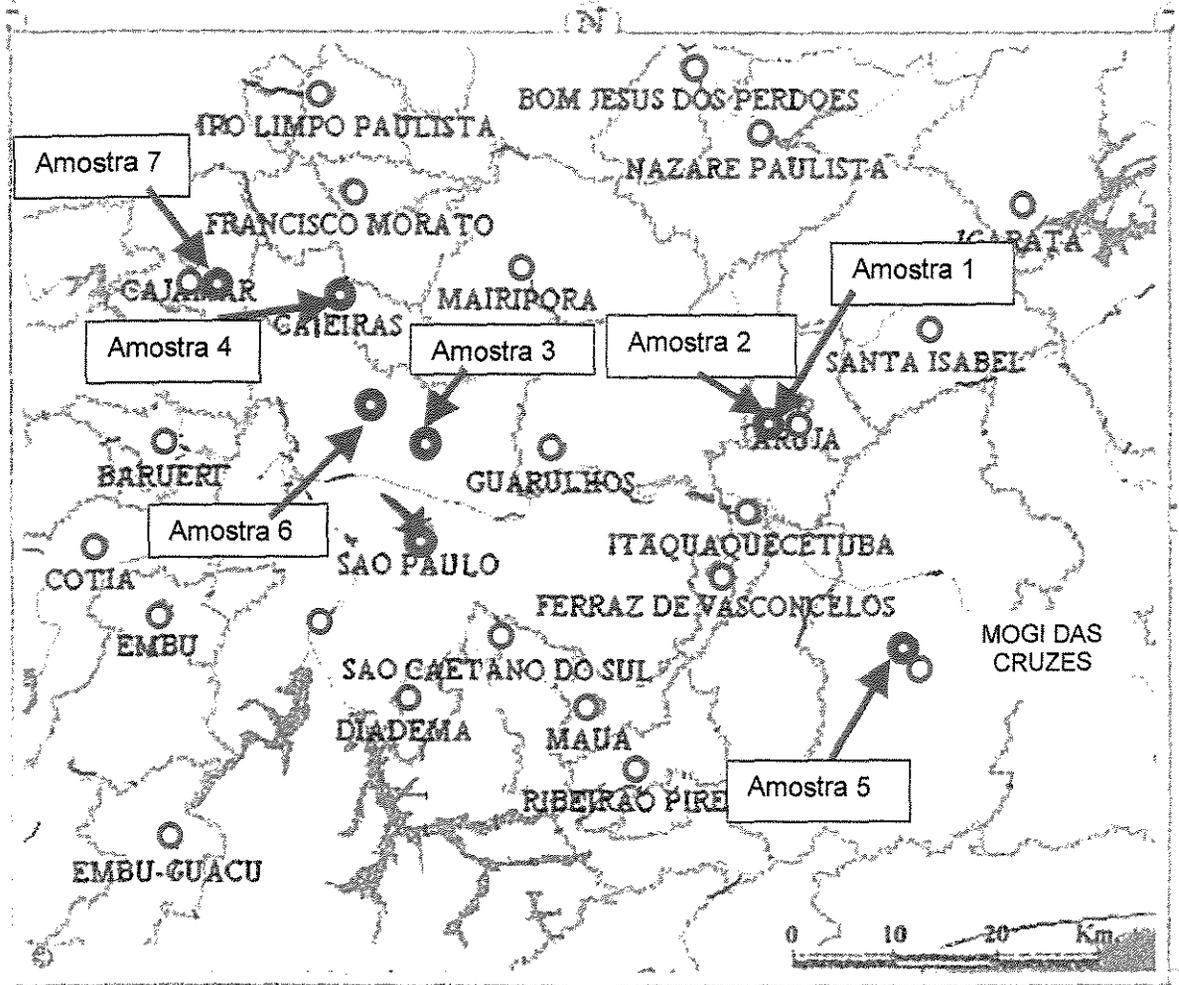
Na construção civil, a areia artificial de rocha é mais utilizada em obras de pavimentação de rodovias misturada com agregado graúdo e argila, e conhecida como brita graduada, e também como agregado miúdo para concreto asfáltico. Tem se observado que algumas usinas de concreto usam a areia artificial misturada com areia de rio para compor o agregado miúdo na mistura do concreto. A areia artificial é consumida também pelas fábricas de pré-moldados, na produção de blocos de concreto simples para alvenaria, e tubos de concreto para águas pluviais e esgoto.

Nas obras de edificações a areia artificial é pouco utilizada. É conhecida também como “pó de pedra”, e talvez devido a este termo o material não é tão utilizado na construção civil. O termo pó-de-pedra pode ser associado a materiais pulverulentos ou filer, isto é, material com tamanho dos grãos menores que 0,075 mm, conforme a NBR-7225 (ABNT, 1987e).

No sentido de ampliar essa utilização das areias artificiais, o trabalho desenvolvido apresenta as propriedades das argamassas de assentamento de alvenaria estrutural produzidas com areia artificial comparando-as com as argamassas produzidas com areia de rio, areia quartzosa de cava, e areia normal do IPT. Para tanto, foram realizados ensaios em argamassas no estado fresco: determinação da consistência, retenção de água e massa específica. No estado endurecido, foram realizados ensaios de determinação da resistência à compressão simples, módulo de elasticidade, absorção por capilaridade, massa específica e retração utilizando-se as metodologias de ensaios da ABNT já existentes para argamassas. Realizaram-se, também, ensaios de permeabilidade ao ar, empregando um permeâmetro de carga variável.

As amostras coletadas foram de pedreiras localizadas na cidade de São Paulo. As pedreiras estão localizadas na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP). A localização das pedreiras, de onde foram coletadas as amostras, pode ser observada na Figura 1.1.

SP - SAO PAULO/SAO PAULO



LEGENDA:

- Municípios do Estado de São Paulo
- Capital do Estado de São Paulo
- Localização aproximada das pedreiras

Figura 1.1 – Localização das pedreiras onde foram coletadas as amostras de areia artificial.

1.2 Justificativa

Nas pedreiras, observa-se o monte de areia artificial separado dos outros montes de diversos tamanhos de agregado graúdo. A areia artificial é um material que se acumula como resíduo oriundo da cominuição da rocha durante as várias etapas de britagem. Numa observação tato-visual constata-se que esse material compõe-se de vários tamanhos de partículas como os grãos de areia. A diferença visível que se observa é em relação à forma do grão, por apresentar-se mais anguloso e existir uma fração maior de pó (fíler). Esta constatação motivou esta pesquisa, utilizando-se este material para produção de argamassa, particularmente na produção de argamassa para assentamento de blocos de concreto vazado para alvenaria estrutural. A pedra britada é um dos agregados que compõem a mistura de concreto. Assim, a produção de pedra britada é fundamental para a construção civil, visto que o concreto é um dos materiais mais consumidos no mundo, depois da água (MEHTA e MONTEIRO 1994). Portanto, na produção da pedra sempre há formação do resíduo fino, mantidas as técnicas atuais de produção.

O levantamento bibliográfico revela a existência de vários trabalhos com a utilização dos resíduos finos de pedra britada ou areia artificial, como foi denominado este material neste trabalho. Os trabalhos apresentados indicam o bom desempenho da aplicação da areia artificial em argamassas e concreto (SBRIGHI NETO, 1986); (KREMPEL; CREVILARO e PAULON, 1992); (BONAVETTI e CABRERA, 1930); (ISA e HELENE, 1999); (CELIK e MARAR, 1996); (BAUER; TAKASHIMA e CURTI, 1998); (SALLES et al., 1998); (PAES et al. 1999); (CABRERA e DONZA, 1999); (NEVES, 2001).

A atividade extrativa de agregados é de fundamental importância para a indústria da construção civil. Mas, devido à localização das jazidas próximas a centros urbanos, existe uma fiscalização intensa por parte de prefeituras e órgãos de controle ambiental por ser uma atividade poluidora e de devastação ambiental. Além disso, as regiões próximas às jazidas ficam expostas ao ruído, emissões de partículas, estremecimentos, avaria das vias carroçáveis pelos veículos pesados com carga máxima de agregados, poluição visual e outras. Em 1986, as jazidas de areia estavam a 80 km do centro da cidade de São Paulo. Para atender a demanda as areias tinham que ser transportadas de regiões mais distantes, com conseqüente encarecimento do produto. Nesta época foi cogitado o uso do pó de pedra, considerado como material “menos nobre”, em

substituição às areias, com vantagem econômica e com qualidade (BUCHER, 1986). Atualmente, a RMSP consome areia natural que vem de regiões a mais de 120 km. Na RMSP as jazidas de areia natural foram esterilizadas por loteamentos residenciais e industriais legais e clandestinos (VALVERDE, 2001).

A quantidade de finos gerados na produção de brita é considerável. Na década de 1990, as pedreiras da RMSP geravam 1,2 milhões de t / ano (FUJIMURA et al., 1996). Para o ano 2000, a previsão era uma geração de finos de brita na RMSP da ordem de 2,0 milhões de m³/ano (NEVES, 2001). Em 2003 a projeção de geração de areia artificial é de 6,0 milhões m³/ano e para 2004 é de 6,7 milhões de m³/ano nas pedreiras da RMSP (VALVERDE, 2003).

Um outro dado importante é que cerca de 85% das areias consumidas na RMSP são importadas de regiões com mais de 120 km de distância, onde estão localizadas as grandes bacias areeiras como o Vale do Paraíba, Sorocaba e Vale do Ribeira (SOARES et al., 1997). Assim, a utilização da areia artificial em substituição total ou parcial às areias de rio na produção de argamassas é viável em termos tecnológicos e econômicos, pois existem várias pedreiras em operação na RMSP. O valor do transporte corresponde a, aproximadamente, 2/3 do preço final do produto. A areia artificial tornou-se competitiva devido às pedreiras estarem próximas da RMSP, (aproximadamente 35 km), com participação de 9% do mercado (VALVERDE, 2001).

Em 2000, o número de empresas que produziam pedra britada era da ordem de 250. Em termos econômicos, estas pedreiras, geravam 15.000 empregos diretos; 60% produziam menos de 200.000 toneladas/ano, 30% entre 200.000 toneladas/ano e 500.000 toneladas/ano e 10% mais de 500.000 toneladas/ano. Em relação às empresas que exploram a extração de areia, são, aproximadamente, 2000 empresas, as quais geravam, 45.000 empregos diretos. Destas, 60% produzem menos de 100.000 toneladas/ano, 35% entre 100.000 e 300.000 toneladas/ano, e 5% mais de 300.000 toneladas/ano. No Brasil, os tipos de rochas exploradas na produção de pedra britada estão assim distribuídos: granito e gnaisse respondem com 85%, calcário e dolomita com 10%, e basalto e diabásio com 5%. Da produção nacional, o Estado de São Paulo participa com 30%, Minas Gerais com 12%, Rio de Janeiro com 9%, Paraná com 7%, Rio Grande do Sul com 6% e Santa Catarina com 4%.

Leitos de rios, várzeas, depósitos lacustres, mantos de decomposição de rochas, pegmatitos e arenitos decompostos são as fontes para extração de areia. A areia extraída de leitos de rios responde por 90%, no Brasil. No Estado de São Paulo a participação das fontes de produção é diferente, sendo 45% extraídas de várzeas, 35% de leitos de rio e 20% de outras fontes. Em 2001, a produção de areia natural e pedra britada, no Brasil, foi de $236,1 \times 10^6 \text{ m}^3$ e $141,1 \times 10^6 \text{ m}^3$, respectivamente (VALVERDE, 2001).

Em geral, o volume ocupado pelo agregado é de 60% a 80% do volume total da mistura de argamassa. Portanto, a participação do agregado na mistura é significativa, tanto economicamente como tecnologicamente. Assim, por analogia, a substituição parcial ou total da areia de rio por areia artificial é importante em termos econômicos e tecnológicos pela proximidade do material do centro de maior consumo, a RMSP. Para que esse consumo aumente é necessário conhecer e divulgar as propriedades da areia artificial para os consumidores, e também as vantagens econômicas e técnicas em substituir total ou parcialmente a areia de rio pela areia artificial.

A areia artificial é um material considerado como resíduo. É um material que, pelas suas características, polui o ambiente quando não estocado adequadamente. Pela ação da água da chuva, o material mais fino é carregado para os córregos ou tubulações de águas pluviais, assoreando-os e causando entupimentos. Estocado em grandes volumes, o vento carrega o material mais fino, espalhando o pó pela vizinhança da pedreira, podendo causar desconforto nas pessoas e poluindo o ambiente. Em relação a outros tipos de minerais explorados, a mineração de areia e brita é a mais simples e menos problemática em termos de poluição ambiental. Na exploração não são utilizados produtos tóxicos que possam contaminar o solo e a água subterrânea. Assim, o aumento do consumo da areia artificial poderá diminuir o impacto ambiental e solucionar a sua estocagem (JOHN, 1986) (VALVERDE, 2001). Na prática, as atividades de produção e uso dos agregados naturais em áreas urbanas são realizadas sem sustentabilidade ambiental. Assim, a implementação da Agenda 21 no Brasil, será um desafio maior, na adequação das empresas mineradoras em atender aos princípios de conservação e melhoria da gestão dos recursos naturais (BITAR, 1999).

Pelo exposto, este trabalho poderá contribuir para incrementar o consumo da areia artificial na produção de argamassas, em bases tecnológicas e econômicas, e com isso diminuir o impacto ambiental que este material tem causado.

1.3 – Estrutura do trabalho

Este trabalho foi dividido em oito capítulos. O primeiro é esta introdução, que aborda a utilização da areia artificial de rocha na produção de argamassas e outros produtos para construção civil, sua participação no mercado em relação à areia de rio, e apresenta também o objetivo da utilização da areia artificial na produção das argamassas.

No Capítulo 2 foram realizadas uma revisão bibliográfica sobre o cimento Portland e a cal, suas propriedades químicas e físicas e as influências exercidas nas argamassas.

O capítulo 3 tratou do tema agregados em que são descritas as características geométricas, físicas e sua influência sobre as argamassas.

Em seguida, no capítulo 4, foram discutidas as argamassas de assentamento de alvenaria: sua definição, seus materiais constituintes, a influência destes constituintes nas argamassas, o seu comportamento físico no estado fresco e no endurecido, e a sua dosagem.

Na continuidade do trabalho, o capítulo 5 descreve o programa experimental realizado na pesquisa. Neste programa experimental são apresentados os materiais e os métodos de ensaios utilizados para realização dos ensaios.

Os resultados dos ensaios são apresentados no capítulo 6. Nele constam os resultados de ensaios de caracterização física dos materiais utilizados nas argamassas, os ensaios realizados em argamassas no estado fresco e endurecido e os ensaios de resistência à compressão axial dos prismas de bloco de concreto para alvenaria estrutural, moldada com as argamassas estudadas.

No capítulo 6, também é abordado o custo das argamassas, em que é apresentada uma tabela comparativa de custo entre argamassa preparada com cimento, cal e areia de rio e outra preparada com os mesmos aglomerantes e areia artificial, para mostrar a viabilidade econômica da substituição da areia de rio pela areia artificial.

No capítulo 7 encontram-se as conclusões do trabalho e finalmente, no capítulo 8 as sugestões para a sua continuidade.

2 AGLOMERANTES MINERAIS

2.1 Cimento Portland

O cimento Portland é um aglomerante hidráulico, resultante da moagem do clínquer Portland com adições de gipsita, material carbonático, cinza volante e escória granulada de alto-forno (NBR5732, ABNT, 1991). O clínquer é um produto da sinterização do minério de calcário e argila à temperatura de, aproximadamente, 1450 °C. A adição de gipsita, junto com a moagem do clínquer na produção do cimento Portland, é obrigatória para todos os tipos de cimento para regular a pega. As demais adições, isoladamente, irão caracterizar os diversos tipos de cimento Portland produzidos no Brasil, os quais estão citados no item 2.1.2.

2.1.1 Fabricação

Argilas e xistos argilosos são os materiais preferenciais como fontes suplementares de sílica para formação dos silicatos de cálcio quando fundidos com o $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgO}_3$. As argilas também são fontes de alumina (Al_2O_3), óxido de ferro (Fe_2O_3) e álcalis. Estes compostos minerais, (Al_2O_3), (Fe_2O_3) e álcalis, são necessários para um efeito mineralizante na produção de silicatos de cálcio a temperaturas consideravelmente mais baixas (MEHTA e MONTEIRO, 1994). O calcário, CaCO_3 , é a principal matéria prima. Após moagem e homogeneização com a argila é conduzido ao forno. No forno, à temperatura entre 850 °C e 950 °C, o calcário se dissocia e libera CO_2 para o ambiente, formando o óxido de cálcio, CaO , que irá combinar-se com os

óxidos dos minerais presentes na argila, até à temperatura máxima de 1450°C. Este processo denomina-se calcinação. Após a calcinação, o produto sofre um resfriamento brusco até a temperatura aproximada de 150 °C, formando pelotas denominadas de clínquer. O resfriamento brusco propicia a formação desordenada dos cristais dos compostos do cimento. A forma desordenada dos cristais é que torna os compostos altamente reativos com a água, além de fatores como o tamanho da partícula e temperatura de hidratação. Os materiais introduzidos no forno ficam submetidos a altas temperaturas e em condições de não equilíbrio e com uma variedade de íons metálicos presentes, formando as estruturas cristalinas dos compostos do cimento que não são perfeitas. As imperfeições estruturais explicam a instabilidade dos compostos do cimento em meio aquoso. Com moagem do clínquer e adição de, aproximadamente, 4% gipsita obtém-se o cimento Portland. A adição da gipsita é necessária para controlar o tempo de pega do cimento, ou seja, o tempo de início das reações químicas dos compostos do cimento com a água (MEHTA e MONTEIRO, 1994).

2.1.2 Adições introduzidas na moagem do clínquer Portland

Os cimentos, no Brasil, são classificados conforme as adições introduzidas junto com a moagem do clínquer. Essas adições são a escória de alto forno, a pozolana e o calcário moído. As adições têm por finalidade baratear o custo do cimento, visto que o clínquer moído é o material mais caro pela quantidade de energia necessária à sua produção. Desta forma, conforme o tipo de material adicionado à moagem do clínquer temos os vários tipos de cimento Portland. A escória granulada de alto forno é um material residual da produção do ferro gusa, e que é composto, em sua maior parte, de silicatos e aluminossilicatos de cálcio (ABNT, 1991c). O material pozolânico adicionado ao clínquer Portland, são materiais silicosos ou silicoaluminosos que por si só possuem pouca ou nenhuma atividade aglomerante, mas quando finamente moídos reagem com hidróxido de cálcio, remanescente das reações dos compostos do cimento Portland em presença de água, formando novos compostos cimentícios. As pozolanas podem ser naturais, de origem vulcânica, ou artificiais originadas de tratamento térmico ou subprodutos industriais com atividade pozolânica. Determinadas argilas, quando calcinadas a temperaturas entre 500 °C e 900°C, adquirem propriedades pozolânicas, isto é, reagem com o hidróxido de cálcio (ABNT,

1991d). Os diferentes tipos de cimento influem nas propriedades das argamassas de cimento, cal e areia, devido às suas características individuais.

2.1.3 Hidratação do cimento Portland

As reações químicas dos compostos do cimento Portland com água formam diversos produtos hidratados. Os silicatos de cálcio reagem com a água e formam o hidróxido de cálcio e silicatos de cálcio hidratado, e os aluminatos e ferroaluminatos reagem com o sulfato de cálcio para formar os sulfoaluminatos.

A hidratação do cimento Portland é um processo químico complexo de dissolução-precipitação, onde as reações de hidratação acontecem simultaneamente, interferindo umas sobre as outras, em diferentes velocidades. Em meio a estas reações ocorre a reação do sulfato de cálcio interferindo no tempo de pega do cimento. As reações químicas do cimento com a água iniciam-se de imediato. As reações por dissolução ocorrem por troca iônica entre os compostos do cimento e a água, com concentração de aluminatos de cálcio, sulfatos e álcalis em meio aquoso ou fase líquida. Estas reações são exotérmicas, com grande liberação de calor, quando são formados os primeiros produtos hidratados, seguida de uma rápida diminuição da taxa do desenvolvimento de calor. Os produtos hidratados formados são de difícil caracterização morfológica. A fase seguinte é caracterizada pela diminuição da velocidade das reações com a conseqüente diminuição do desenvolvimento de calor de hidratação. Essa desaceleração deve-se à difusão dos íons e deposição de produtos hidratados nos poros. As reações continuam, principalmente da alita, em havendo material anidro e espaço disponível. Esses produtos hidratados adicionais irão se depositar nos espaços dos poros e os cristais hexagonais de CH envolvem parte do C-S-H formado anteriormente. Grande parte dos compostos do cimento reagem com a água nos primeiros dias, mas a cinética dessas reações é diferente, as quais dependem de vários fatores como a fabricação, a finura e o ambiente a que está exposto, principalmente da fase líquida, que influenciam a fase de dissolução, quando ocorrem as primeiras reações ou a troca iônica entre os sólidos e a fase líquida. A seqüência das velocidades das reações podem ser descritas na seguinte ordem, aproximadamente, $C_3A > C_3S > C_4AF > C_2S$.

A temperatura de hidratação também influi na velocidade das reações. Geralmente, o aumento da temperatura acelera a velocidade inicial de hidratação do cimento, mas os graus de hidratação e o desenvolvimento de resistência mecânica nas idades avançadas, geralmente, são menores. A hidratação do cimento Portland, basicamente, é a mistura íntima dos seguintes compostos, ou fases relacionadas aos compostos principais (CAMARINI, 1995):

- fase silicato, reações devidas às fases silicatos tricálcicos (C_3S) e bicálcicos (C_2S);
- fase intersticial, reações devidas às fases aluminato (C_3A) e ferrita (C_4AF).

A formação do C-S-H (silicato de cálcio hidratado) é a responsável pelo desenvolvimento da resistência mecânica e durabilidade das argamassas e concretos. (CAMARINI, 1995).

2.1.4 Influência dos tipos de cimento na resistência das argamassas

Os vários tipos e classes de cimento podem ser utilizados na produção das argamassas. Diferenciam-se pelas adições introduzidas na sua fabricação e pela sua finura, que irão influir, geralmente, na resistência mecânica das argamassas. No cimento Portland, a finura é um parâmetro que influi na resistência mecânica. Desta forma, quanto mais fino o cimento Portland maior a resistência mecânica da argamassa, tanto nas idades iniciais, de 3 a 14 dias, como nas idades finais superiores a 180 dias. Entretanto, um cimento mais fino pode acarretar uma fissuração maior em relação a um cimento mais grosso, para um mesmo consumo de cimento. O cimento tipo CP-V, pelas suas características alta resistência inicial, pode produzir argamassa de melhor resistência mecânica. As diversas adições que são introduzidas na fabricação dos cimentos de diversos tipos influem nas propriedades físicas e químicas. Por exemplo, a adição do filer de calcário no cimento Portland irá influir no grau de carbonatação das argamassas. Quimicamente, a carbonatação proporciona a redução do pH da mistura, com conseqüente diminuição da vida na argamassa (VEIGA, F. N.; BITTENCOURT, R. M.; ANDRADE, W. P., 1998). O comportamento dos diversos tipos de cimento num mesmo traço de argamassa de

cimento, cal e areia, em relação à resistência à compressão simples pode ser observado na Figura 2.1.

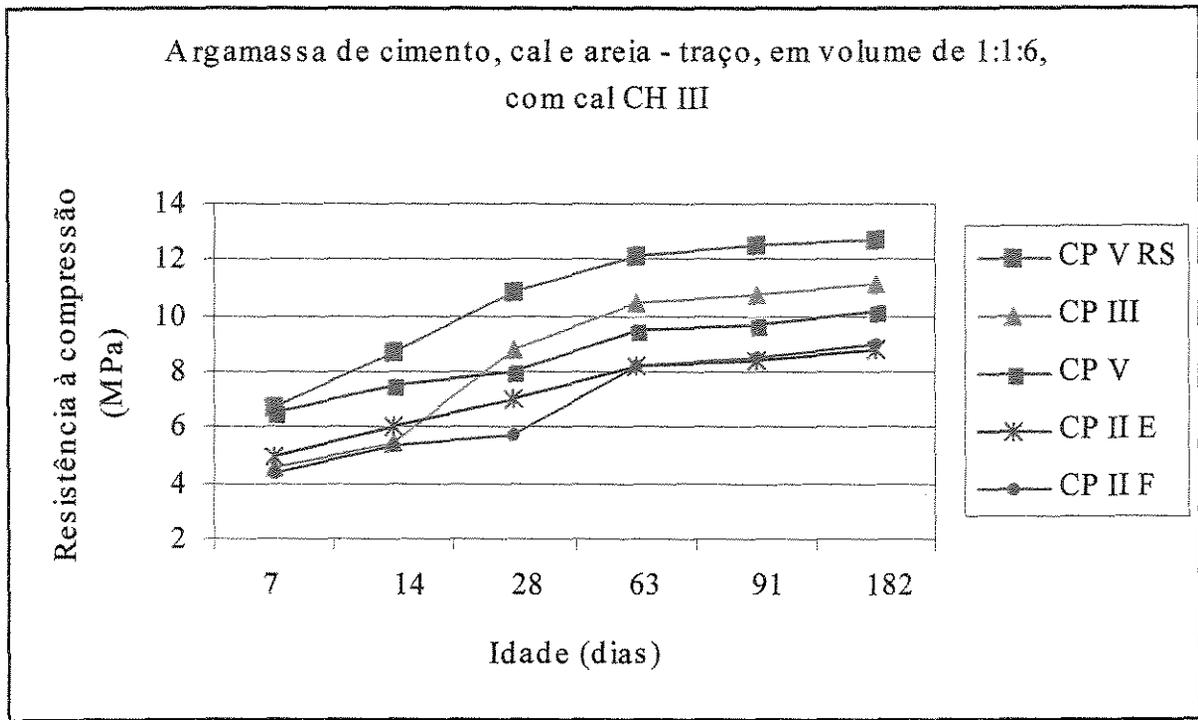


Figura 2.1- Comportamento da resistência à compressão simples de argamassas, com diferentes tipos de cimento (BOLORINO e CINCOTTO, 1997, p. 20).

2.1.5 Função do cimento na argamassa

A função principal do cimento nas argamassas é garantir a resistência mecânica à compressão simples e de aderência ao substrato, além de melhorar a sua durabilidade pelo fato de proporcionar estas propriedades em tempo mais curto do que a cal hidratada.

A aderência da argamassa ao substrato se dá pela penetração da pasta do aglomerante e da argamassa nos poros do substrato. A água coloidal que contém os componentes do aglomerante, penetra nos poros capilares, onde ocorrem os fenômenos de precipitação dos produtos de hidratação do cimento e da carbonatação da cal. As reações que ocorrem no interior

dos capilares do substrato, com o tempo, proporcionam resistência mecânica e fazem a ponte de aderência entre a argamassa e o substrato. Os diferentes tipos e classes de cimento Portland existentes no mercado podem influir na aderência da argamassa ao substrato como pode ser observado na Figura 2.2.

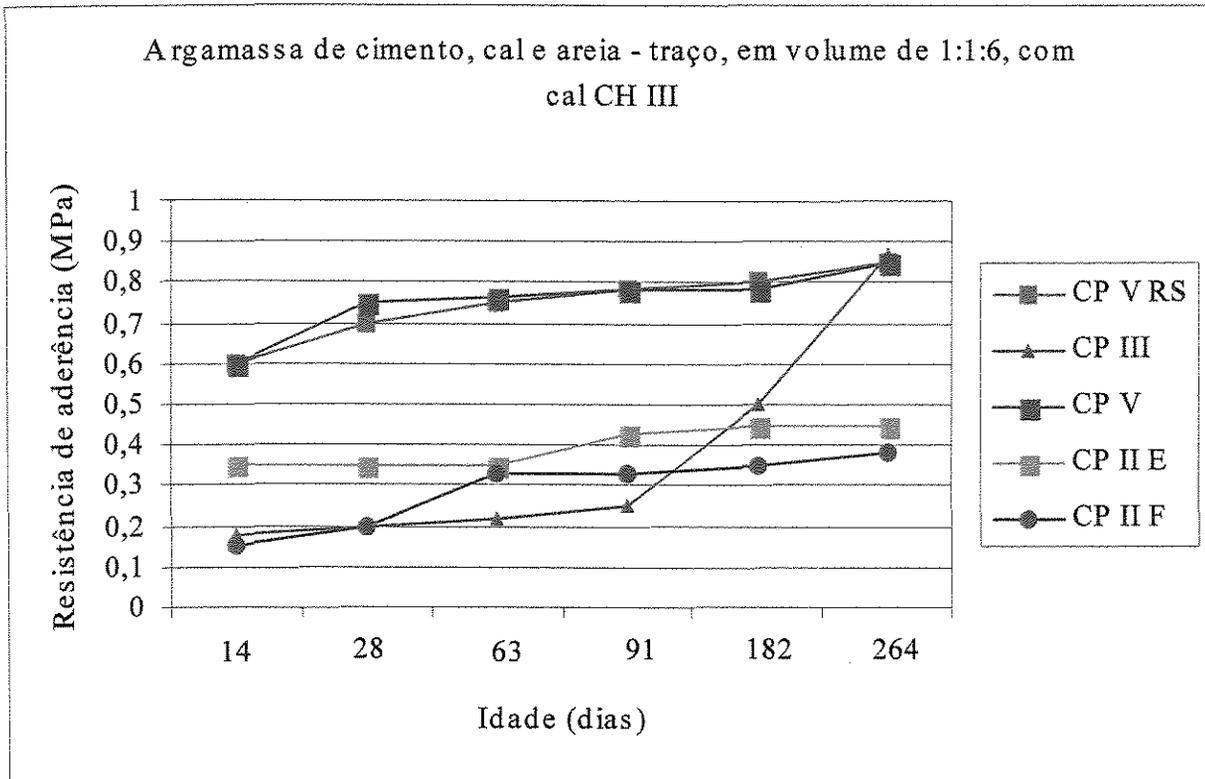


Figura 2.2 – Influência dos diversos tipos de cimento na resistência de aderência da argamassa (BOLORINO e CINCOTTO, 1997, p. 24)

Nesta Figura observa-se que quanto mais fino o cimento Portland, (CP V e CP V RS) maior a resistência de aderência da argamassa, tanto nas idades iniciais, de 3 a 14 dias, como nas idades finais superiores a 180 dias.

Por outro lado, um cimento mais fino pode acarretar uma fissuração maior em relação a um cimento mais grosso, para um mesmo consumo de cimento. O cimento tipo CP-V, pelas suas características de alta resistência inicial, pode produzir argamassa de melhor resistência de aderência (CARASEK, CASCUDO e SCARTEZINI, 2001).

2.2 Cal hidratada

A cal hidratada é definida pela NBR 7175 (ABNT, 2003b) como pó obtido pela hidratação da cal virgem, constituída, essencialmente de uma mistura de hidróxido de cálcio e hidróxido de magnésio ou, ainda, de uma mistura de hidróxido de cálcio, hidróxido de magnésio e óxido de magnésio. Existem três tipos de cales no mercado brasileiro e são classificadas, de acordo com a sua composição química e característica física, diferenciando-se, basicamente, pelos teores de óxidos não hidratados e de carbonatos. Os diferentes tipos de cales são denominados pelas siglas CH I, CH II e CH III conforme as diferenças nas exigências químicas e físicas. O teor de anidrido carbônico avalia o processo de calcinação da matéria prima na produção da cal. O teor de óxidos não hidratados serve para avaliar a hidratação da cal virgem.

2.2.1 Matéria prima

A cal hidratada é um aglomerante produzido a partir de uma única matéria prima que é o calcário (CaCO_3 , Mg CO_3). O calcário encontrado na natureza não é puro. Junto à sua formação há outros componentes como MgO , SiO_2 , Al_2O_3 . O calcário puro seria somente o carbonato de cálcio (CaCO_3). O componente mais comum encontrado em maior quantidade misturado ao carbonato de cálcio é o carbonato de magnésio (Mg CO_3).

Para obtenção da cal hidratada, o calcário é submetido a dois processos: calcinação da matéria prima e hidratação da cal virgem. A cal virgem é obtida pela calcinação em fornos a temperatura de, aproximadamente, 900 °C, inferior à fusão do material. Esta temperatura é suficiente para dissociar o calcário, produzindo-se óxido de cálcio e gás carbônico (reação 2.1):



Portanto, na calcinação, os carbonatos de cálcio e de magnésio que compõem a rocha matriz, são transformados em óxidos (cal virgem) pela ação do calor que propicia o

desprendimento do anidrido carbônico preso à sua estrutura molecular. Resumidamente, a calcinação do calcário acarreta em:

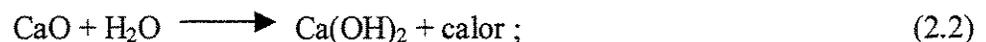
- 1- evaporação da água da matéria prima;
- 2- dissociação do calcário;
- 3- liberação do CO₂ deixando os óxidos (CaO e MgO) livres.

A cal virgem para a construção civil é definida pela NBR 6453 (ABNT, 2003a) como o produto obtido pela calcinação de carbonatos de cálcio e/ou magnésio, constituídos essencialmente de uma mistura de óxido de cálcio e óxido de magnésio, ou ainda de uma mistura de óxido de cálcio, óxido de magnésio e hidróxido de cálcio.

2.2.2 Hidratação da cal virgem

A cal hidratada ou cal extinta obtém-se pela hidratação da cal virgem. A hidratação da cal acontece com grande desprendimento de calor, conforme as seguintes reações químicas 2.2 e 2.3:

- Cal cálcica:



- Cal magnesiana ou dolomítica:



2.2.3 Endurecimento da cal hidratada

O endurecimento da cal hidratada se dá com o tempo pela reação com o gás carbônico do ar, transformando os hidróxidos de cálcio e magnésio em carbonatos de cálcio e magnésio. Essa reação é conhecida também como recarbonatação.

A reação do hidróxido com o gás carbônico do ar ocorrem segundo as reações químicas 2.4 e 2.5.

- Cal hidratada cálcica:



- Cal hidratada dolomítica;



Esta reação é lenta devido ao baixo teor de CO_2 presente no ar, e em uma argamassa de revestimento progride da sua superfície para o seu interior. Assim, é preciso que a argamassa de cal seja ou mantenha-se porosa o suficiente para permitir a continuação da reação. A água liberada dessa reação tem um efeito benéfico por proporcionar uma cura prolongada do cimento em argamassas mistas e atuar como um catalisador da reação de carbonatação (GUIMARÃES, 2002).

2.2.4 Requisitos essenciais da cal hidratada

São requisitos essenciais para avaliar a qualidade da cal hidratada os teores químicos de anidrido carbônico (CO_2), óxidos não hidratados e óxidos totais, além da exigência física da finura. Os teores máximos de anidrido carbônico (CO_2), pela NBR 7175 para cales tipo CH I e CH II, são de 5% e para cal CH III é de 13% (ABNT, 2003b). O teor de óxidos não hidratados serve para avaliar a hidratação da cal virgem. Quanto menor o teor de óxidos não hidratados,

maior será o teor de cal hidratada disponível no produto final (GUIMARÃES, 2002). As presenças de óxidos de cálcio e magnésio não hidratados são limitados em, no máximo, 10% para cal tipo CH I e de 15% para cales tipos CH II e CH III conforme a NBR 7175 (ABNT, 2003b). A pureza da rocha calcária é avaliada pelo teor de óxidos totais após a calcinação. Assim, quanto maior o teor de óxidos totais, significa também a maior pureza da rocha calcária empregada (GUIMARÃES, 2002). Os óxidos totais na base de não voláteis são limitados em, no mínimo, 90% para cal tipo CH I e de 88% para cales tipo CH II e CH III, segundo a NBR 7175 (ABNT, 2003b).

O grau de moagem da cal hidratada é avaliado pela finura. Quanto menor a partícula da cal hidratada maior o poder aglomerante da cal hidratada, influenciando diretamente, e de forma positiva, na trabalhabilidade das argamassas. A finura também propicia maior retenção de água no interior da argamassa fresca, propriedade importante quando a argamassa é aplicada em substrato poroso (GUIMARÃES, 2002). A finura da cal é limitada pela NBR 7175 em no máximo, de 0,5% de material retido na peneira ABNT 0,600 mm e de, no máximo de 10% de material retido acumulado nas peneiras ABNT 0,600 e 0,075 mm para a cal tipo CH I e de 15% para as cales tipo CH II e CH III (ABNT, 2003b).

2.2.5 Reologia da pasta de cal hidratada

As pastas de cal hidratada podem ser consideradas como fluidos e possuem propriedades complexas intermediárias entre as propriedades dos sólidos e dos líquidos. As propriedades reológicas das pastas são caracterizadas por fenômenos físicos de coesão e viscosidade. A coesão é definida como união e aglutinação. A área específica dos finos com atuação da água propiciam a união e a aglutinação, e, na argamassa, a pasta é a responsável pela sua coesão. A coesão pode ser alterada pela variação da área específica e a quantidade de água presente na mistura.

A viscosidade é definida pela velocidade de deformação de um corpo. Nas argamassas a viscosidade da pasta é a responsável direta pela consistência da argamassa (BOMBLED, 1967). Observou-se, em pasta de cimento e cal, que a substituição gradativa do cimento pela cal,

mantendo-se a relação água/ aglomerante, aumentou a viscosidade da pasta e desta forma mostra-se que a cal propicia maior coesão entre as partículas sólidas (RAGO e CINCOTTO, 1995).

As cales são materiais de grande área específica, e como tal necessita de grande quantidade de água para molhar as partículas sólidas (PAPADAKIS,1995). Quando a cal hidratada é colocada em contato com a água, ela se dissocia até a um ponto de equilíbrio, ficando a fase líquida rapidamente saturada com várias espécies iônicas. Fazendo-se uma analogia ao que ocorre numa suspensão de cimento Portland em água, devido ao pequeno tamanho das partículas, as forças de atração entre elas exercem uma forte influência nas características da suspensão, juntamente com a gravidade. As forças atuantes entre as partículas são de dois tipos: forças de Van der Waals e dupla camada elétrica.

2.2.6 Maturação da cal hidratada

Tradicionalmente, quando da utilização da cal hidratada para argamassas, costuma-se fazer a argamassa de cal (mistura da cal hidratada com areia e água) na proporção adequada para a garantir a completa hidratação dos óxidos. Com isso, evita-se o aumento de volume dos mesmos na argamassa aplicada. Observa-se, na prática, que quando a cal é deixada em repouso, misturada com areia e água por um período mínimo de 16 a 24 horas, a argamassa de cal ou cal e cimento apresenta-se com melhor trabalhabilidade e retenção de água. Além disso, em argamassa de cimento e cal a água retida ajuda na hidratação e cura do cimento Portland, comparada com argamassa misturada com cal em pó adicionada na hora da mistura (RAGO e CINCOTTO, 1999).

2.2.7 A função da cal na argamassa

A função da cal na argamassa é de melhorar a sua plasticidade e conferir maior retenção de água à mistura, além de ser um material aglomerante. A cal também preenche os vazios da

argamassa pela reação de carbonatação ao longo do tempo, proporcionando uma reconstituição autógena sendo esta uma vantagem. A adição de cal à argamassa de cimento confere a esta maior extensão de aderência e minimiza a fissuração na interface com o substrato. Desta forma, a argamassa com os dois aglomerantes apresentam boa resistência mecânica com minimização da ocorrência de fissuras. Uma argamassa rica em cimento geralmente produz argamassa de elevada resistência de aderência, mas pode originar fissuras, prejudicando a durabilidade. Já, as argamassas ricas em cal apresentam alta extensão de aderência, tanto em nível macro como em nível microscópico, pois como as argamassas são mais plásticas, elas “têm uma capacidade maior de molhar a superfície e preencher as cavidades do substrato” (CARASEK, CASCUDO e SCARTEZINI, 2001, p.50). Na microscopia observa-se em uma argamassa de cal uma “microestrutura da interface com o substrato mais denso e mais contínuo, além de apresentarem menor incidência de microfissuras na interface do que a da argamassa somente de cimento” (CARASEK, CASCUDO e SCARTEZINI, 2001, p.50). Desta forma, as argamassas ideais são as produzidas com cimento e cal, ou seja, argamassas mistas de cimento e cal.

Uma das características da cal é o poder de retenção de água, e esta característica também é adquirida pela argamassa (CARASEK, CASCUDO e SCARTEZINI, 2001). Assim, a retenção de água é a propriedade da argamassa em reter a água no meio da mistura sem perder totalmente a água para o substrato quando colocada em contato com bloco de alta absorção. Essa retenção de água no interior da argamassa fresca é proporcionada pela cal devido a sua área específica elevada. (SABBATINI, 1986).

A cal melhora a consistência e a trabalhabilidade das argamassas proporcionada pela coesão interna devido à diminuição da tensão superficial da pasta aglomerante e da adesão ao agregado. Em argamassas com baixo consumo de aglomerante é necessário que o teor de cal seja na mesma proporção ao teor de cimento para que a argamassa apresente a propriedade de retenção de água. Em argamassa com grande consumo de cal como aglomerante a retenção de água é elevada (CINCOTTO, SILVA e CASCUDO, 1995).

2.2.8 Defeitos que podem ocorrer na utilização da cal hidratada

As utilizações de cal hidratada na produção de argamassa para revestimento podem acarretar vários defeitos, conforme as falhas que tenham ocorrido na produção da cal hidratada.

a) Material inerte

Empregando-se cal hidratada que contenha ainda material inerte (que pode ser calcário não dissociado na calcinação, por exemplo, ou qualquer adulteração do produto, pela adição de material inerte), reduz-se o teor efetivo de aglomerante na argamassa.

b) Óxidos não hidratados

A hidratação dos óxidos de cálcio e magnésio (constituintes da cal virgem) ocorre com aumento de volume, e esta expansão deve completar-se antes da aplicação da argamassa de cal hidratada. Desta forma, o revestimento de argamassa de cal hidratada, contendo ainda óxidos não hidratados, pode vir a descolar-se da alvenaria, pela reação expansiva, posteriormente observada, destes óxidos com a água (ou umidade), quando parte da argamassa já tenha endurecido. Como medida preventiva, costuma-se na obra, deixar descansar a argamassa a argamassa de cal hidratada, por no mínimo 24 horas, e assim propiciar a hidratação dos óxidos presentes, antes da utilização da argamassa (SABBATINI, 1986).

3 AGREGADO PARA ARGAMASSAS

O termo “agregados”, no setor da construção civil no Brasil, identifica o material granular de origens e tamanhos diversos, geralmente utilizados na produção de argamassas e concretos de cimento Portland ou concreto asfáltico. Na legislação sobre mineral, o termo “agregados para construção civil” identifica um segmento do setor mineral que produz matéria-prima bruta ou beneficiada, de emprego imediato na indústria da construção civil (VALVERDE, 2001). O agregado tem uma participação importante na produção de argamassa e concreto, tanto em base técnica como econômica. Em base técnica o agregado atua positivamente, por exemplo, diminuindo a retração, aumentando a resistência ao desgaste. Economicamente, o agregado custa menos que o cimento e, portanto, é mais econômico adicionar mais agregado que o cimento na produção de argamassas e concretos. Em geral, o volume ocupado pelo agregado é de 60% a 80% do volume total da mistura de argamassa ou concreto. Na construção civil, observa-se a utilização de agregado de vários tamanhos, formas e modos de aplicação. São utilizados isoladamente como calçamento de ruas, como base de dormentes de ferrovia, acabamento arquitetônico, dreno, ou ainda, como material inerte de enchimento na produção de argamassas, concretos e asfaltos.

Os finos originados da britagem de rocha são materiais residuais resultantes da obtenção do agregado graúdo de pedra britada e apresentam dimensão máxima de 4,8 mm, e com material fino abaixo de 0,075 mm acima de 5%. Este material é mais conhecido como pó de pedra ou areia artificial. Pela definição da NBR-9935 (ABNT, 1987g), a *areia artificial e agregado artificial* é o material proveniente da britagem de rocha. A especificação NBR-7211, em revisão, (ABNT, 2003c), classifica o agregado miúdo como aquele que apresenta 95% do material, em

massa, passante pela peneira ABNT de malha quadrada de abertura de 4,8 mm, e de agregado graúdo, aquele que fica retido 95% na peneira ABNT de abertura de 4,8 mm.

Neste trabalho, o enfoque está no uso da areia artificial, sem descarte dos finos abaixo da peneira ABNT com abertura de 0,075 mm, para produção de argamassas de assentamento de blocos de concreto simples para alvenaria estrutural.

3.1 Areia natural

A areia natural pode ser extraída de leitos de rios, várzeas, depósitos lacustres, mantos de decomposição de rochas, pegmatitos e arenitos decompostos. No Brasil, 90% da areia são produzidos em leitos de rios. No Estado de São Paulo, 45% da areia produzida são provenientes de várzeas, 35% de leitos de rios, e o restante, de outras fontes (VALVERDE, 2001).

A seguir são apresentadas as características tecnológicas da areia natural de maior interesse na produção de argamassas.

3.1.1 Forma das partículas do agregado

A forma e área específica das areias influem de maneira significativa nas propriedades das argamassas. Geralmente em estudos de argamassas analisa-se principalmente a sua granulometria. As características geométricas dos grãos de areia, como forma e textura, não são avaliadas. A avaliação da forma pelo método da NBR 7389 (ABNT, 1992), é visual e a comparação é feita com formas padronizadas (Figura 3.1).

A forma geométrica do agregado é de difícil definição pela forma tridimensional. Observa-se que as areias e pedregulhos de rio apresentam formas arredondadas. A areia artificial

apresenta grãos angulosos, superfície rugosa e baixa esfericidade. Estas características irão influir na trabalhabilidade das argamassas (NEVES e LIMA, 2001).

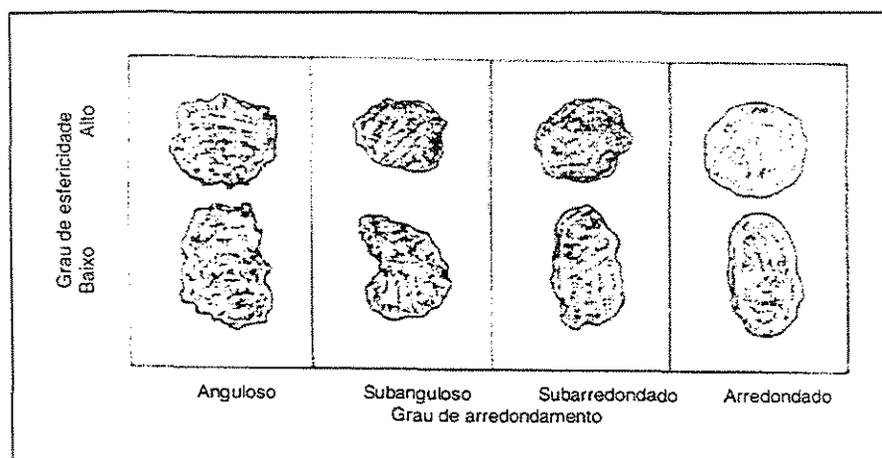


Figura 3.1– Avaliação visual dos graus de esfericidade e arredondamento, conforme NBR 7389 (ABNT, 1992).

A forma da partícula do agregado britado depende da natureza do mineral de origem, do tipo de britador e da sua relação de redução, isto é, da relação entre o tamanho de material que entra e do material que sai do britador.

O interesse tecnológico quanto à forma da partícula do agregado é devido à sua influência na trabalhabilidade do concreto ou argamassa. Partículas alongadas ou lamelares apresentam área específica maior do que as partículas de forma regular, e assim, elas influem de modo negativo na trabalhabilidade (NEVILLE, 1997). Para o agregado graúdo existem métodos de ensaios para avaliar a forma das partículas que o compõe, denominado índice de forma do agregado, conforme NBR 7809 (ABNT, 1983a).

Os métodos de ensaios existentes para determinar a forma dos agregados são diferentes e, portanto, os índices de forma são diferentes. No entanto, os índices indicam limites para o uso do agregado sem que a forma não prejudique de modo acentuado a trabalhabilidade. Para o agregado miúdo não existe uma avaliação da forma das partículas devido, talvez, à dificuldade de se medir as dimensões das partículas. Observa-se, na prática, pelo manuseio da argamassa, que não há dificuldade de se trabalhar com argamassa de areia artificial ou areia de rio, de mesmo

traço. Rosello (1976, *apud* SELMO 1986), observou que areia com grãos angulosos aumentam a resistência de aderência ao cisalhamento, pois aumenta o coeficiente de atrito da interface.

A determinação da forma das areias pode ser determinada por meio da morfoscopia. Esta técnica permite avaliar o grau de arredondamento em seis grupos: muito angular, angular, subangular, subarredondado, arredondado e muito arredondado. A Figura 3.2 mostra os diferentes graus de arredondamento das partículas, conforme padrões estabelecidos.

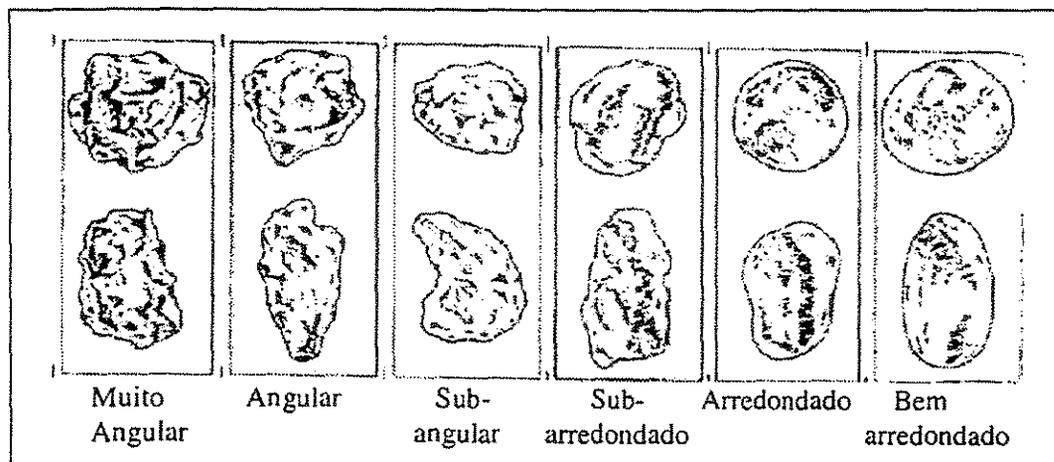


Figura 3.2–Padrão de imagens de arredondamentos (McLANE, 1995, *apud* ARAÚJO e TRISTÃO, 2001).

Agregado miúdo com menor teor de grãos angulosos tende a produzir argamassas com melhor trabalhabilidade, mantendo-se a granulometria contínua (CINCOTTO, SILVA e CASCUDO, 1995).

3.1.2 Textura das partículas de agregado

Quanto à superfície dos grãos, a avaliação é visual com lentes e é descrita pela sua textura superficial, sendo classificada em polida, fosca ou rugosa, conforme NBR 7389 (ABNT, 1992).

A textura da superfície do agregado pode ser rugosa como nas partículas de pedra britada, ou lisa como os seixos rolados ou pedregulhos. Observa-se, na prática, que agregados

com partículas arredondadas e textura lisa exigem menos pasta de cimento e água para se conseguir misturas de argamassas trabalháveis em relação a agregados com forma angulosa e de textura áspera. O agregado miúdo condiciona a demanda de água e este condicionante é um fator importante na durabilidade das argamassas (GRIGOLI, 2000).

3.1.3 Massa unitária

A massa unitária, ou massa específica aparente, é um dado físico necessário quando os agregados são medidos em volume na dosagem de argamassas. A NBR 7251 (ABNT, 1982b) define massa unitária como o "quociente da massa do agregado lançado no recipiente de acordo com o estabelecido e o volume desse recipiente". A massa unitária é um fator de conversão de medida em massa para medida em volume, com agregado no estado seco, visto que um estudo de dosagem de argamassa é realizado com todos os materiais medidos em massa. A determinação da massa unitária, no estado seco e solto, é realizada conforme a NBR-7251 (ABNT, 1982b). Nas obras, geralmente, a dosagem de argamassa é realizada com o agregado miúdo medido em volume, e no estado úmido. Verifica-se, experimentalmente, que a massa unitária varia com a umidade e que a umidade influi no volume do agregado miúdo devido ao inchamento (Figura 3.3).

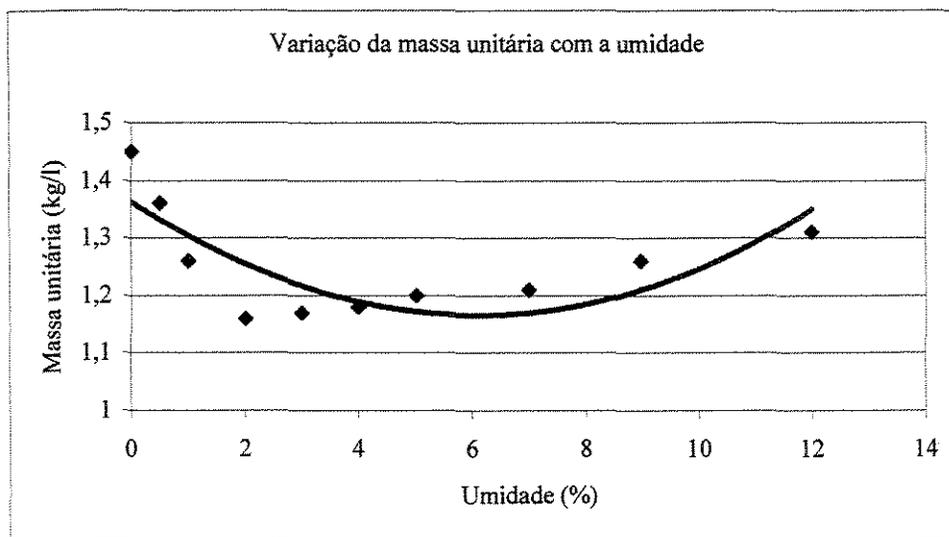


Figura 3.3- Gráfico típico de variação da massa unitária com a umidade de um agregado miúdo natural.

A massa unitária determinada conforme NBR-7251 (ABNT, 1982b) não é apropriada para determinar o menor volume de vazios para se obter o menor consumo de cimento, para traços em massa, sem perda das propriedades mecânicas. No traço de argamassa em massa, o agregado miúdo representa, aproximadamente, 80% do total do traço. Desta forma, no traço em massa, quanto maior a massa unitária da areia, menor o consumo de aglomerante, sem perda de propriedades mecânicas (CINCOTTO e CARNEIRO, 1999).

Para se obter uma maior massa unitária, a mistura de agregados de diferentes composições granulométricas pode não ser um parâmetro para obtenção de maior compacidade da mistura. Um agregado com menor massa unitária e granulometria contínua pode resultar em argamassa e concreto de melhor compacidade e, em consequência, redução da relação a/c para uma mesma trabalhabilidade (CARNEIRO et. al., 2002).

3.1.4 Teor de umidade do agregado

Na mistura de argamassa fresca, para que não aconteça a migração da água da mistura para o agregado, é necessário que os poros dos agregados estejam cheios de água, isto é, na condição saturada de superfície seca (SSS). Agregado com absorção de água maior que a condição SSS apresentará uma película de água que entra na mistura, ocupando um volume maior do que o volume do grão do agregado. O agregado miúdo utilizado na obra, geralmente encontra-se úmido, pelas características da sua extração de rio ou desmonte úmido de jazida. Normalmente, o agregado fica exposto à intempérie e, após a chuva, o agregado acumula água entre os grãos. No agregado miúdo, na parte interna do monte logo após a camada seca, a umidade pode chegar a 10%. Na produção de argamassa com agregados medidos em volume, o volume de argamassa varia com a umidade devido ao inchamento do agregado miúdo.

3.1.5 Inchamento do agregado miúdo

No agregado miúdo, a água livre aderente em cada grão provoca um outro efeito, além do teor de umidade, que é o fenômeno do inchamento. O conhecimento do fenômeno do inchamento se faz necessário quando se mede o agregado miúdo em volume. Quando se quantifica o agregado miúdo em volume, no estado seco, existe uma correlação de quantidade de massa para volume, para o mesmo processo de enchimento do recipiente. Esta correlação não vale quando o agregado miúdo apresenta-se úmido. A umidade forma uma película de água em volta de cada partícula do agregado miúdo provocando o afastamento entre essas partículas e acarretando o aumento de volume do conjunto (inchamento). O inchamento varia com a umidade do agregado miúdo, chegando-se ao inchamento máximo com teores de umidade entre 4 e 6%. A partir do inchamento máximo, o mesmo não aumenta com o incremento da umidade, permanecendo praticamente constante. Observa-se, também, que o agregado miúdo de granulometria mais fina apresenta inchamento maior do que o agregado de granulometria mais grossa. Isso pode ser explicado pela área específica do conjunto ser maior para o mesmo volume (PETRUCCI, 1971). Desta forma, a quantificação do agregado miúdo em volume, quando úmido, é necessário corrigir o volume seco para volume úmido, conforme o teor de umidade e respectivo coeficiente de inchamento. A Figura 3.4 mostra um gráfico típico de variação do coeficiente de inchamento com a umidade de um agregado miúdo.

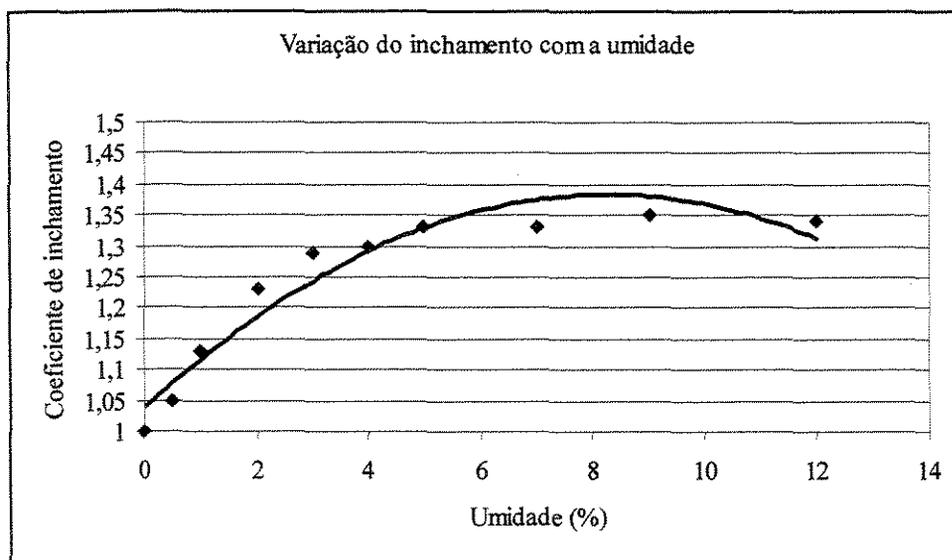


Figura 3.4- Gráfico típico de variação do coeficiente de inchamento com a umidade superficial de um agregado miúdo natural.

No agregado graúdo a película de água que cobre cada grão é muito pequena em relação ao tamanho do grão, não afetando o seu volume total, pois não há forças capilares expressivas nos pontos de contato entre as partículas.

3.1.6 – Materiais pulverulentos

Conforme a NBR 7211 (ABNT, 2003c) são considerado materiais pulverulentos as partículas que passam pela peneira ABNT de 75 µm de abertura.

A presença dos materiais pulverulentos aderidos ao grão ou solto entre as partículas, acima de um determinado valor, é prejudicial à qualidade da argamassa. Por ser um material de alta superfície específica absorve mais água, influenciando na trabalhabilidade da argamassa. Aderido, dificulta a aderência entre a partícula e a pasta de cimento, prejudicando o desempenho mecânico da argamassa.

No seixo rolado, a origem dos materiais pulverulentos pode ser a argila e silte. No agregado obtido por britamento de rocha, os materiais pulverulentos são originados de seu próprio britamento, se não houver um sistema de lavagem no processo de britagem.

Esses materiais pulverulentos podem ser tolerados em quantidade maior em relação à argila e silte. O teor máximo de materiais pulverulentos, estabelecido pela NBR 7211 (ABNT, 2003c), varia conforme a Tabela 3.1.

Tabela 3.1 – Materiais pulverulentos presentes nos agregados – NBR 7211 (ABNT, 2003c).

Especificação	Aplicação	Origem do agregado	Teor máximo de materiais finos (%)
NBR 7211 (ABNT, 2003).	Concreto submetido à abrasão	Areia de rio	3
		Areia artificial	13
	Demais concretos	Areia de rio	5
		Areia artificial	17

Não existe objeção quanto ao uso do agregado com materiais pulverulentos presentes desde que não haja atividade química. Entretanto, a sua quantidade presente na massa total do agregado deve ser controlada, pois devido à sua finura requer uma quantidade maior de água para a mesma característica de argamassa ou concreto (NEVILLE, 1997).

Os materiais com dimensão das partículas inferiores a 75 μm contribuem para a plasticidade das argamassas, independentes de serem do aglomerante, de adição plastificante ou do agregado miúdo (MIRANDA e SELMO, 1999).

3.1.7 Composição granulométrica

Composição granulométrica ou granulometria é a distribuição dos diferentes tamanhos de grãos que compõem o agregado, expressa em porcentagem do material retido acumulado, ou material passante acumulado em cada peneira. A granulometria do agregado é realizada utilizando-se as peneiras normalizadas pela NBR 7211 (ABNT, 2003c).

No Brasil a especificação NBR 7211 (ABNT, 2003c) estabelece quatro faixas granulométricas para o agregado miúdo, classificando-as em “muito fina” (zona 1); “fina” (zona 2); “média” (zona 3); e “grossa” (zona 4). As faixas granulométricas podem ser observadas na Figura 3.5.

A granulometria do agregado é um dado importante na tecnologia da argamassa, pois ela interfere na sua qualidade e no seu custo. Areia de granulometria grossa produz argamassa e concreto de superfície áspera e de difícil trabalhabilidade. A areia muito fina necessita mais água para o mesmo traço e trabalhabilidade. O empacotamento denso do agregado, isto é, com menor número de vazios, será mais econômico pois irá requerer mínima quantidade de pasta de cimento.

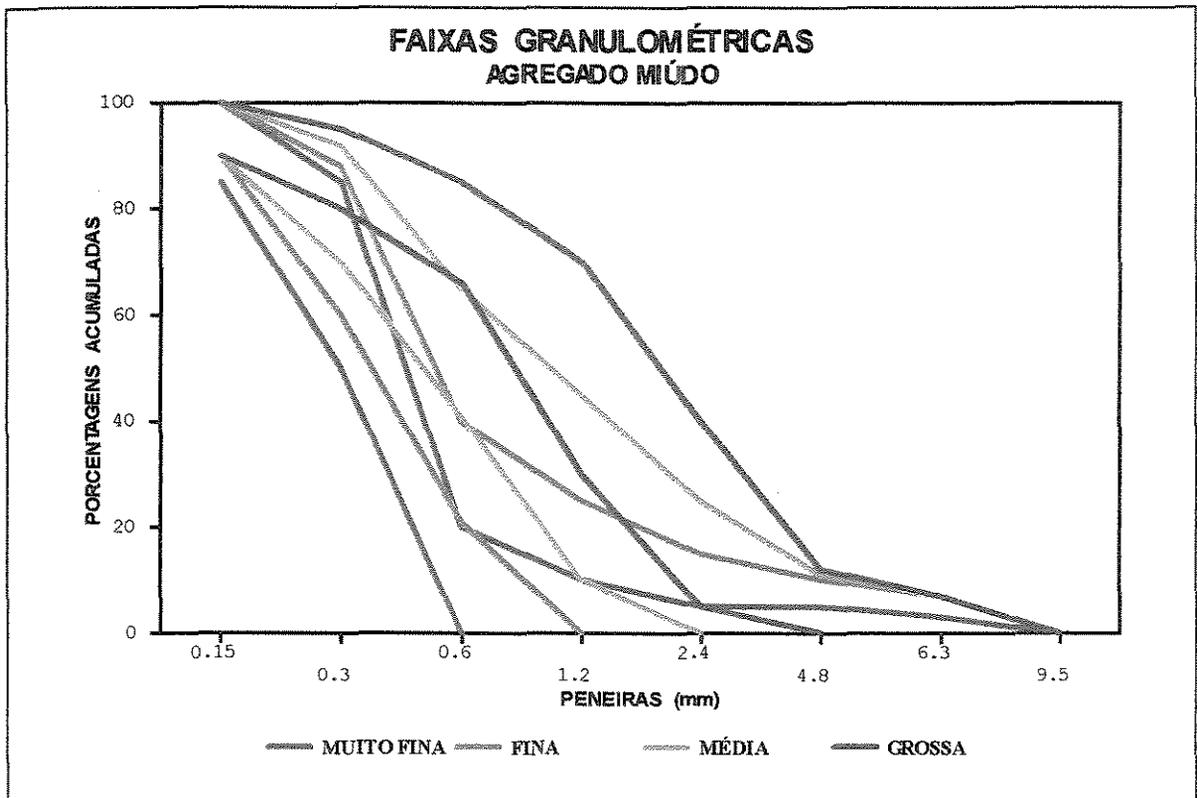


Figura 3.5 – Limites granulométricos da especificação NBR 7211 (ABNT, 2003c).

No Brasil, por exemplo, pela extensão continental, observam-se agregados de várias origens mineralógicas como granito, gnaiss, basalto, calcário, seixo rolado, laterita, etc, na produção de agregado graúdo, e de agregado miúdo extraído de leitos de rios e de jazidas diferentes, cada uma com composições granulométricas diferentes (VALVERDE, 2001). Desta forma, não existe uma granulometria ideal, pois as condições locais não se repetem de uma região para outra. Assim, a uniformidade da argamassa está relacionada à uniformidade da composição granulométrica da mistura e, portanto, depende da uniformidade de cada agregado individualmente (ANDRADE, 1997) (CINCOTTO, 1999).

Os aspectos físicos são importantes, mas o aspecto econômico não deve ser deixado de lado. Desta forma, não devem ser impostos limites restritos de granulometria inviabilizando a sua utilização por este aspecto.

A granulometria, ou a distribuição dos diferentes tamanhos dos grãos de um agregado pode apresentar agregado com granulometria contínua, descontínua ou uniforme. A Figura 3.6 ilustra as três formas granulométricas de um agregado e suas respectivas variações de volumes de vazios.

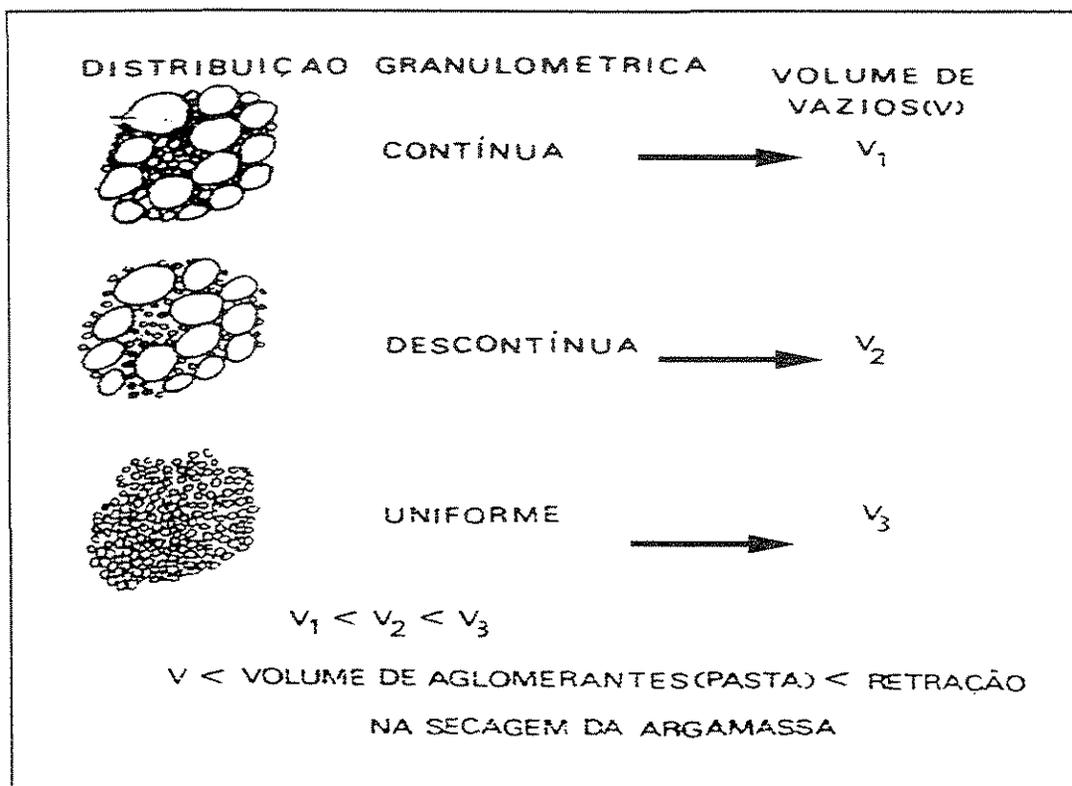


Figura 3.6-Ilustração da forma de distribuição granulométrica e comparação das respectivas variações de volumes de vazios (SELMO, 1986).

Na prática, deve-se utilizar os agregados disponíveis no local ou em distâncias econômicas, e produzir boas argamassas e concretos com estudo de dosagens. Neste sentido, vários estudos foram realizados para verificar a influência da granulometria nas propriedades das argamassas (NEVILLE, 1997).

CINCOTTO e CARNEIRO (1999) compondo várias granulometrias com teores de finos passantes na peneira de 75 μm obtiveram o melhor desempenho da argamassa composta com areia de granulometria contínua, mesmo com areia que apresentava material passante na peneira ABNT de abertura de 0,150 mm.

BONIN, FEUERHARMEL e CARNEIRO (1999) calcularam o coeficiente de uniformidade nas diversas composições granulométricas utilizando a areia normal do IPT para verificar se a granulometria descontínua também poderia ser utilizada na produção de argamassa, como ocorre no concreto. Não se chegou a uma conclusão definitiva sobre as diversas granulometrias produzidas.

BONIN, KOPSHITZ e CINCOTTO (1999) estudaram a influência da granulometria na absorção capilar das argamassas de revestimento. Concluiu-se que a granulometria influenciou muito pouco na absorção capilar das argamassas.

CARNEIRO, MUNIZ e PIKANÇO (2001) estudando areias de Belém (PA) e da Ilha de Marajó, formaram amostras binárias entre essas areias produzindo diversas composições granulométricas e estudaram o comportamento das argamassas produzidas com estas areias. Concluíram que o importante não é o módulo de finura menor e sim a granulometria contínua. A granulometria contínua aumentou a massa unitária, diminuindo, portanto, o índice de vazios da areia.

A mistura de agregados de diferentes composições granulométricas, para se obter uma maior massa unitária, pode não resultar em maior compactação da mistura. Um agregado com menor massa unitária e granulometria contínua pode resultar em argamassa e concreto de melhor compactação e, em consequência, redução da relação a/c para uma mesma trabalhabilidade (CARNEIRO *et. al.*, 2002).

Do exposto acima se verifica que é necessário um estudo de dosagem de argamassa utilizando a areia disponível e avaliar o seu desempenho para a finalidade a que se destina.

3.1.8 Influência da granulometria do agregado na argamassa

As propriedades das argamassas no estado fresco e endurecido são influenciadas pela distribuição granulométrica do agregado miúdo. Assim, a granulometria influencia na argamassa no

estado fresco formando capilares entre os vazios dos grãos da areia, contribui parcialmente na retenção da água de amassamento e, se a granulometria for contínua, reduz o consumo de água de amassamento sem perder a trabalhabilidade. No estado endurecido, minimizam as tensões internas durante o endurecimento do aglomerante, reduz a permeabilidade devido à continuidade da granulometria, e contribuem parcialmente no incremento das resistências mecânicas às solicitações externas, devido ao melhor empacotamento da mistura, por consequência de uma granulometria contínua (CINCOTTO e CARNEIRO, 1999a).

A granulometria dos agregados miúdos tem influência na obtenção de uma argamassa compacta. O conjunto dos materiais constituintes, cimento, cal e areia, devem apresentar uma granulometria contínua para se obter um mínimo de vazios na argamassa endurecida, e desta forma obter uma melhora nas propriedades mecânicas. A dimensão máxima do agregado é limitada em 2,4 mm, na produção de argamassa de alguns tipos de revestimento e de assentamento de elementos de alvenaria (CINCOTTO e CARNEIRO, 1999b). Com 20 composições granulométricas de granulometria contínua, foram produzidas argamassas mistas de cimento, cal e areia, com objetivo de estudar a influência da distribuição granulométrica nas suas características no estado fresco e endurecido. Do estudo concluiu-se que, determinando a continuidade da distribuição granulométrica, e impondo uma fração de finos abaixo da peneira ABNT com abertura de 0,150 mm, obtêm-se argamassas com menor consumo de água para mesma trabalhabilidade, menor consumo de aglomerante, maior índice de retenção de consistência, maior massa específica e índice de vazios, maior resistência mecânica e módulo de elasticidade. Esta argamassa também apresentou aumento do índice de vazios em função do aumento da rigidez da mistura e do melhor empacotamento, maior coeficiente de capilaridade e menor taxa de variação de massa durante o endurecimento, devido à imposição da adição de finos abaixo da peneira ABNT com abertura de 0,150 mm. Neste estudo, concluiu-se também que existe uma correlação entre as características da areia, massa unitária, coeficiente de uniformidade e o perfil da distribuição granulométrica com as propriedades das argamassas (CARNEIRO e CINCOTTO, 1999).

A influência da distribuição granulométrica nas argamassas pode ser observada a partir das suas propriedades nos estados fresco e endurecido. Na argamassa no estado fresco a areia propicia a formação de vazios entre os grãos e respondem também, parcialmente, pela retenção

de água devido à aderência de película de água cobrindo as partículas da areia. A distribuição granulométrica contínua dos grãos provoca uma redução do consumo de água de amassamento para mesma trabalhabilidade. No estado endurecido, a areia ajuda a diminuir as tensões provenientes do endurecimento do aglomerante e das solicitações exteriores. Assim, a granulometria contínua da areia permite a redução da permeabilidade, por reduzir os vazios entre os grãos e contribuem para o incremento das resistências mecânicas e do módulo de elasticidade, pela melhoria do empacotamento da mistura (CARNEIRO e CINCOTTO, 1999).

Um outro estudo apresentado por BONIN, KOPSCHITZ e CINCOTTO, 1999, mostra que a granulometria do agregado teve pouca influência na absorção capilar em argamassa de mesma consistência, de traço em volume de 1:2:9, utilizando-se 4 agregados de granulometrias diferentes. A absorção capilar nas primeiras idades é dependente da relação água/cimento, sendo que até a idade de 90 dias ocorre uma diminuição do coeficiente de absorção, devido à hidratação do cimento Portland que diminui a quantidade de poros com dimensão capilar na argamassa. Entretanto, foi observado um aumento do coeficiente da absorção capilar em idades maiores que 90 dias. Foi utilizado somente o cimento CP-II-E-32, e desta forma não se pode verificar se o aumento do coeficiente de absorção capilar é devido a carbonatação do hidróxido de cálcio ou pelo início de hidratação da escória.

A exsudação da água em concreto ou argamassa é o fenômeno na qual a água tende a migrar para a superfície pelos poros capilares no estado fresco compactado ou sem compactação. Em concreto ou argamassa adensada, no caminhamento da água para a superfície é carreado também os materiais finos do agregado e aglomerante, formando uma película fina que poderá influir na aderência de outro material sobre esta superfície. Em argamassa recém homogeneizada a exsudação pode provocar uma perda rápida da trabalhabilidade, sendo necessária remisturas freqüentes durante a sua aplicação, podendo também afetar as propriedades da argamassa no estado endurecido. Para minimizar a exsudação é recomendada a adição de finos, como sílica ativa em concretos ou cal em argamassa, e agregados com granulometria adequada (TRISTÃO et al, 1999).

3.1.9 O efeito dos finos nas propriedades das argamassas

Todos os materiais finos, os aglomerantes cimento e cal, os argilo-minerais presentes no saibro e outros materiais inertes, como, por exemplo, o pó de calcário e pó de granito, apresentam elevada área específica e, desta forma, influem na plasticidade das argamassas. Com o aumento de finos inertes em argamassa há uma melhora da trabalhabilidade e uma piora pelo aumento na pulverulência e da fissuração dos revestimentos. Os finos inertes em proporções inadequadas podem contribuir no aumento da fissuração do revestimento (PAES et al., 1999). Entretanto, a presença de materiais pulverulentos induz uma aceleração da hidratação do cimento através do efeito filer (BONAVETTI, 1993) (CABRERA, 1995). As partículas de materiais pulverulentos das areias artificiais podem ser consideradas como outro componente da pasta de cimento pelo seu tamanho, constituindo-se de pontos de nucleação dos produtos de hidratação do cimento. Pode ser considerado como uma adição não pozolânica, que acelera o desenvolvimento da resistência nas primeiras idades, além de contribuir para um aumento na retenção de água e melhora da plasticidade (BONAVETTI, 1993).

3.2 A areia artificial

Observa-se, nas pedreiras, a montanha de areia artificial que se acumula como resíduo da britagem da rocha na produção de agregado graúdo. Este material é considerado pelas pedreiras como um material de difícil colocação no mercado da construção civil. Tem baixo valor agregado, além de ser considerado como rejeito sem nenhum valor comercial (GONÇALVES *et al.*, 2000). A dimensão da montanha de areia artificial, denominado como pó-de-pedra pelas pedreiras, pode ser observada na Figura 3.7.

A areia artificial é o material fino gerado na cominuição de rocha para obtenção de pedra britada, geralmente utilizada na produção de concreto. Este material é denominado, genericamente, como pó de pedra ou areia artificial e, é considerado como material residual. A aplicação da areia artificial como material nobre é observado na produção de concreto asfáltico, bloco de concreto vazado para alvenaria. O material fino considerado é o material abaixo da

peneira de 4,8 mm, conforme a NBR-7211 (ABNT, 2003c). Nas pedreiras de granito, o material residual gerado varia de 10% a 40%, conforme o tipo de britagem. A geração de areia artificial, na produção da pedra britada, é estimada em 3 (três) milhões de m³ por ano (CUCHIERATO, 2000).



Figura 3.7 – Montanha de areia artificial

A argamassa produzida com areia artificial apresenta vários aspectos diferentes em relação às argamassas com areia de rio, as quais apresentam partículas mais arredondadas e textura superficial lisa. Outra diferença é o maior consumo de água das areias artificiais para diminuir o atrito interno devido à forma e à textura rugosa. Além disso, é da interface pasta-agregado que proporciona maior aderência mecânica devido à rugosidade superficial. Um dos pontos polêmicos que diferencia a areia artificial das areias de rio é o maior teor de materiais pulverulentos, e que este induz a uma aceleração da hidratação do cimento através do efeito filer (CABRERA e DONZA, 1999).

3.2.1 Forma e textura das partículas

A areia artificial de granito, geralmente, apresenta grãos angulosos com baixa esfericidade, e textura áspera. Em ensaio de apreciação petrográfica em uma amostra de granito encontraram-se as seguintes características: cor cinza médio; arredondamento dos grãos como subanguloso; grau de esfericidade baixa e superfície dos grãos rugosa (NEVES, 2001). Estas características influem na textura das argamassas, apresentando textura superficial mais áspera; entretanto, melhora a aderência do aglomerante à superfície do grão (CARASEK, CASCUDO e SCARTEZINI, 2001). Por outro lado, esta forma de grãos influi na trabalhabilidade das argamassas pela dificuldade de rolamento dos grãos na mistura.

Para melhoria da forma dos grãos, a areia artificial pode ser submetida a um beneficiamento mecânico, através do equipamento Barmac, em que os grãos entram em choque entre si, melhorando a forma de angulosa e alongada para forma mais cúbica.

A mudança da forma da areia artificial submetida ao beneficiamento mecânico pode ser observada na Figura 3.8. A foto à esquerda (a) mostra a forma dos grãos antes do beneficiamento, na qual se observam os grãos de forma alongada e angulosa. A foto à direita (b) mostra os grãos que foram submetidos ao beneficiamento, observando-se os grãos de forma mais cúbica e menos alongada.

O equipamento utilizado para esse beneficiamento é o rebitador autógeno Barmac. Este britador tem a característica de melhorar a forma das partículas, fazendo com que as partículas se choquem entre si e por abrasão que ocorre no rotor e na câmara de britagem. O material resultante já está sendo utilizado na produção de concreto, substituindo às areias de rio.

Na produção de argamassas, a utilização da areia artificial beneficiada não será vantajosa pelo custo do produto final em função deste beneficiamento. Além disso, na produção de argamassas a areia artificial com finos abaixo das peneiras ABNT de 0,150 mm e 0,075 mm é benéfica pela melhoria na reologia das argamassas.

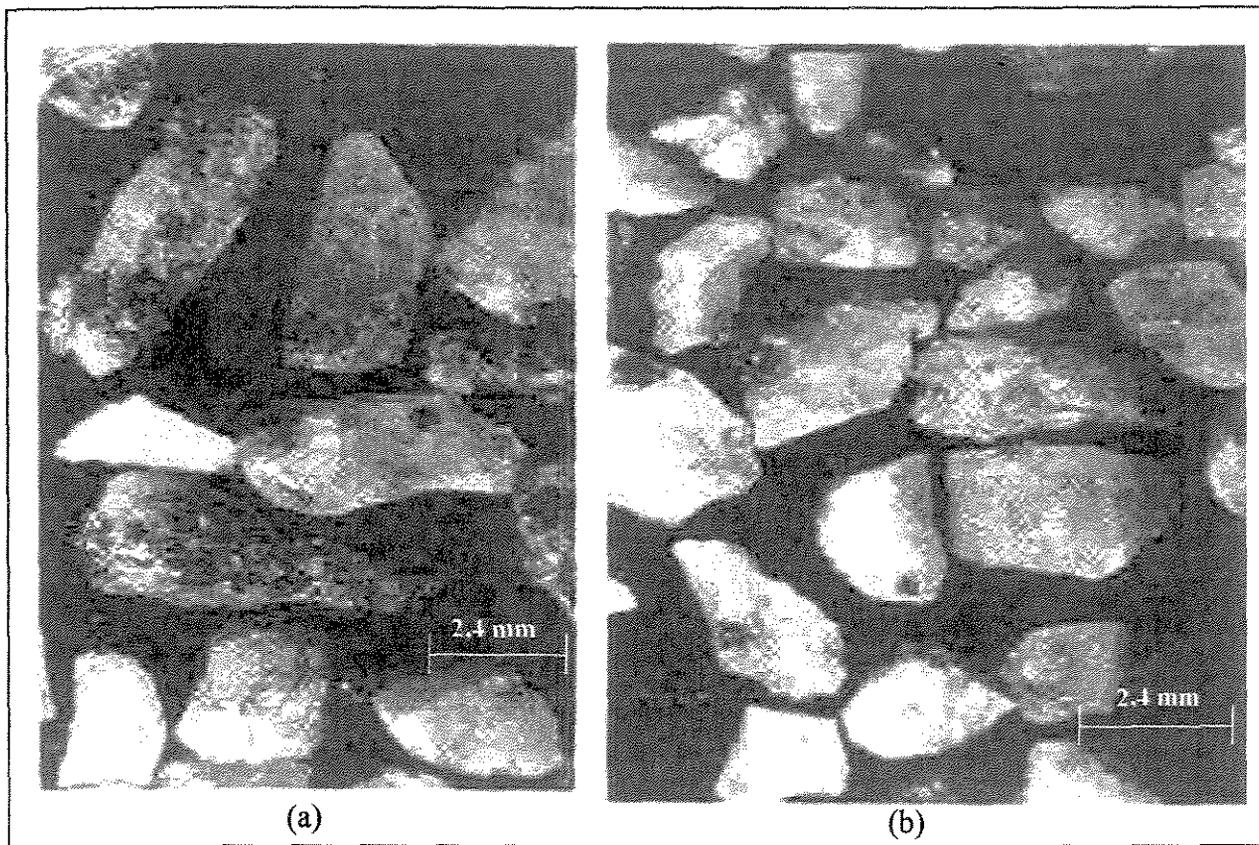


Figura 3.8. – Areia artificial antes do beneficiamento (a) e após um beneficiamento (b). Fração de partículas passantes nas peneiras ABNT com abertura de 2,4 mm e retido na peneira com abertura de 1,2 mm (GONÇALVES *et al.*, 2000).

Um esquema do beneficiamento da areia artificial pode ser observado na Figura 3.9. A areia artificial é coletada em todas as etapas do peneiramento da pedra britada, onde as mesmas são classificadas por tamanho das partículas. A areia artificial coletada na esteira é introduzida no equipamento de beneficiamento (equipamento Barmac).

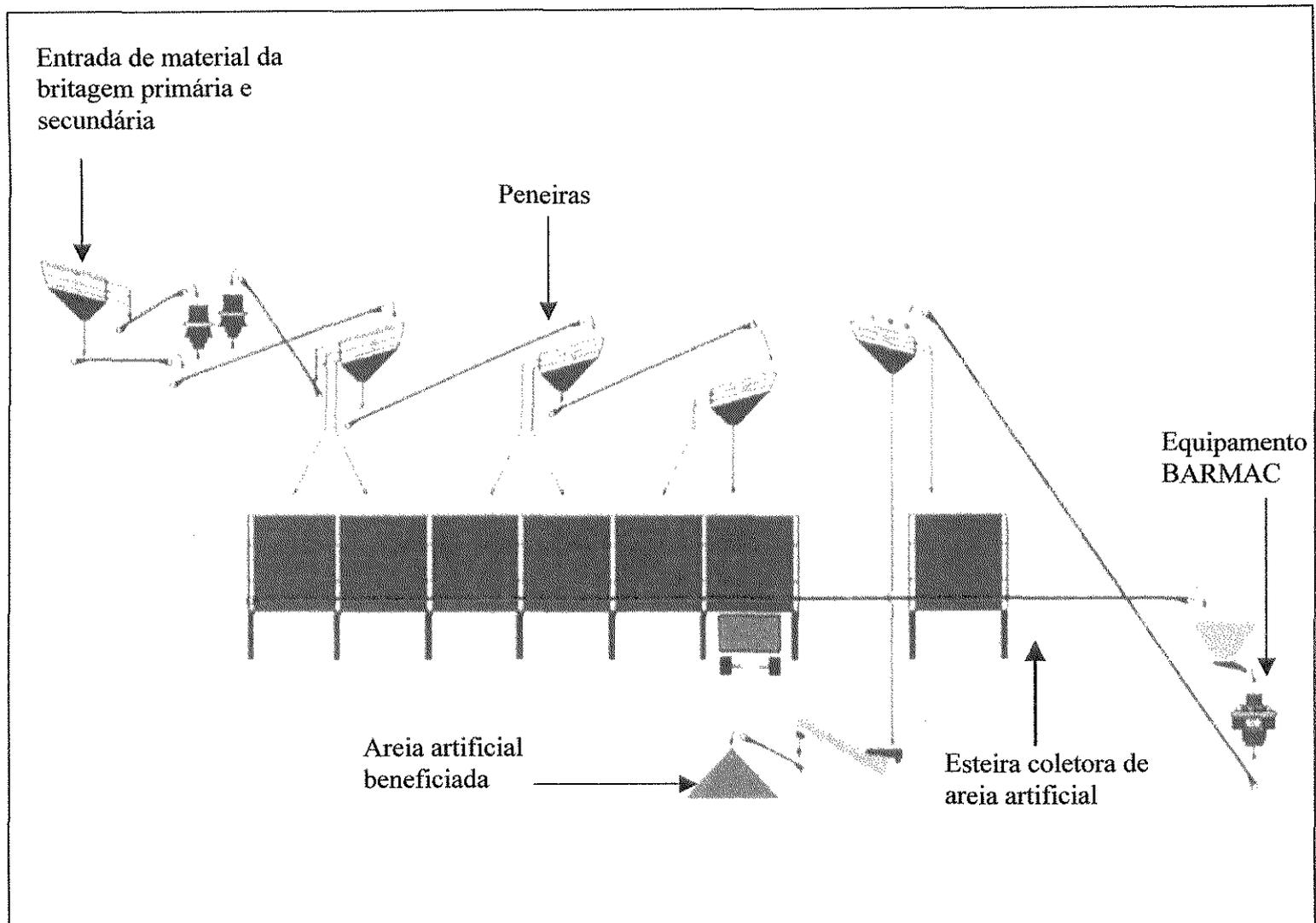


Figura 3.9 – Esquema da coleta de areia artificial para beneficiamento. (GONÇALVES *et al.* , 2000)

3.2.2 Teor de materiais pulverulentos

A areia artificial de granito tem como uma das características um teor elevado de materiais pulverulentos, chegando em torno de 20%. Estes materiais pulverulentos não são nocivos por serem originados da própria rocha durante o processo de britagem. Entretanto, a utilização desses finos em argamassas e concretos provoca um aumento do consumo de cimento devido à necessidade de adição de água para manter as mesmas trabalhabilidade e resistência mecânica, em comparação às argamassas e concretos produzidos com areia de rio. Para o concreto, este é uma desvantagem do uso da areia artificial em substituição às areias. Para superar esta desvantagem, foram desenvolvidos sistemas de lavagem e classificação, produzindo-se assim as areias de brita. Assim, a areia artificial após o processo de beneficiamento apresenta teor de materiais pulverulentos em torno de 6% (TERRA, 2001). A ABNT, na revisão da NBR 7211, (ABNT, 2003c) incluiu os materiais pulverulentos de areia artificial, limitando o seu teor máximo em 13% para concreto submetido a desgaste superficial e em 17% para concreto protegido do desgaste superficial.

A utilização de areia artificial de basalto para produção de concreto, sem o processo de lavagem para minimizar o teor de materiais pulverulentos presente, mostrou-se viável após o estudo de dosagem e com conseqüente economia na produção do concreto (SALLES, et al, 1998).

Para produção de argamassas o teor de materiais pulverulentos não é uma desvantagem, podendo ser até uma vantagem pela melhoria da trabalhabilidade e contribuindo na melhoria da porosidade da argamassa e, por conseqüência, na sua durabilidade (GRIGOLI, 2001).

A utilização de areia artificial de basalto para produção de concreto, sem o processo de lavagem para minimizar o teor de materiais pulverulentos presente, mostrou-se viável após o estudo de dosagem e com conseqüente economia na produção do concreto (SALLES, et al, 1998).

Para produção de argamassas o teor de materiais pulverulentos não é uma desvantagem, podendo ser até uma vantagem pela melhoria da trabalhabilidade e contribuindo na melhoria da porosidade da argamassa e, por consequência, na sua durabilidade (GRIGOLI, 2001).

3.2.3 Granulometria

A areia artificial ou pó-de-pedra, como é denominada nas pedreiras, não é um pó na acepção da palavra. Este pó submetido ao peneiramento apresenta granulometria de agregado miúdo na zona 3 (média).

Uma outra característica, agora positiva, é a pequena variação da sua granulometria. A areia artificial apresenta granulometria estável. A areia artificial encontra-se na faixa de granulometria média, de acordo com a faixa granulométrica da NBR 7211 (ABNT, 2003c). A manutenção da granulometria é positiva na produção de argamassas por manter constantes a trabalhabilidade e demais propriedades da argamassa produzida com este material. Geralmente agregados com granulometria contínua e classificada como média produzem argamassas trabaláveis (SABBATINI, 1986) (CARNEIRO e CINCOTTO, 1999).

A granulometria de uma amostra de areia artificial e de uma amostra de areia artificial beneficiada foi analisada. O perfil granulométrico da areia artificial, após o beneficiamento é apresentado na Figura 3.10. Nota-se que a curva de granulometria foi deslocada na proporção aproximada de 10%, para uma granulometria mais grossa.

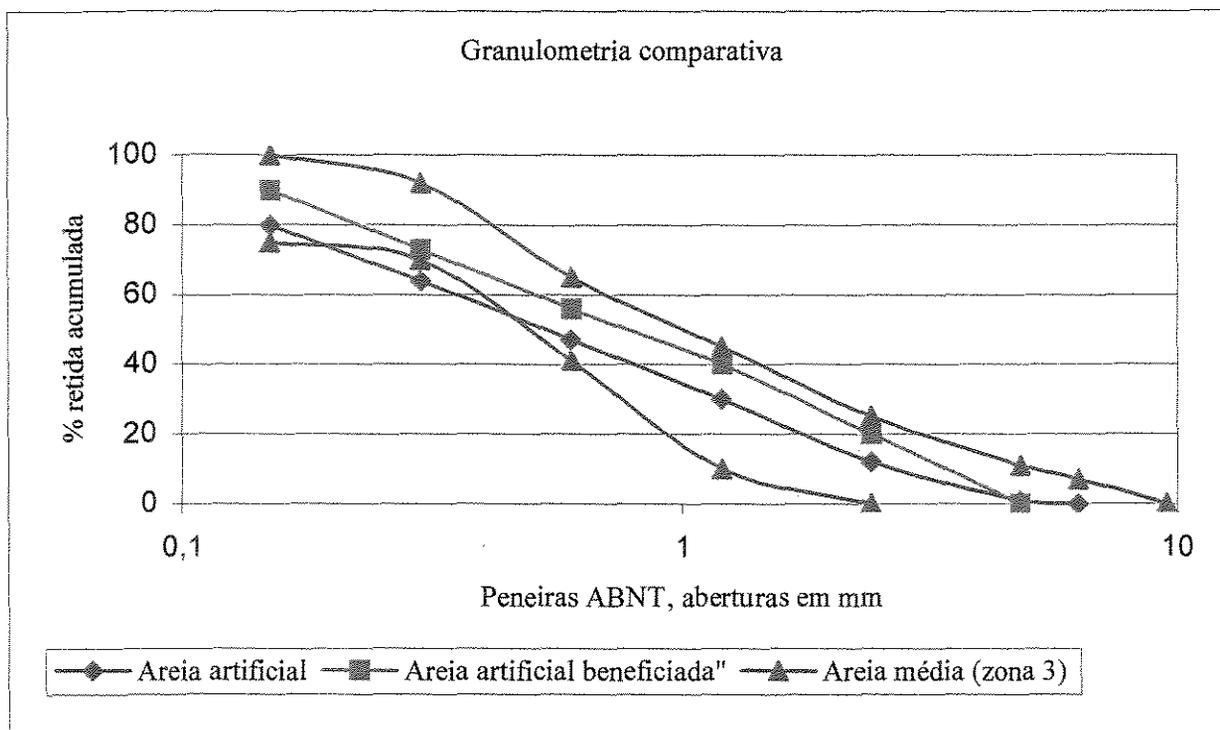


Figura 3.10 – Granulometria comparativa entre areia artificial sem e após beneficiamento.

As Figuras 3.11 a 3.15 ilustram as porções dos diferentes tamanhos dos grãos que compõem a areia artificial. Nota-se que o teor de material passante na peneira ABNT 0,150 mm é considerável podendo chegar a um teor em torno de 20%. Este material passante na peneira ABNT 0,150 mm é que irá influir na melhoria da trabalhabilidade das argamassas e da durabilidade pelo empacotamento (GRIGOLI, 2001).



FIGURA 3.11- Material passante na peneira ABNT 2,4 mm e retido na peneira ABNT 1,2 mm

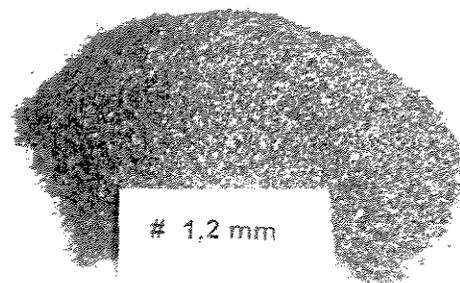


FIGURA 3.12- Material passante na peneira ABNT 1,2 mm e retido na peneira ABNT 0,600 mm



FIGURA 3.13- Material passante na peneira ABNT 0,600 mm e retido na peneira ABNT 0,300 mm.

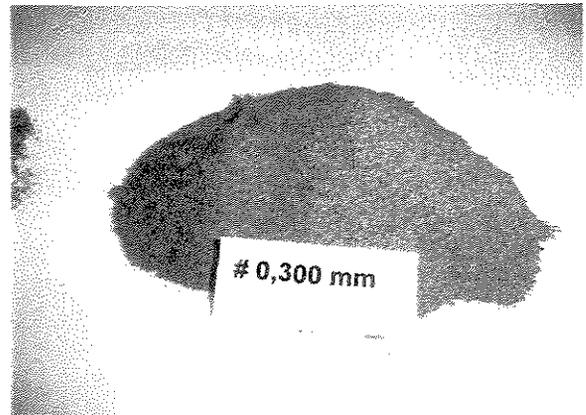


FIGURA 3.14- Material passante na peneira ABNT 0,300 mm e retido na peneira ABNT 0,150 mm.

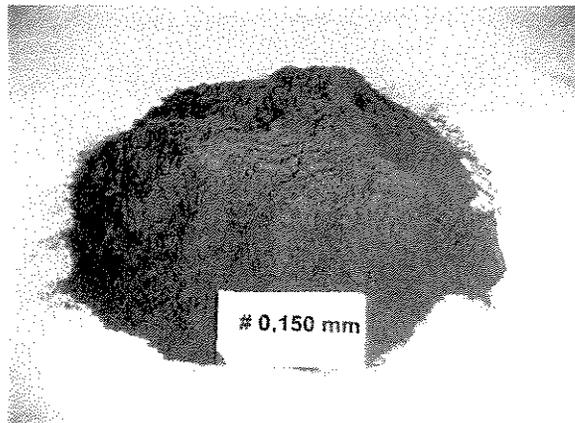


FIGURA 3.15- Material passante na peneira ABNT 0,150 mm.

3.2.4 Produção de agregados para construção civil

Segundo Valverde (2001), a produção de agregados para construção civil existe em todo Brasil. A grande maioria das empresas é de controle familiar e existe um significativo grau de informalidade. Assim, o Relatório Anual de Lavra divulgados pelo DNPM, entregue pelos produtores legalizados de areia e brita, correspondem a uma parcela pequena dos produtores existentes. Nos últimos dez anos as associações dos produtores fornecem as estimativas de produção. Atualmente a ANEPAC é a responsável pela publicação dos dados de produção de areia e brita. Na Tabela 3.2 podem ser observados os dados de produção entre os anos de 1991 a 2001 publicados pela ANEPAC (VALVERDE, 2001).

A quantidade de finos gerados na produção de brita é considerável. As pedreiras da RMSP geraram 1,2 milhões de t/ano na década de 1990 (FUJIMURA, et al. 1996). A projeção para o ano de 2004 indica uma geração de finos de brita na RMSP de 6,7 milhões de m³/ano. A produção de pedra britada por tipo de rocha apresenta a seguinte distribuição: granito e gnaiss – 85%; calcário e dolomito – 10% e basalto e diabásio – 5%. O Estado de São Paulo responde por 30% da produção nacional. Outros Estados produtores são: Minas Gerais – 12%; Rio de Janeiro – 9%; Paraná – 7%; Rio Grande do Sul – 6% e Santa Catarina – 4%. (VALVERDE, 2001). A produção de agregados indicados na Tabela 3.2 é apresentada graficamente na Figura 3.16.

Tabela 3.2 – Evolução da produção de agregados para construção civil, entre os anos de 1991 a 2001. (VALVERDE 2001 e 2003).

Evolução da produção de agregados para construção civil no Brasil de 1991 a 2001			
Anos	Agregados (m³)		
	Areia de rio	Pedra Britada	Total
1991	8.804.024	50.461.839	59.265.863
1992	50.672.750	60.689.739	111.362.489
1993	47.138.916	57.115.496	104.254.412
1994	49.523.297	60.231.776	109.755.073
1995	54.481.032	65.538.785	120.019.817
1996	99.399.160	59.990.050	159.389.210
1997	127.898.870	87.972.232	215.871.102
1998	125.219.419	91.263.583	216.483.002
1999	162.880.000(*)	93.600.000(*)	256.480.000(*)
2000	180.560.000(*)	103.800.000(*)	284.360.000(*)
2001	188.880.000(**)	108.400.000(**)	297.280.000(**)

(*) Dados revisados em 2003

(**) Previsão de volume produzido.

Fonte: ANEPAC – DNPM (VALVERDE, 2001 e VALVERDE 2003).

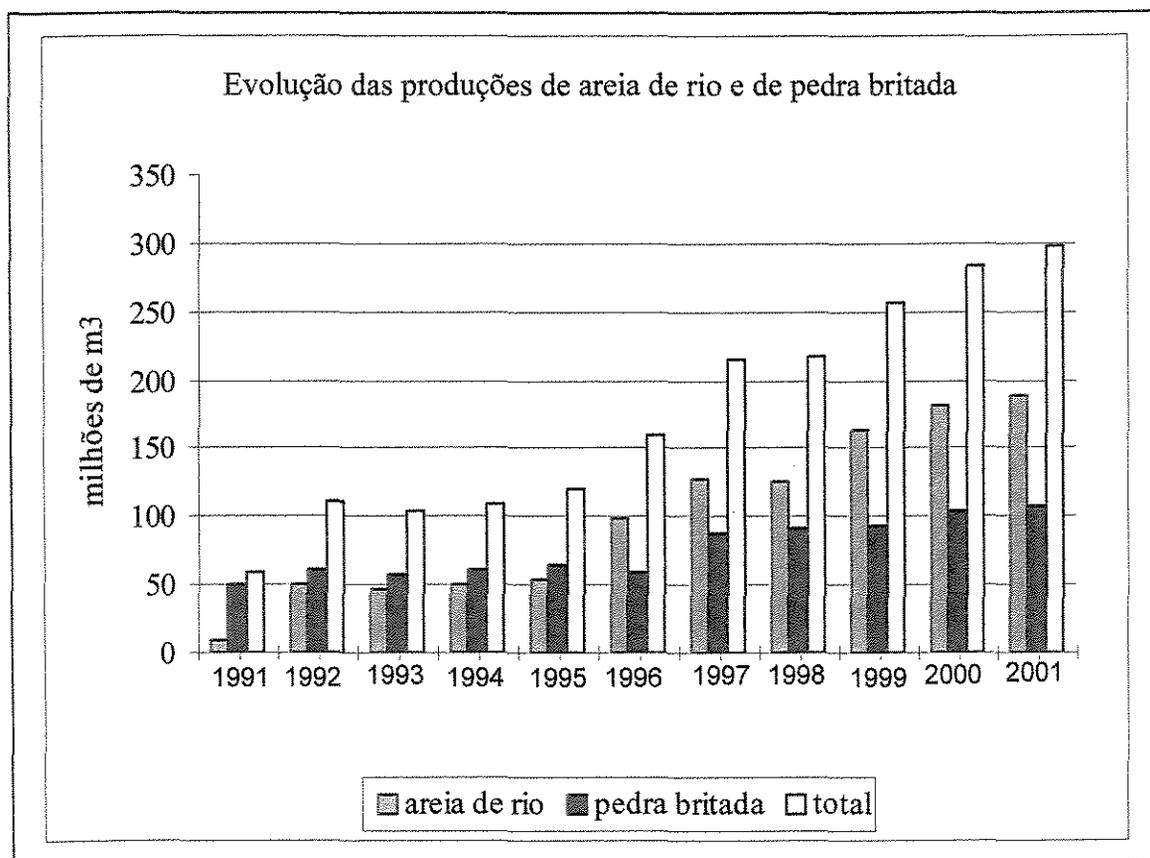


Figura 3.16 – Gráfico da evolução da produção de agregados para construção civil (ANEPAC – DNPM) (VALVERDE, 2001; VALVERDE 2003).

Segundo Valverde (ANEPAC-DNPM, 2001, p.7), “a série histórica da produção deve ser analisada com alguma reserva, por apresentar grande inconsistência, devido a um significativo grau de informalidade na produção de agregados, que ainda persiste”. Assim, os Relatórios Anuais de Lavra apresentados por produtores de areia e pedra britada legalizados ao DNPM, corresponde a uma parcela pequena dos produtores existentes. Além disso, nos dados de produção de agregados até 1995, a produção de areia para construção era somado à produção de areia industrial e às de pedra britada somada à produção de rocha ornamental. Além dos Relatórios Anuais de Lavra, foram utilizadas outras fontes como base de produção de areia e pedra britada. Utilizou-se, durante algum tempo, os documentos de arrecadação do Imposto Único sobre Minerais. Este imposto foi extinto pela nova Constituição de 1988, deixando de existir essa fonte de informação. Nos últimos dez anos, as associações de produtores de areia e pedra britada para construção fornecem os dados de produção. Atualmente, a ANEPAC faz o levantamento dos dados de produção de areia e pedra britada (VALVERDE 2003)..

4 ARGAMASSAS DE ASSENTAMENTO DE ALVENARIA ESTRUTURAL

A NBR 7200 (ABNT, 1998a) define argamassa como “a mistura íntima de aglomerantes com um agregado miúdo e água, com capacidade de endurecimento e de aderência”. As argamassas são utilizadas para diversas aplicações na construção civil, como rejuntamento para elementos de alvenaria, revestimento de alvenaria, revestimento de estrutura de concreto, execução de pisos, e até com função estrutural conhecido como argamassa armada. Tem aplicação também na execução de fundação, denominada estaca raiz, e ainda como proteção de talude, aplicado por equipamento de projeção de argamassa sob pressão, conhecido como argamassa projetada.

O agregado miúdo é a parte inerte, ou quase inerte, da argamassa, não sendo por isso, menos importante. O agregado miúdo tem a função de minimizar o efeito da alteração do volume da argamassa, além de baratear o seu custo (MEHTA e MONTEIRO, 1994). Na argamassa de cal, o agregado miúdo facilita a penetração do gás carbônico para a recarbonatação do hidróxido de cálcio, solidificando a argamassa. Os aglomerantes mais comuns utilizados são o aglomerante hidráulico (cimento Portland) e o aglomerante aéreo (cal hidratada). O agregado miúdo mais comumente utilizado é a areia quartzosa de rio ou areia de cava. Além destas podem ser adicionados solos argilosos ou solos siltosos ou somente estas como agregado miúdo. Com finalidade de conferir alguma propriedade à argamassa fresca ou endurecida, como por exemplo, a plasticidade, impermeabilidade, etc., podem ser adicionados aditivos químicos, líquidos ou em pó (CARASEK; CASCUDO e SCARTEZINI, 2001).

4.1 Alvenaria estrutural de blocos vazados de concreto

A alvenaria estrutural é construída por elementos de alvenaria pré-moldados de blocos vazados de concreto. A alvenaria estrutural também é denominada de alvenaria não armada. Preventivamente, a armadura pode ser usada para resistir a esforços que poderão vir a atuar sobre a alvenaria. A armadura não é necessária para alvenaria estrutural, pois esta apresenta desempenho estrutural equivalente quando não há esforços excepcionais e, assim, a alvenaria estrutural fica mais econômica. A armadura utilizada na alvenaria estrutural é por necessidade construtiva e não por necessidade estrutural. Com o sistema de alvenaria estrutural não armada é possível construir edifícios de até 15 andares, pois, nesta condição os esforços de vento não são significativos. Em alvenaria estrutural armada é possível construir edifícios de até 25 andares ou pavimentos (SABBATINI, 2003).

Entretanto, a qualidade da edificação em alvenaria estrutural depende da qualidade do bloco de concreto vazado produzido, entre outras, como a mão qualificada e da argamassa de assentamento. O bloco de concreto vazado estrutural precisa ser produzido em condições adequadas e com máquinas de boa qualidade. Uma das condições para que se produzam blocos de qualidade é a sua cura com vapor. A cura a vapor propicia a produção de blocos com estabilidade dimensional e mecânica e, em tempo menor, minimizando desta forma a retração por secagem (SABBATINI, 2003).

Uma outra característica do bloco de concreto vazado de concreto, no Brasil, é que a parede externa da alvenaria precisa ser revestida com argamassa ou outro tipo de impermeabilização para não permitir a entrada da água da chuva. A produção de blocos vazados de concreto impermeáveis requer outra tecnologia, como a adição de hidrorrepelentes e um sistema interno de drenagem para que a água seja expelida, como é produzido nos Estados Unidos da América (SABBATINI, 2003).

Os blocos vazados de concreto, pelas suas características geométricas, permitem a construção modulada. Assim, o projeto estrutural e a sua execução são facilitados, tornando-se um dos sistemas estruturais mais viáveis, tanto no aspecto técnico como no econômico. Na alvenaria estrutural a resistência à compressão simples é o principal parâmetro de. Desta forma, os

elementos que compõem a alvenaria e a argamassa que faz a junção entre os elementos sofrem influência desta propriedade. As argamassas de assentamento de alvenaria estrutural devem apresentar resistência mecânica adequada para o bom comportamento estrutural da alvenaria, isto é, deve apresentar boa aderência entre os elementos, distribuir uniformemente as cargas atuantes e absorver as deformações. A resistência mecânica da argamassa é pouco significativa na resistência do prisma de blocos, isto é, o aumento nas resistências das argamassas proporciona pequenos aumentos nas resistências dos prismas (CUNHA; GUIMARÃES e CARASEK, 2001).

No Brasil, a especificação das argamassas é baseada somente na sua resistência à compressão simples (STEIL et. al., 2001).

4.2 Função da argamassa no assentamento de alvenaria

Segundo SABBATINI (1986), as funções primárias da argamassa de assentamento de elementos de alvenaria são:

- I – Unir solidamente os elementos de alvenaria;
- II – Distribuir uniformemente as cargas atuantes por toda área resistente do elemento;
- III – Absorver as deformações naturais a que a alvenaria estiver sujeita;
- IV – Selar as juntas contra a penetração de água de chuva.

Complementando, a principal função da argamassa no assentamento de alvenaria está em unir os elementos de alvenaria para conferir rigidez à parede. A argamassa também tem a função de acomodar as irregularidades da superfície de assentamento do elemento, dando uniformidade ao conjunto. (CAVALHEIRO 1995).

A argamassa para cumprir as funções acima descritas deve apresentar as propriedades no estado fresco e endurecidas tais como trabalhabilidade (em termos de consistência), plasticidade e coesão, capacidade de retenção de água, capacidade de aderência, capacidade de absorver

deformações (menor módulo de elasticidade), durabilidade e resistência mecânica (SABBATINI, 1986).

4.3 Retração Hidráulica

A principal causa da retração hidráulica é identificada pela perda de água da pasta de cimento. Numa argamassa no estado fresco, logo após sua aplicação, fica exposta, geralmente, ao ambiente de umidade relativa abaixo de 100%. Uma argamassa de revestimento, por exemplo, apresenta uma grande área exposta em relação ao seu volume e a argamassa de assentamento sujeita à sucção do elemento da alvenaria. Logo após sua aplicação, a argamassa fica exposta à ação do vento e sol, estando sujeita a uma perda de água por evaporação nas primeiras horas. Em argamassas de assentamento de elementos de alvenaria, estas ficam sujeitas também à perda de água por sucção devido à porosidade do substrato. A retração em argamassa também ocorre durante o seu processo de endurecimento. Assim, a retração pode ser classificada por diversas naturezas, como a retração térmica, por carbonatação, por hidratação do cimento e autógena. (BASTOS e CINCOTTO, 2001). Segundo BASTOS e CINCOTTO (2001), a retração pode estar relacionada:

- ao estado físico da argamassa no estado fresco ou endurecido;
- quanto à natureza da retração, identificadas como retração por perda de água ou por secagem, hidratação do cimento ou química, autógena ou endógena, carbonatação e térmica;
- pelo grau de restrição (retração livre ou restringida);
- quanto à permanência da retração, podendo ser reversível ou irreversível.

Conforme a classificação das argamassas quanto à retração, apresenta-se a seguir caracterização das várias formas de retração de argamassa a base de cimento (BASTOS e CINCOTTO, 2001).

4.3.1 Quanto ao estado físico da argamassa:

a) Retração plástica

É caracterizada pela perda de água da pasta ou argamassa antes da pega do cimento. Nesta fase, os sólidos da mistura estão livres para mover-se e a diminuição de volume do sistema é igual ao volume de água perdido na secagem.

b) Retração no estado endurecido

A retração acontece após a pega do cimento. Nesta fase, a retração depende do tamanho do poro e de como a água está ligada às partes sólidas da argamassa endurecida. A formação da estrutura rígida e o aumento da resistência mecânica da argamassa com o tempo fazem com que o volume de água perdido para o meio não seja igual à diminuição do volume do sistema.

4.3.2 Quanto à natureza do fenômeno

a) Retração por perda de água

Pode ocorrer tanto na argamassa fresca quanto na endurecida. A argamassa fresca exposta ao ambiente com umidade relativa abaixo de 100% começa a perder água e a retrair-se, identificada por retração plástica. Na argamassa endurecida, a água pode estar presente de várias formas. A água livre ou capilar localiza-se nos vazios maiores da pasta ou capilares, os quais não foram preenchidos por componentes sólidos do cimento. A perda desta água não causa retração. Uma segunda forma de água presente na pasta de cimento endurecida é a água adsorvida. É encontrada retida próximo à superfície dos componentes sólidos da pasta. A sua perda é considerada a principal causa da retração por secagem. A terceira forma de água encontrada é a água interlamelar, que é encontrada retida nas camadas internas do C-S-H, e por isso, é perdida somente em ambiente de umidade relativa inferior a 11%. Uma quarta forma de água encontrada

é a água combinada, o qual faz parte dos produtos de hidratação do cimento. Esta água é perdida a temperatura acima de 100 °C.

b) Retração por hidratação do cimento ou química

Na hidratação do cimento, o volume da pasta de cimento formado é inferior à soma dos volumes absolutos do cimento anidro e da água, fenômeno este observado por Le Chatelier e conhecido como retração de Le Chatelier. Na pasta de cimento hidratada endurecida a retração de Le Chatelier é da ordem de 10%. Esta retração não se aplica às pastas em geral, na mesma ordem de grandeza, devido à estrutura da pasta conter vazios, depender da umidade relativa, da relação água/cimento inicial, do grau de hidratação e da finura do cimento.

c) Retração autógena ou endógena

É caracterizada por acontecer no interior da argamassa e gerada por si mesmo. É conhecida também como auto-secagem, isto é, a água encontrada nos capilares é consumida, hidratando a fração anidra remanescente do cimento e, assim, transformada também em água combinada. A retração autógena é a soma da retração química e retração física por depressão capilar.

d) Retração por carbonatação

A reação dos compostos hidratados do cimento com o gás carbônico do ar provoca também a retração. Esta reação de carbonatação causa, simultaneamente, aumento da massa e diminuição da pasta de cimento. A retração por carbonatação deve-se a duas causas, à perda de água da reação química de carbonatação e pela transformação do hidróxido de cálcio em carbonato de cálcio.

e) Retração térmica

Nas argamassas de revestimento, o calor de hidratação do cimento se dissipa rapidamente no meio ambiente, devido à sua pouca espessura em relação à sua área de aplicação.

A movimentação térmica acontece devido a variações da temperatura externa. A sazonalidade térmica provoca variação dimensional nos compostos a base de cimento, principalmente em elementos construtivos de grande relação superfície/volume.

4.3.3 Quanto ao grau de restrição

a) Retração livre

A retração livre é caracterizada por um elemento isolado, livre para retrair-se, não aderido a nenhuma base porosa ou elemento estrutural. Em uma argamassa, a presença de um agregado provoca restrição de retração da pasta de cimento, mas um elemento isolado desta argamassa está sujeito à retração livre.

b) Retração restringida ou retração impedida

A retração restringida ou retração impedida pode ser caracterizada por várias formas de ocorrência de retração. A retração restringida em argamassas pode acontecer pela presença do agregado na mistura, por aderência a uma base porosa e por apresentar-se entre elementos estruturais ou telas de armação e outros elementos de restrição. A restrição da retração pode provocar o aparecimento de tensões de tração na argamassa e, dependendo da intensidade combinada entre a resistência à tração e o módulo de elasticidade, pode ocorrer a fissuração. A Figura 4.1 ilustra uma mesma argamassa submetida a uma movimentação livre e outra aplicada sobre uma base não absorvente com grelha metálica impedindo a livre movimentação da argamassa.

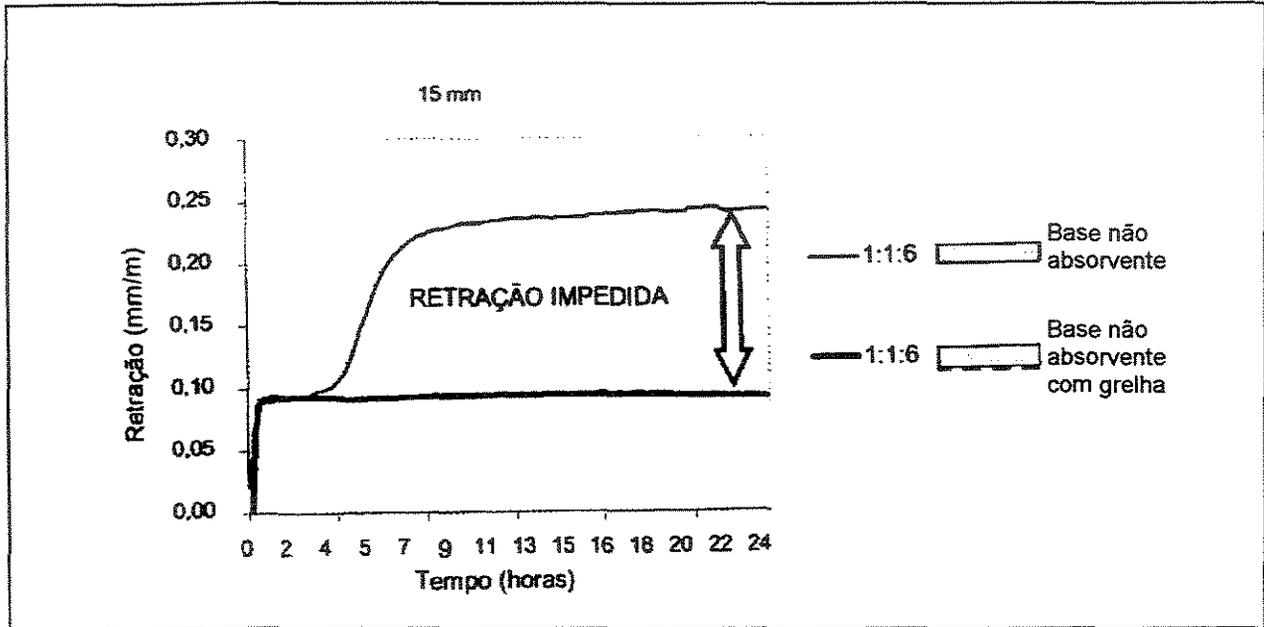


Figura 4.1- Retração impedida da argamassa de traço 1: 1: 6 (cimento: cal: areia, em volume) (BASTOS et. al., 2001 p. 75).

4.3.4 Quanto à permanência da retração

A permanência da retração está relacionada ao ciclo de molhagem e secagem dos compósitos a base de cimento. É entendido que, após a primeira secagem, a pasta de cimento não retorna às dimensões iniciais externas, se for saturada novamente. Assim, esta variação dimensional pode ser classificada pela sua reversibilidade ou irreversibilidade.

a) Retração reversível

É a parcela da retração recuperada, dimensionalmente, com a molhagem da pasta após secagem.

b) Retração irreversível

É a parcela da retração inicial que não se altera e permanece em ciclos de molhagem/secagem.

As várias formas de retrações citadas podem ocorrer simultaneamente, dependendo dos tipos de materiais, das condições de exposição das argamassas, do meio ambiente, e do tipo de aplicação. A retração é um efeito físico que indica uma deformação na estrutura da pasta de cimento, por consequência de fenômenos de diferentes naturezas, cada um contribuindo com uma parcela diferente, resultando na deformação total externa do compósito de cimento Portland (BASTOS e CINCOTTO, 2000).

A retração hidráulica é um fenômeno de contração volumétrica que ocorre em argamassas no estado fresco exposto ao ambiente com umidade relativa abaixo da saturação. Logo após a aplicação da argamassa inicia-se o processo de secagem da argamassa. A perda de água se dá pelos poros capilares que se formam. Dependendo do diâmetro do capilar, a água perdida pode ou não causar a contração volumétrica. Capilares com diâmetros maiores que 50 nm não causam contração volumétrica, mas sim os poros capilares de diâmetro menores que 50 nm, são os responsáveis pela retração por secagem (MEHTA e MONTEIRO 1994).

As condições externas também são responsáveis pela retração hidráulica da argamassa. A perda de água inicia-se pela sucção da água provocada pela base em que é aplicada a argamassa, entendendo-se que esta base possua um grau de porosidade para garantir a adesão da argamassa à sua superfície. Na seqüência, as condições climáticas como insolação, velocidade do vento e umidade relativa são as responsáveis pela perda da água de amassamento da argamassa.

As características físicas dos materiais constituintes da argamassa também influem na maior ou menor perda de água. No agregado, a característica física que se destaca é a granulometria. A granulometria mais fina terá uma capacidade maior de retenção de água na mistura, pelo aumento da área específica. Nesse sentido, a areia artificial apresenta granulometria apropriada, isto é, apresenta uma granulometria contínua e um teor de finos, abaixo da peneira ABNT de abertura de 0,150 mm da ordem de 20% a 30%, e um teor de finos abaixo da peneira

ABNT de abertura de 0,075 mm da ordem de 8% a 16%. Em uma argamassa com areia artificial, a maior retenção de água na argamassa não significou um aumento da relação água/cimento para uma mesma trabalhabilidade, em comparação com o mesmo traço com areia de rio. Assim, uma maior retenção de água na mistura pode minimizar a retração da argamassa. O aglomerante com área específica menor será preferível, pois irá exigir menos água para se obter a trabalhabilidade desejada, mas apresenta resistência mecânica menor. Portanto, um estudo de dosagem poderá indicar uma dosagem que atenda uma menor perda de água, como a medida através do ensaio de retenção de água. A adição da cal tem influência também no aumento da retenção de água da água de amassamento (BORTOLUZZO e LIBÓRIO, 1999).

A retração de argamassa aplicada sobre base não absorvente apresenta três estágios de deformações: primeira deformação, período de estabilização, e segunda deformação. O início da segunda retração acontece com a argamassa no estado endurecido (BASTOS et. al., 2002). A Figura 4.2 mostra a evolução da retração da argamassa aplicada sobre uma base não absorvente.

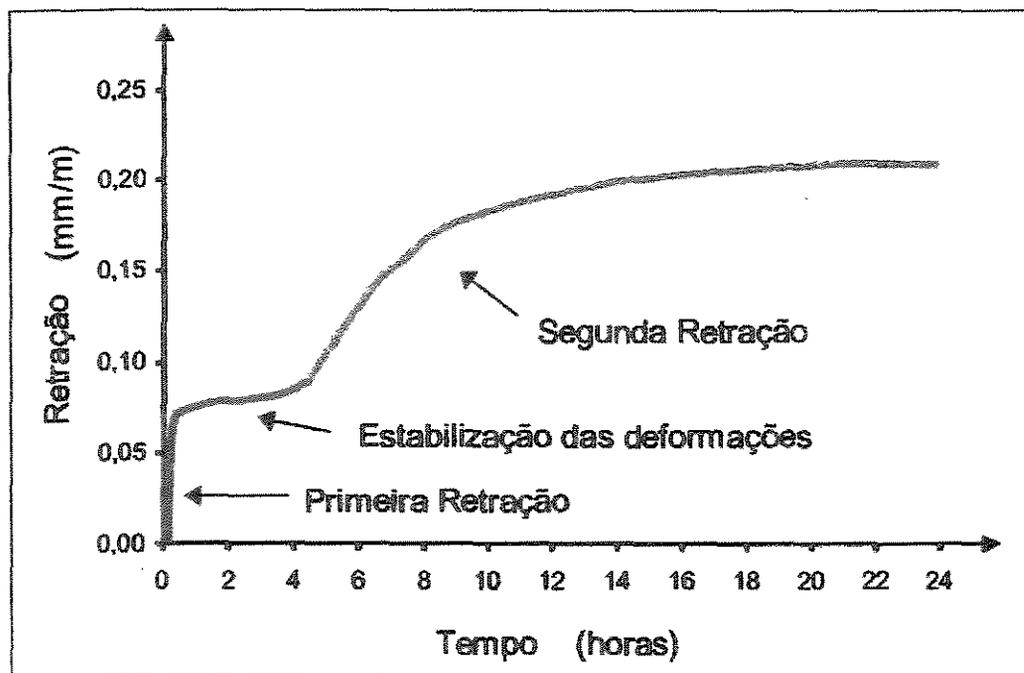


Figura 4.2 – Gráfico de evolução da retração da argamassa de traço 1: 1: 6, em volume, aplicada sobre uma base não absorvente (BASTOS et. al. 2001, p. 63)

A argamassa na situação de retração livre sofre um incremento na segunda retração com o aumento do teor de cal, como pode ser observado na Figura 4.3.

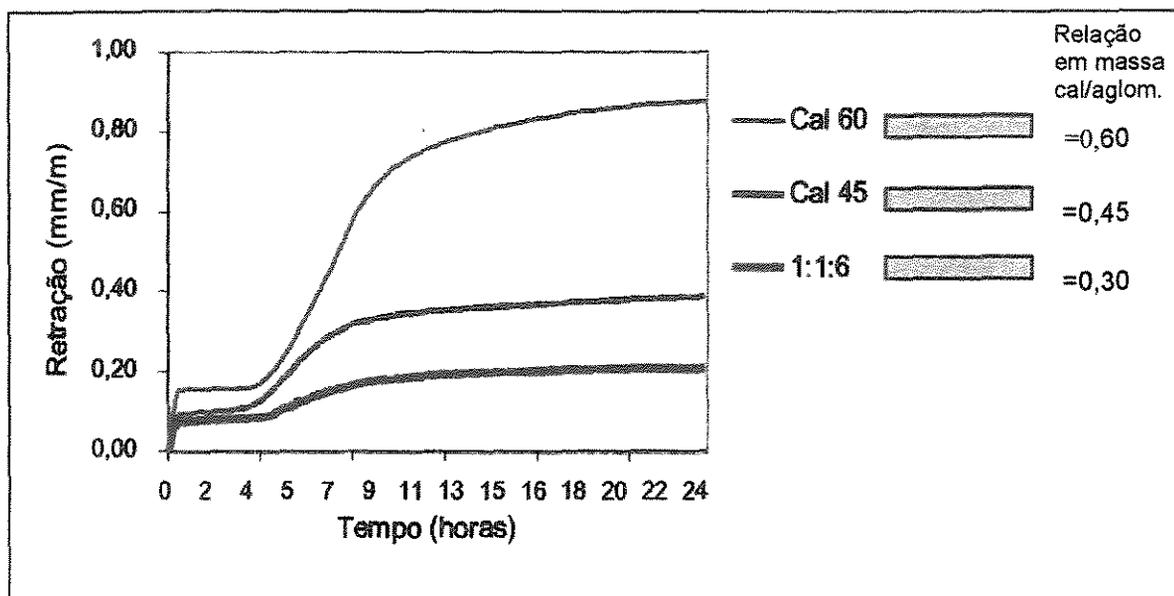


Figura 4.3 – Gráfico de evolução da retração da argamassa de traço 1: 1: 6, em volume, com aumento do teor de cal, aplicada sobre uma base não absorvente (BASTOS et. al. 2001, p. 63)

Com argamassa aderida à base não aconteceu a segunda retração. Observou-se também, que a sucção de água da argamassa aplicada sobre a superfície de bloco cerâmico, provocou um aumento da retração no estado fresco, conforme pode ser observado na Figura 4.4. Esta metodologia permite uma simulação em laboratório das condições de aplicação de argamassa na obra (BASTOS e CINCOTTO, 2001).

4.4 Aderência da Argamassa

A resistência de aderência da argamassa pode ser definida como “a capacidade que a interface bloco-argamassa possui de absorver tensões tangenciais (cisalhamento) e normais (tração) a ela, sem romper-se” (SABBATINI, 1986b, p. 4). Assim, a resistência de aderência depende da monoliticidade da parede e a resistência da alvenaria em absorver as solicitações

oriundas de deformações por retração hidráulica e dilatação térmica, das cargas perpendiculares e excêntricas atuantes, e dos esforços ortogonais à parede (cargas de vento), entre outros.

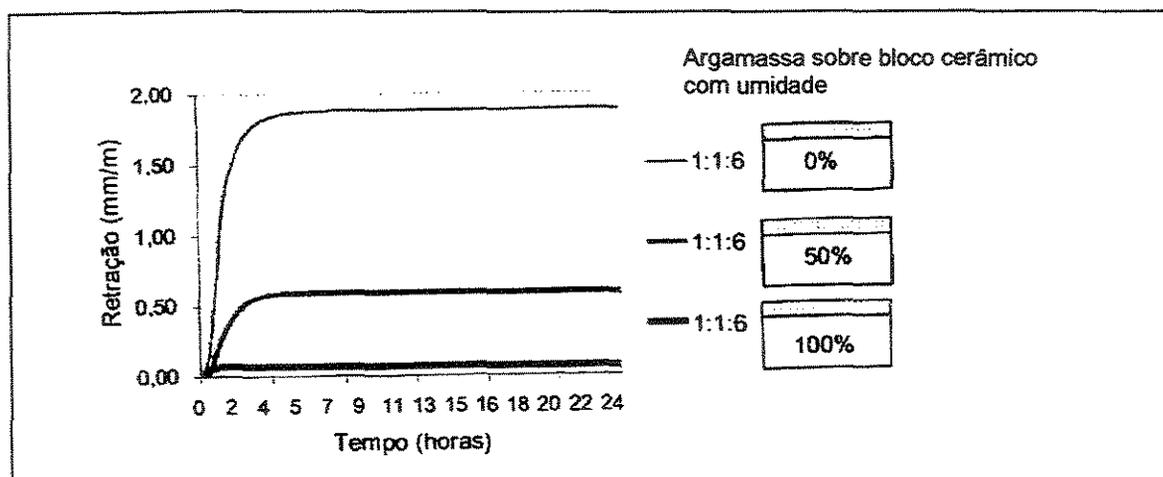


Figura 4.4 - Retração da argamassa de traço 1:1:6 (cimento:cal:areia, em volume), aplicada sobre bloco cerâmico com três teores de umidade (0%, 50% e 100%) (BASTOS et. al , 2001 p. 65).

Conceitua-se a capacidade de aderência da argamassa como a capacidade da argamassa, em contato com um substrato, apresentar determinada resistência de aderência na interface entre ambos. Desta forma, a possível maneira de se determinar a capacidade de aderência de uma argamassa é por meio de corpos-de-prova de blocos unidos com essa argamassa. Entretanto, não existe uma correspondência biunívoca entre um dado parâmetro e a capacidade de aderência. Como exemplo, aumentando-se o teor de cimento no traço da argamassa pode-se aumentar ou diminuir a sua capacidade de aderência, pois esta depende das características do substrato. Assim, na alvenaria estrutural é uma abstração quantificar a capacidade de aderência de uma argamassa de assentamento pois essa propriedade não possui sentido para a argamassa isolada, como mostra o exemplo citado (SABBATINI, 1986b).

A aderência da argamassa indica a colagem da argamassa ao substrato em toda sua extensão de contato. O substrato pode ser de alvenaria de vários elementos construtivos, e estruturas de concreto em geral. Entende-se que a aderência da argamassa é um conjunto de três propriedades mecânicas atuantes na interface argamassa-substrato: aderência de resistência à

tração, de resistência ao cisalhamento, e a extensão de aderência, isto é, a razão entre a área de contato efetivo e área de contato total.

A aderência da argamassa endurecida ao substrato é um fenômeno essencialmente mecânico, pois acontece a penetração da pasta ou da argamassa nos poros e reentrância do substrato. Com a argamassa plástica em contato com a superfície porosa do substrato, parte da água da argamassa penetra nos poros do substrato, onde acontecem os fenômenos de precipitação dos produtos da hidratação do cimento e da cal, e que, com o tempo, esses produtos da hidratação dos aglomerantes exercem a resistência de aderência entre a argamassa e o substrato. A aderência decorre do intertravamento, principalmente, de etringita (um dos produtos de hidratação do cimento) no interior dos poros do substrato. O aumento da concentração de etringita no local, resultante da mistura do cimento Portland com a água, deve-se à dissolução da gipsita que libera os íons sulfato e cálcio inicialmente, e posteriormente, os íons aluminato e cálcio pela dissolução do aluminato tricálcico do cimento. Sendo o substrato poroso, os íons em solução são transportados para o interior dos poros devido ao fenômeno da sucção e da absorção capilar. No interior dos poros são formados o trissulfoaluminato de cálcio hidratado, (a etringita). Devido ao processo mais rápido de dissolução dos íons sulfato, cálcio e aluminato e de precipitação da etringita, os poros capilares são preenchidos com esses produtos, explicando a sua abundância na interface argamassa-substrato e nos poros superficiais do substrato. (CARASEK, CASCUDO e SCARTEZINI, 2001).

O fluxo de água entre a argamassa e o substrato é encarado como a interação de dois sistemas de poros. O sistema de poros do substrato é entendido como sendo um conjunto de tubos cilíndricos (capilares) paralelos independentes, abertos, perpendiculares à superfície da argamassa, de raios constantes ao longo do tempo e inicialmente vazios. A argamassa também é entendida como um sistema de poros. A composição física da argamassa fresca apresenta grãos sólidos do aglomerante, do agregado e os espaços vazios ou intergranulares preenchidos com água. A argamassa pode ser considerada um corpo como um conjunto de tubos cilíndricos independentes, mas saturados de água e de raios variáveis com o tempo, e que vai diminuindo à medida que acontece a reação dos aglomerantes da argamassa. Esta modelagem simplificada da argamassa explica qualitativamente, o movimento da água quando a argamassa é colocada em contato com o substrato poroso e com os capilares vazios. Devido aos raios médios dos capilares

da argamassa serem maiores do que os raios dos capilares do substrato, o movimento da água acontece no sentido da argamassa para o substrato. Este movimento da água, ou a sucção é acompanhado de um aperto mecânico das partículas sólidas da argamassa provocada pela ação da depressão dos capilares, acarretando uma retração quase imediata da camada da argamassa, e uma cristalização dos produtos de hidratação consecutivos ao aumento da concentração de íons dissolvidos. O resultado desse mecanismo é uma diminuição dos raios médios dos capilares da argamassa, até tornar-se igual ao dos capilares do substrato. Quando o raio médio dos capilares se tornar inferior ao dos capilares da base, o sentido do movimento da água é invertido (CARASEK, CASCUDO e SCARTEZINI, 2001).

Gallegos (1995) indica que se faça uma distinção entre poros ativos e inativos no processo de sucção da água das argamassas. Gallegos (1995), *apud* WINSLOW e LIU (1990) distingue os poros ativos e inativos conforme as suas dimensões. Os poros da argamassa variam de 0,001 μm a 5 μm , aproximadamente. Os poros maiores que 5 μm serão inoperantes por não apresentarem força capilar suficiente para provocar a sucção da água. Desta forma, podem não contribuir para o processo de ancoragem da pasta de aglomerante no interior da base. Na argamassa, o raio médio pode ser melhorado por meio da modificação da proporção entre aglomerante / agregado e também por meio da granulometria do agregado. Portanto, pode-se aumentar o número de poros ativos de um substrato através da modificação dos raios médios dos capilares da argamassa que será aplicado sobre ele, aumentando a sua capacidade de sucção.

A areia constitui-se de grãos indeformáveis, e sua participação nas argamassas é de reduzir a retração, contribuindo para a durabilidade e para a aderência da argamassa ao substrato. A proporção da areia na mistura irá influir na resistência mecânica de modo geral, não sendo diferente na resistência de aderência, isto é aumentando-se a proporção da areia a resistência de aderência diminui. Areias de granulometria grossa produzem argamassas ásperas e pouco trabalháveis, reduzindo a extensão de aderência. Entretanto, entre as areias que produzem argamassas trabalháveis, a de granulometria mais grossa apresenta resistência de aderência maior (CARASEK, CASCUDO e SCARTEZINI, 2001).

4.5 Proporção entre cimento e cal

Uma argamassa rica em cimento geralmente produz argamassa de elevada resistência de aderência, mas podem originar fissuras, prejudicando a durabilidade. Já, as argamassas ricas em cal, apresentam argamassas com alta extensão de aderência, tanto em nível macro como em nível microscópico (CARASEK, CASCUDO e SCARTEZINI, 2001, p. 49). Como essas argamassas são mais plásticas, elas “tem uma capacidade maior de molhar a superfície e preencher as cavidades do substrato”. A observação microscópica apresenta a “microestrutura da interface com o substrato mais denso e mais contínuo, além de apresentarem menor incidência de microfissuras na interface do que a da argamassa somente de cimento”. Desta forma, as argamassas ideais para assentamento são as produzidas com cimento e cal, ou seja, argamassas mistas de cimento e cal (CARASEK; CASCUDO e SCARTEZINI, 2001, p. 49).

4.6 Características físicas e mecânicas das argamassas

Geralmente, o controle de qualidade da argamassa na obra é realizado através da resistência à compressão simples. As demais determinações são realizadas conforme as características da obra, ou seja, de acordo com as solicitações exigidas da argamassa.

4.6.1 Argamassa no estado fresco

a) Trabalhabilidade

As características reológicas das pastas e argamassas podem ser entendidas através dos fenômenos físicos que ocorrem quando são misturados o cimento e a cal com a água. As características reológicas principais a serem consideradas nas argamassas são a coesão, viscosidade e o atrito interno.

A coesão é definida como união e aglutinação. A coesão está intimamente relacionada aos materiais mais finos em função da sua superfície específica, que misturados com a água formam uma pasta que são os responsáveis pela coesão das argamassas. Assim, a coesão da argamassa pode ser alterada variando-se a área específica dos sólidos e a quantidade de água presente na mistura. A coesão interna acontece pela força de atração de Van der Waals (CALLISTER Jr, 2000).

A viscosidade é definida como a velocidade de deformação de um corpo. Nas argamassas a viscosidade está ligada à pasta e, por consequência, ao teor de água e aos agregados, que por sua vez, têm influência devido a sua origem mineralógica, dimensão máxima, forma e textura dos grãos e ao efeito lubrificante das partículas finas. A viscosidade da pasta influi diretamente na consistência da argamassa, isto é, quanto maior a viscosidade maior a consistência.

O atrito interno é função do agregado, volume da pasta intersticial e do teor de água. O agregado influi pela sua granulometria, pela forma e a textura dos grãos, pela sua distribuição interna na mistura e, principalmente, pela dimensão do grão.

A interação da coesão, viscosidade e atrito interno determinam a trabalhabilidade da argamassa (BOMBLED, 1967).

A trabalhabilidade é uma propriedade complexa. É síntese de diversas propriedades reológicas da argamassa como consistência, plasticidade, retenção de água, coesão interna, tixotropia, adesão inicial, massa específica e retenção da consistência (RILEM, 1982). A consistência pode ser associada à medida de trabalhabilidade. A trabalhabilidade é entendida, subjetivamente, como facilidade de manuseio e aplicação. Em termos de elementos que compõem uma argamassa, pode-se dizer que a trabalhabilidade melhora quando o módulo de finura diminui, mantendo-se a continuidade da granulometria, e piora quando se tem agregado de grãos angulosos. Em relação aos aglomerantes, a adição de cal melhora a trabalhabilidade, sendo necessário verificar a sua influência em outras propriedades. Quanto aos cimentos, as diferentes classes não influem, significativamente, na trabalhabilidade. Entretanto, cimentos mais finos podem produzir argamassas mais trabalháveis e com maior retenção de água. A plasticidade e

trabalhabilidade são termos subjetivos, que só podem ser avaliados por quem manuseia e aplica a argamassa, sendo a consistência uma medida de avaliar essas duas propriedades em conjunto (CINCOTTO; SILVA e CASCUDO 1995). A trabalhabilidade é uma propriedade qualitativa, sendo avaliada comparativamente e, portanto, não é absoluta, o que já é, há muito aceito, na tecnologia do concreto. A trabalhabilidade é influenciada pela continuidade da distribuição granulométrica do agregado, forma dos grãos, teor de aglomerante, adição de cal ou não. Está associada à plasticidade, retenção e exsudação de água, coesão interna, tixotropia, adesão e massa específica (CAVANI, ANTUNES e JOHN, 1997).

A trabalhabilidade da argamassa pode ser avaliada pelo índice de consistência. A consistência é a propriedade na qual a argamassa tende a resistir às deformações que lhe são impostas (RILEM, 1982). No estado plástico, a argamassa deve apresentar-se trabalhável, isto é, no manuseio da argamassa com a colher de pedreiro ela deve se manter coesa, e quando da aplicação sobre a unidade da alvenaria, a argamassa deve fluir sem aderir na colher de pedreiro, sendo de fácil espalhamento sobre a unidade (SABBATINI, 1986).

b) Plasticidade

Uma outra propriedade avaliada qualitativamente em argamassa, é a sua plasticidade. Esta propriedade consiste em que a argamassa tende a manter a sua deformação sem ruptura, após a redução do esforço que a originou (RILEM, 1982). A plasticidade é influenciada pelo teor de ar incorporado, natureza e teor de aglomerante e da intensidade da energia de mistura. A plasticidade está ligada à coesão interna da mistura, ou seja, às forças de tensão superficial dos materiais e da água de amassamento.

c) Coesão e tixotropia

A coesão da argamassa é caracterizada pelas forças de atração física existentes entre as partículas sólidas inertes e a pasta de aglomerante. A cal atua positivamente na coesão interna da argamassa, influenciando na melhoria das propriedades de consistência e trabalhabilidade (CINCOTTO; SILVA e CASCUDO 1995). A coesão é influenciada pelo teor de finos, tanto do aglomerante como do agregado miúdo (RAGO e CINCOTTO, 1997). “A tixotropia é a

propriedade pela qual um material sofre transformações isotérmicas reversíveis, do estado sólido para o estado de gel” (CINCOTTO, SILVA e CASCUDO p.22, 1995).

d) Retenção de água

A retenção de água é a propriedade da argamassa em fixar a água no meio da mistura, quando colocada em contato com bloco de alta sucção (SABBATINI, 1986). Uma das características da cal é a capacidade de retenção de água, e esta característica também é adquirida pela argamassa (CARASEK, CASCUDO e SCARTEZINI, 2001). As argamassas devem apresentar a propriedade de retenção de água na mistura para que a mantenham a trabalhabilidade requerida durante a sua aplicação, minimizando, desta forma, a exsudação. Uma argamassa deve possuir capacidade de reter água em seu meio, molhando a superfície dos grãos do agregado e do aglomerante. Portanto, a capacidade de retenção de água da argamassa está ligada à área específica de seus constituintes. A cal, além de ser um aglomerante, possui capacidade adsortiva e área específica elevada, e assim cumpre também a função de reter água na mistura (GUIMARÃES, 2002). A cal, pelas suas características físicas, apresenta boas condições de retenção de água, devido à grande capacidade adsortiva de seus cristais, adsorvendo até 100% do seu volume (SABBATINI, 1986). O uso de aditivos com características que impedem a perda de água para o componente, como os aditivos a base de celulose e os que interrompem os capilares como os incorporadores de ar, melhoram a capacidade de retenção de água das argamassas. Os aglomerantes são os responsáveis pela capacidade de retenção de água nas argamassas.

É prática usual em obra a mistura da pasta de cal com areia, em proporção definida, para maturação da cal, para hidratação dos óxidos não hidratados possivelmente existentes na cal hidratada. Esse procedimento melhora a capacidade de retenção da água na argamassa, em relação à adição da cal em pó na mistura para aplicação de imediato. A cal dolomítica apresenta resultados melhores de retenção de água em relação à cal cálcica, para mesmo traço e trabalhabilidade. O teor de cal na mistura também influi na capacidade de retenção de água na argamassa. Para tal, o teor de cal na mistura deve ser, no mínimo, na mesma proporção do cimento. Com relação ao traço, aumentando-se a relação agregado/aglomerante e mantendo a relação cal/cimento fixa, a retenção de água decresce (CINCOTTO; SILVA e CASCUDO 1995).

e) Teor de ar incorporado

O teor de ar incorporado influi na trabalhabilidade das argamassas e concretos. Em concreto é recomendado o uso de aditivo incorporador de ar em misturas com baixo consumo de cimento com finalidade de melhorar a trabalhabilidade. O aditivo incorporador de ar atua como um plastificante, e desta forma contribui para a redução da relação a/c para uma mesma trabalhabilidade. Em um estudo com argamassas mistas, foi obtida uma redução da relação a/c em 20% quando se aumentou o teor de ar incorporado de 5% para 20%. A redução da relação a/c pode compensar parcialmente a resistência mecânica quando comparada à outra argamassa sem aditivo (CAVANI, ANTUNES e JOHN, 1997).

4.6.2 Argamassa no estado endurecido

a) Resistência à compressão simples

O cimento é o responsável pelas resistências mecânicas da argamassa, pois como um dos aglomerantes da argamassa, tem a função de unir as partículas soltas, conferindo-lhe resistência. Os vários tipos e classes de cimento influem na resistência da argamassa de mesmo traço e trabalhabilidade. As argamassas somente com cal e areia apresentam pequenas resistências e evoluem de maneira lenta em função da necessidade de absorção de gás carbônico do ar e dependem da sua porosidade. As argamassas de cimento Portland apresentam uma velocidade maior no desenvolvimento da resistência mecânica. Em questão de algumas horas já apresentam alguma resistência mecânica.

A determinação da resistência à compressão simples é importante, pois ela permite medir a sua qualidade e avaliar as demais resistências mecânicas que a argamassa pode estar sujeita, simultaneamente, como tração flexão e cisalhamento. A resistência à compressão simples da argamassa não permite avaliar o real desempenho da alvenaria, mas é um bom indicativo de controle da sua uniformidade (BOLORINO e CINCOTTO, 1997).

A aplicação de dois tipos de argamassa para assentamento de bloco de alvenaria estrutural, uma de cimento e areia, no traço em volume seco de 1:3 e outra de cimento e cal, no traço em volume de 1:1:6, não influenciou significativamente na resistência de prisma oco de bloco de concreto simples. A grande diferença na resistência entre as argamassas provocou pequeno aumento de resistência nos prismas, o que já era esperado ou conhecido, pois a resistência da argamassa em pouco afeta a resistência da alvenaria. (CUNHA, GUIMARÃES e CARASEK, 2001).

b) Módulo de elasticidade de argamassas

O módulo de elasticidade da argamassa endurecida é a sua capacidade de se deformar até uma determinada tensão sem que ocorra a ruptura (fase elástica). Este conceito aplicado à fase plástica da argamassa fresca, e estando sob tensão, surgem fissuras que poderão prejudicar a aderência, estanqueidade e a durabilidade do revestimento. Esta tensão é causada pela retração de secagem da argamassa nas idades iniciais, provocadas por condições externas, como a sucção da base de aplicação e as condições climáticas, atuando isoladamente ou em conjunto (SELMO, 1989).

O módulo de elasticidade da argamassa é sua capacidade de se deformar; entretanto, se baseada unicamente no seu valor, tal propriedade pode conduzir à interpretação equivocada (CINCOTTO, SILVA e CARASEK, 1995). Com relação à capacidade de deformação da argamassa, pode-se ter as seguintes considerações GODOY e BARROS (1999):

- necessidade de um procedimento para determinação do módulo de elasticidade para argamassa;
- ensaios semelhantes realizados por vários pesquisadores por métodos não detalhados, dificulta o entendimento e como os resultados foram obtidos;
- resultados apresentados sem análise, indicando dificuldade de interpretação e do seu significado;

A capacidade de deformação da argamassa não deve ser avaliada baseando-se somente no valor do módulo de elasticidade, pois este, sozinho, não é suficiente para quantificá-la, devendo ser complementada por meio da análise do comportamento da curva tensão x deformação e da área sob a curva. Assim, nem sempre uma argamassa com maior módulo pode ser considerada com menor capacidade de deformação, e que a comparação do valor do módulo secante em qualquer tensão considerada no ensaio, não ajuda na escolha do valor do módulo para representar a argamassa em estudo (GODOY e BARROS, 1999). Em quatro dosagens de argamassa mista de cimento e cal, submetidas a três diferentes condições de umidade relativa, observou-se que os traços mais ricos em cimento apresentaram maior módulo de elasticidade e também apresentaram retração maior, indicando que argamassa com módulo maior apresenta tendência maior à fissuração (BORTOLUZZO e LIBÓRIO, 1999). Adicionando polímero de estireno-butadieno em argamassa de cimento, observou diminuição do módulo de elasticidade, ao longo do tempo, até 28 dias de idade, em corpos-de-prova cúbicos, entretanto, desenvolveu na argamassa capacidade de absorver deformações (GODOY e BARROS, 1999). A adição de cal em pequenas quantidades na argamassa de cimento dificulta a propagação de fissuras devido ao módulo de elasticidade mais baixo e, por conseqüência, aumenta a sua durabilidade. Nas argamassas de revestimento, a velocidade da perda de aderência também pode ser atribuída ao módulo de elasticidade, entre outros fatores, diminuindo a sua longevidade (JOHN, 2003).

c) Absorção por capilaridade

A durabilidade de uma argamassa ou concreto está diretamente relacionada ao comportamento da malha de poros em seu interior. Na porosidade é importante a intercomunicabilidade e a distribuição dos diâmetros e tamanhos dos poros. O material fino (filer) age como densificador ocupando os espaços vazios entre a pasta e o agregado, diminuindo a porosidade e a interligação entre os poros, influenciando na durabilidade das argamassas e concretos (GRIGOLI, 2001).

Adicionando grãos de quartzo moído em argamassa mista de cal, observou-se que a água na argamassa fresca atrai os grãos de quartzo para a região de futuros poros capilares e nas interfaces entre a pasta e agregado por força de atração, e permanecem nestas regiões dos poros. No processo de hidratação, os finos de quartzo atuam como pontos de nucleação, formando

barreiras no interior dos poros ao longo do processo de hidratação, e, assim, interrompendo a continuidade destes poros capilares, densificando a interface agregado/ pasta e, em consequência, melhorando a durabilidade da argamassa. A adição de finos inertes de quartzo moído proporcionou uma diminuição da massa de água absorvida devido à diminuição do diâmetro dos poros, ocupado pelos finos inertes e, ao contrário, um aumento da ascensão capilar de água, devido a diminuição do diâmetro dos poros provocado pela alta pressão capilar. Esta característica é típica de refinamento dos poros da argamassa, com o rompimento da continuidade destes poros. A adição de inertes finos de quartzo provocou um refinamento dos poros. Assim, os finos adicionados atuaram como um plastificante, propiciando uma melhora na plasticidade da mistura, sem aumento na quantidade de água (GRIGOLI, 2001).

4.7 Dosagem de argamassa.

Nas obras, observa-se, geralmente, que a dosagem das argamassas de revestimento ou de assentamento de alvenaria de vedação é realizada pelo mestre da obra, sem nenhum acompanhamento e conhecimento pelo engenheiro da obra. O empirismo na adoção de traços de argamassas, sua aplicação sem controle e o desconhecimento das funções da argamassa de revestimento ou de assentamento, produzem argamassas que apresentam fissuras generalizadas, pulverulência, comprometendo a qualidade, segurança e higiene da construção e do usuário (GOMES e NEVES, 2001). Devido à essa falta de entendimento tecnológico das argamassas, freqüentemente ocorrem patologias que exigem intervenções de reparos onerosos ou convivíveis.

A produção de uma argamassa que apresente desempenho satisfatório depende, fundamentalmente, da escolha dos materiais e de seu proporcionamento na mistura. Uma argamassa deve apresentar resistência adequada, trabalhabilidade e durabilidade como parâmetros que indiquem a sua qualidade. Assim, para cada finalidade da argamassa deve-se utilizar os materiais adequados, principalmente no que se diz respeito ao agregado miúdo. A definição da quantidade de agregado (a), isto é, a proporção em volume, aglomerante: agregado (1:a), para cada finalidade pode basear-se na definição do projeto ou na experiência do

construtor. Fazendo-se a seleção dos materiais e o acompanhamento adequado é possível otimizar estas proporções para cada tipo de aplicação das argamassas (LARA et al., 1995).

Nas últimas décadas houve avanço considerável no trato do concreto, tanto em relação à composição como na produção e controle. Com relação às argamassas observa-se que não apresentou a mesma evolução. Esta falta de avanço tecnológico pode ser devido, principalmente, ao desconhecimento das funções das argamassas e das características necessárias para atendimento das mesmas, isto é, resistência adequada, trabalhabilidade e durabilidade. Desta forma, a falta de entendimento tecnológico das argamassas acarreta, freqüentemente, problemas patológicos em alvenarias de vedações, necessitando de reparos onerosos, ou então conviver com o problema (LARA et. al., 1995).

Em se tratando de alvenarias estruturais, a aplicação de argamassas inadequadas pode trazer conseqüências mais danosas. No concreto a relação a/c é importante para garantir resistência e trabalhabilidade, e que caminham em sentidos opostos. No concreto pode-se substituir, parte da água por aditivo plastificante, sem alterar a trabalhabilidade, melhorando a resistência mecânica, mantendo-se o mesmo traço. Em relação às argamassas de baixa resistência a relação a/c não é tão importante, visto que a resistência à compressão simples não é a principal característica exigida, e sim a trabalhabilidade (CAVALHEIRO, 1995).

Assim, com acompanhamento adequado, seleção dos materiais, emprego de aditivos e dosagem experimental é possível otimizar estas proporções para cada situação específica (LARA, 1995). A NBR 8798 (ABNT, 1985) no item 4.1.2.2.c, dosagem experimental, recomenda que a proporção de cal em volume em relação ao cimento, não deve ultrapassar de 0,25. Em argamassas com baixo consumo de aglomerante é necessário que o teor de cal seja na mesma proporção ao teor de cimento para que a argamassa apresente a propriedade de retenção de água, pois em argamassas com grande consumo de aglomerante a retenção de água é elevada (CINCOTTO, SILVA e CASCUDO, 1995).

Não existe uma metodologia para um estudo de argamassa, assim como não existe uma metodologia única para um estudo de dosagem de concreto. No estudo de dosagem para concreto existem três parâmetros orientativos para obtenção de uma dosagem adequada, que são o teor de

argamassa na mistura, que irá orientar as proporções; a consistência do concreto que definirá a trabalhabilidade e a relação água/cimento, que definirá a dosagem a ser utilizada baseada na resistência mecânica ou durabilidade. Para argamassa, um estudo de dosagem é mais complexo pela diversidade dos materiais empregados, e pela falta de alguns parâmetros como, definir a proporção ideal entre os aglomerantes cimento e cal, a resistência mecânica (compressão simples e módulo de elasticidade) para os diferentes tipos e finalidades. Assim, o único parâmetro que pode ser definido é a consistência da argamassa devido à sua aplicabilidade para determinada finalidade.

Entretanto, Selmo (1989) apresenta outros parâmetros para a especificação e controle de dosagem de argamassas. Estes parâmetros têm como objetivo o cálculo de dosagem experimental, com vistas à especificação de argamassas e também como o controle dos traços em centrais de produção. Os parâmetros propostos são as relações (agregado + cal / cimento) e, (areia/ finos), todos em massa e materiais secos. A relação (agregado + cal / cimento) controla as propriedades mecânicas da argamassa, visto que esta relação determina a relação (água / cimento). A relação (areia/finos) controla, simultaneamente, a trabalhabilidade e a retração por secagem.

LARA et al. (1995), propõe a obtenção de dosagem baseada em um gráfico correlacionando consumo de água por m³ de argamassa e traço em massa, não mencionando como foi obtida esta correlação. Não estão definidas as consistências e resistência mecânica que a argamassa poderá apresentar, visto que a longevidade da argamassa de revestimento, por exemplo, poderá ser avaliado pelo valor do módulo de elasticidade (JOHN, 2003).

GOMES e NEVES (2002) propõem um estudo de dosagem de argamassa de cimento, em massa, contendo argilo-minerais, fixando parâmetros de teor máximo de finos, adição de argilominerais, consumo de cimento, índice de consistência, teor de ar incorporado e retenção de água. Os autores ressaltam que a metodologia proposta é válida para os tipos de materiais característicos da região onde foi realizado o estudo.

CARNEIRO e CINCOTTO (1999) apresentam um estudo de dosagem de argamassas através de curvas granulométricas. O método consiste em dosar argamassas com diversas

composições granulométricas obtidas por cálculos matemáticos, e verificar qual composição granulométrica produz argamassas com melhor desempenho no estado fresco e endurecido.

MARTINS NETO e DJANIKIAN (1999) apresentam um estudo de dosagem para argamassas produzidas em central dosadora de argamassas, com adição de aditivos retardadores e incorporadores de ar. O estudo mostra a viabilidade da produção de argamassas em centrais dosadoras, serem transportadas para as obras e aplicadas, sem perdas das características físicas no estado fresco e endurecido.

Como se observa, há divergências quanto ao método de dosagem mais adequado para as argamassas.

4.7.1 Dosagem de argamassa para alvenaria estrutural

a) Dosagem experimental

No Brasil, o Procedimento: Execução e Controle de Obras em Alvenaria Estrutural de Blocos Vazados de Concreto, NBR-8798 (ABNT, 1985), fixa os parâmetros para uma dosagem experimental. O Procedimento indica que a dosagem experimental tem por finalidade estabelecer o traço de argamassa tenham a resistência mecânica e a trabalhabilidade previstas, sendo a trabalhabilidade medida pela sua consistência.

A dosagem experimental pode ser realizada por qualquer método baseado na correlação entre as características de resistência mecânica e durabilidade da argamassa e a relação água/cimento, e que apresente trabalhabilidade desejada. Estabelece também que o teor de cal em relação ao cimento, em volume, não deve ultrapassar de 0,25. A fixação do teor de cal deve decorrer da capacidade de retenção de água necessária à hidratação do cimento e diminuição da retração da argamassa, além da obtenção de resistência mecânica e trabalhabilidade desejada e a um mínimo custo.

A resistência de dosagem (f_{aj}) é obtida pela seguinte expressão:

$$f_{aj} = f_{ak} + 1,65 \times sd \quad (4.1)$$

onde : - f_{ak} = resistência característica de projeto da argamassa;

- sd = desvio padrão de dosagem, determinado pela expressão:

$$sd = x_n \cdot s_n \quad (4.2)$$

O valor de x_n é determinado pela Tabela 4.1, conforme o número de ensaios.

Tabela 4.1 – Valor de x_n conforme o número de ensaios n .

n	< 20	20	25	30	50	200
x_n	(A)	1,35	1,30	1,25	1,20	1,10

(A) – Adotar critério dado pela Tabela 4.2.

Tabela 4.2 – Critérios para definição da tensão de dosagem, quando não se conhece o desvio padrão s_n

Assistência de tecnologista	Medida dos materiais				Determinação do teor de umidade frequente	sd a adotar (MPa)
	Cimento	Cal	Agregado	Água		
Sim	Massa	Massa	Massa	Massa ou Volume	Sim	4,0
Sim	Massa	Volume	Volume	Massa ou Volume	Sim	5,5
-	Massa	Volume	Volume	Massa ou Volume	-	7,0

Da Tabela 4.1 observa-se que é necessário no mínimo 20 ensaios para uma revisão de dosagem. Assim, a obtenção de um dosagem de argamassa deve-se iniciar adotando-se o critério

da Tabela 4.2, quando não se tem o histórico de produção de argamassa, isto é, mesmos materiais, equipamentos e pessoal.

b) Dosagem não experimental

A NBR-8798 (ABNT, 1985) estabelece que a dosagem não experimental pode ser permitida para obras de pequeno vulto, e para resistência característica do prisma (f_{pk}) de projeto, menor ou igual a 6,0 MPa para o prisma oco. A dosagem de argamassa sugerida para uso nas condições citadas é apresentada na Tabela 4.3.

Neste trabalho foi adotada a dosagem não experimental de traço em massa de 1 : 0,12 : 4,0 (cimento : cal hidratada : areia seca).

Tabela 4.3 – Dosagem não experimental da NBR-8798 (ABNT, 1985)

Dosagem	Materiais				Água
	Cimento	Cal hidratada	Agregado miúdo		
			Seco	Umidade = 5%; inchamento 25%	
Traço em massa	1,00	$\leq 0,12$	$\leq 4,0$	-	$\leq 0,80$
Em volume	1 saco (50 kg)	$\leq 10 \text{ dm}^3$	$\leq 133 \text{ dm}^3$	-	$\leq 40 \text{ dm}^3$
			-	$\leq 166 \text{ dm}^3$	$\leq 32 \text{ dm}^3$
m ³ de argamassa	$\geq 400 \text{ kg}$ $\leq 600 \text{ kg}$	$\leq 60 \text{ kg}$	$\leq 1000 \text{ dm}^3$	-	$\leq 320 \text{ dm}^3$
			-	$\leq 1250 \text{ dm}^3$	$\leq 240 \text{ dm}^3$

A NBR 8798 (ABNT, 1985) apresenta as exigências mínimas para as argamassas de assentamento de alvenaria estrutural, os quais são apresentadas na Tabela 4.4.

Tabela 4.4 – Exigências mínimas para argamassa de assentamento de alvenaria estrutural

Propriedades	Argamassa	
	Exigência	Método
Consistência	230 ± 10 mm	NBR 7215 (ABNT,1996)
Retenção de água	≥75%	NBR 13277 (ABNT,1995)
Resistência à compressão simples	≥ 9,0 MPa ou ≥ f_{akj} (*)	NBR 7215 (ABNT,1996)

(*) Resistência característica de projeto na idade j dias.

c) Dosagem da ASTM C 270-82

A American Society for Testing and Materials - ASTM apresenta a norma C 270-82, sobre argamassa para alvenaria (Mortar for Unit Masonry). Esta norma apresenta, em seu anexo, quatro traços de argamassas mistas os quais são apresentadas na Tabela 4.5 e suas propriedades específicas obtidas em laboratório (FIORITO, 1994).

A ASTM C270-82 recomenda que o agregado miúdo úmido e solto não deve ter volume menor do que 2,25 vezes nem maior do que 3,0 vezes a soma, em separado, dos volumes dos aglomerantes.

Tabela 4.5 – Traços de argamassa para alvenaria estrutural e não estrutural

Argamassa de cimento e cal, tipo	Materiais – Traço em volume		
	Cimento	Cal hidratada ou pasta de cal	Agregado miúdo, úmido e solto
M	1	1/4	2,81 a 3,75
S	1	1/4 a 1/2	De 2,81 a 3,75 até 3,38 a 4,50
N	1	1/2 a 1 1/4	De 3,38 a 4,50 até 5,06 a 6,75
O	1	1 1/4 a 2 1/2	De 5,06 a 6,75 até 7,88 a 10,50

Para converter os traços em volume para traços em massa, a norma ASTM C 270-82 sugere-se utilizar os seguintes pesos unitários:

- cimento Portland = 1505 kg/m³;
- cal hidratada = 640 kg/m³;
- pasta de cal = 1280 kg/m³;
- areia úmida e solta = 1280 kg/m³.

As propriedades das argamassas apresentadas na Tabela 4.5 são apresentadas na Tabela 4.6.

Tabela 4.6 – Propriedades especificadas para as argamassas preparadas em laboratório
ASTM C 270-82

Argamassa de cimento e cal, tipo	Resistência mínima à compressão simples (MPa) Corpo-de-prova de diâmetro de 50 x 100 mm– 28 dias	Retenção de água (%) Mínimo	Teor de ar aprisionado (%) Máximo
M	14,6	75	12
N	10,5	75	12
S	4,4	75	14
O	2,0	75	14

Com base nestas propostas para dosagem, a que deve ser utilizada deve ser baseada em dois conceitos (SABBATINI, 1986, p. 17):

1º) “A argamassa adequada é aquela que melhor compatibilize as capacidades de aderência com a de absorver deformações” e,

2º) “A avaliação correta destas capacidades da argamassa só é possível se ensaiarem corpos-de-prova bloco-argamassa”.

Assim, “não use uma argamassa mais forte do que aquela exatamente necessária para propiciar a resistência requerida para a alvenaria” (KLEIN, 1967 *apud*. SABBATINI, 1986, p. 17).

5 PROGRAMA EXPERIMENTAL

O trabalho desenvolvido apresenta as propriedades das argamassas produzidas com areia artificial comparando-se com as argamassas com areia de rio, areia de quartzo de jazida e areia normal brasileira (IPT). Para tanto, foram realizados ensaios em argamassa no estado fresco: determinação da consistência, retenção de água, teor de aprisionado e massa específica. No estado endurecido foram realizados ensaios de determinação da resistência à compressão simples, módulo de deformação, absorção por capilaridade, massa específica, retração e permeabilidade ao ar.

A seguir estão descritos os materiais e métodos de ensaios utilizados para a realização do trabalho experimental.

5.1 Materiais constituintes

Para o desenvolvimento do estudo experimental foram coletadas amostras de 7 pedreiras, situadas próximas ou dentro da Grande São Paulo. Além destas sete amostras, foram utilizadas duas amostras de areia de rio (rio Paraíba, região de Caçapava – SP), uma amostra de areia de jazida (areia de quartzo, região de Bocaina – SP) e a areia normal brasileira.

As amostras que constituíram o estudo foram as seguintes:

Amostras de nº 01 a 07 = areias artificiais de granito;

Amostras de nº 08 e 09 = areias de rio;

Amostra de nº 10 = areia normal do IPT;

Amostra de nº 11 = areia quartzosa (areia rosa).

As amostras de areias artificiais coletadas na mesma cidade são de pedreiras diferentes.

Os locais de coleta das areias artificiais estão discriminados na Tabela 5.1.

Tabela 6.1 – Localização das pedreiras de granito

Amostras nº	Locais de coleta
1	Cidade de Arujá (km 198)
2	Cidade de Arujá (km 200)
3	Cidade de São Paulo – Bairro Cachoeirinha
4	Cidade de São Paulo – Bairro Perus
5	Cidade de Mogi das Cruzes
6	Cidade de São Paulo – Bairro Pirituba
7	Cidade de Cajamar

5.1.1 Agregado miúdo

A amostragem dos agregados nas pedreiras foram realizadas conforme a NBR NM 26 (ABNT, 2001c), e a amostra de ensaio no laboratório foi preparada conforme a NBR NM 27 (ABNT, 2001d).

As amostras de areia artificial que apresentavam materiais retidos nas peneiras de 4,8 mm, acima de 10% tiveram essa fração separada na peneira de 2,4 mm. A caracterização física dos agregados foi realizada conforme os métodos a seguir:

- Determinação da composição granulométrica: método NBR-7217/1987b;
- Determinação da massa específica: método NBR-9776/1987f;

- Determinação da massa unitária: método NBR-7251/1982b;
- Determinação do teor de materiais pulverulentos: NBR-7219/1987d;
- Determinação do inchamento de agregado miúdo: método NBR –6467/1987a.

As características físicas de cada amostra encontram-se no Apêndice A.

5.1.2 Cimento Portland

O cimento Portland utilizado foi o CP-II-E-32, conforme a especificação NBR-11578 (ABNT, 1991e). O cimento foi caracterizado fisicamente conforme ensaios a seguir discriminados:

- Determinação da resistência à compressão simples: método NBR-7215 (ABNT, 1996);
- Determinação da água da pasta de consistência normal: método NBR-11580 (ABNT, 1991g);
- Determinação dos tempos de pega: método NBR-11581 (ABNT, 1991h);
- Determinação da finura por peneiramento: método NBR-11579 (ABNT, 1991f);
- Determinação da finura através do permeabilímetro Blaine: método NBR-NM-76 (ABNT, 1998b).

5.1.3 Cal hidratada

A cal hidratada empregada foi a CH-III, NBR 7175 (ABNT, 2003b). A cal hidratada foi caracterizada fisicamente conforme os métodos a seguir:

- Determinação da finura por peneiramento e lavagem: método NBR-9289 (ABNT, 2000);

- Determinação da massa unitária no estado solto: método NBR-7251 (ABNT, 1982b);
- Determinação da massa específica: método NBR-NM 23 (ABNT, 2001b);
- Determinação da estabilidade: método NBR-9205 (ABNT, 2001a).

5.2 Mistura experimental

As misturas de argamassas foram executadas no traço de 1: 0,12: 4 (cimento: cal: areia) em massa, mantendo-se a consistência, de 240 ± 10 mm. A dosagem de argamassa adotada foi à indicada na NBR 8798 (ABNT, 1985), para assentamento de blocos vazados de concreto para alvenaria estrutural. Todos os ensaios foram realizados com base em metodologias normalizadas pela ABNT, com exceção do ensaio de permeabilidade ao ar em argamassa endurecida, que foi realizado Método do Laboratório LMDC-INA/UPS de Toulouse, França.

A verificação das propriedades das argamassas com areia artificial como agregado miúdo, foram realizadas por meio de ensaios comparativos de argamassa de cimento Portland e cal. As argamassas com areia artificial foram comparadas com argamassas com areia normal do IPT e com as argamassas de areia de rio e de cava.

As comparações das propriedades foram verificadas por meio dos valores obtidos nos ensaios em argamassa no estado fresco e endurecido. Foram moldados também prismas de blocos de concreto para alvenaria estrutural com as argamassas estudadas e verificadas a propriedade da resistência à compressão simples desses prismas. As determinações da resistência à compressão simples dos prismas foram realizadas do método de ensaio NBR – 8215 (ABNT, 1983).

5.3 Propriedades das argamassas

5.3.1 Propriedades no estado fresco

Estas argamassas foram produzidas com cimento e cal no traço 1: 0,12: 4,00, em massa, indicado pela NBR 8798 (ABNT, 1985) para a situação em que não se dispõem de um traço de argamassa estudado. Na preparação da argamassa mista de cimento e cal, como indica a boa técnica na utilização da cal para produção de argamassas, e seguindo as recomendações dos pesquisadores nesta área, foi realizada a pré mistura da cal, agregado miúdo e água, visando à hidratação total da cal. A quantidade de água adicionada foi de relação água/cal de 3,306, com aspecto de argamassa seca. A proporção de cal e agregado miúdo de 0,12: 4,00 em relação a 1 do cimento em massa, representa a proporção de 1: 33,333 (cal: agregado miúdo), em massa. Esta mistura foi deixada descansar por, no mínimo 16 horas, ensacada em saco plástico e hermeticamente fechada. Após o período de descanso desta argamassa foi incorporado a esta o cimento, mantendo-se a proporção, em massa, de 1: 0,12: 4,00, e adição de água até atingir a consistência de $(240 \pm 10 \text{ mm})$. Esta consistência mostrou-se a mais indicada para a argamassa de assentamento de blocos vazados de concreto simples para alvenaria estrutural.

A homogeneização da argamassa foi realizada em misturador mecânico de argamassa, em velocidade lenta, no tempo de 4 minutos. Para cada agregado miúdo, foram produzidas quatro misturas de argamassas idênticas, sendo uma mistura para determinação das características físicas no estado fresco e três misturas para moldagem de dezoito corpos-de-prova para determinações das características físicas no estado endurecido.

A mistura da argamassa foi realizada pelo método mecânico conforme procedimento da NBR –13276 (ABNT, 1995). Com as argamassas no estado fresco foram realizados os seguintes ensaios:

- Determinação da consistência da argamassa (flow-table) - Método de Ensaio NBR – 7215 –Anexo B (ABNT, 1996);

- Determinação da densidade de massa e do teor de ar aprisionado – Método de Ensaio NBR – 13278 (ABNT, 1995e);
- Determinação da retenção de água – Método de Ensaio NBR – 13277 (ABNT, 1995d).

5.3.2 Propriedades no estado endurecido

As propriedades da argamassa endurecida foram verificadas por meio de ensaios físicos de determinação de resistência à compressão simples, módulo de deformação, absorção por capilaridade, massa específica, retração por secagem e permeabilidade ao ar. Para tal foram moldados 220 corpos-de-prova cilíndricos com dimensões de 50 mm x 100 mm e 33 prismas de 25 mm x 25 mm x 285 mm. Os corpos-de-prova foram curados no ambiente do laboratório climatizado à temperatura de 23 ± 2 °C.

a) Determinação da resistência à compressão simples

Para os ensaios de determinação da resistência à compressão foram moldados 132 corpos-de-prova. Para cada amostra de argamassa foram moldados 12 corpos-de-prova. Os ensaios foram realizados nas idades de 3, 7 e 28 dias de idade. Para cada idade foram ensaiados 4 corpos-de-prova. Os ensaios foram realizados pelo Método de Ensaio – NBR–13279 (ABNT,1995f).

b) Determinação do módulo de elasticidade

As determinações dos módulos de elasticidade foram realizados em 33 corpos-de-prova. Para cada argamassa foram realizadas 3 determinações de módulos de deformações.

A determinação do módulo de elasticidade foi realizado pelo método NBR – 8522 (ABNT, 1984b), plano I de carregamento, no qual a deformação é medida entre as cargas, inicial de 0,5 MPa e final com 30% da carga de ruptura do corpo-de-prova testemunho. As determinações do módulo de deformação foram realizadas na idade de 28 dias.

c) Determinação da absorção por capilaridade

Para o ensaio de determinação de absorção por capilaridade foram moldados 3 corpos-de-prova por amostra de argamassa. A determinação da absorção de água por capilaridade foi realizada pelo método de ensaio NBR – 9779 (ABNT, 1995a). Os ensaios iniciaram com 28 dias de idade, após a cura dos corpos-de-prova no ambiente do laboratório. Com 28 dias de idade, os corpos-de-prova foram pesados ao ar e após colocados em estufa até constância de massa. Após o resfriamento, os corpos-de-prova foram parcialmente imersos em água, até a altura de 5 mm, com a base apoiada em três pontos. As pesagens dos corpos-de-prova foram realizadas com 3, 6, 24 e 72 horas, contados a partir do momento de contato com a água. Após a pesagem de 72 horas, o corpo-de-prova foi partido ao meio, na longitudinal, para verificar a ascensão capilar de água, interna ao corpo-de-prova. Foram avaliados a ascensão capilar da umidade ao longo do corpo de prova e a absorção capilar em termos de massa de água absorvida por área de contato com a água.

Neste ensaio pode-se avaliar a absorção de água através da observação da ascensão da água ao longo da geratriz da superfície do corpo-de-prova de argamassa. Esta ascensão capilar da água pode ser observada pela mancha que esta umidade provoca no corpo-de-prova. A absorção por capilaridade é avaliada também pela quantidade de água absorvida em relação a área de contato superficial que o material esteve em contato com a água, ao longo do tempo.

d) Determinação da retração por secagem

Para determinação da retração por secagem foram moldados 3 prismas de 25 mm x 25 mm x 285 mm de cada argamassa. Nos topos do prisma é fixado um pino metálico quando da moldagem do prisma. A leitura do comprimento do prisma foi realizada por meio do relógio comparador fixado a uma estrutura metálica. Para zerar o relógio comparador foi utilizada uma barra de metal apropriada que acompanha o equipamento. O equipamento montado pode ser observado na Figura 5.1 e a medida de retração por secagem de um prisma na Figura 5.2. A determinação da retração por secagem foi realizada pelo método de ensaio NBR – 8490 (ABNT, 1984a).

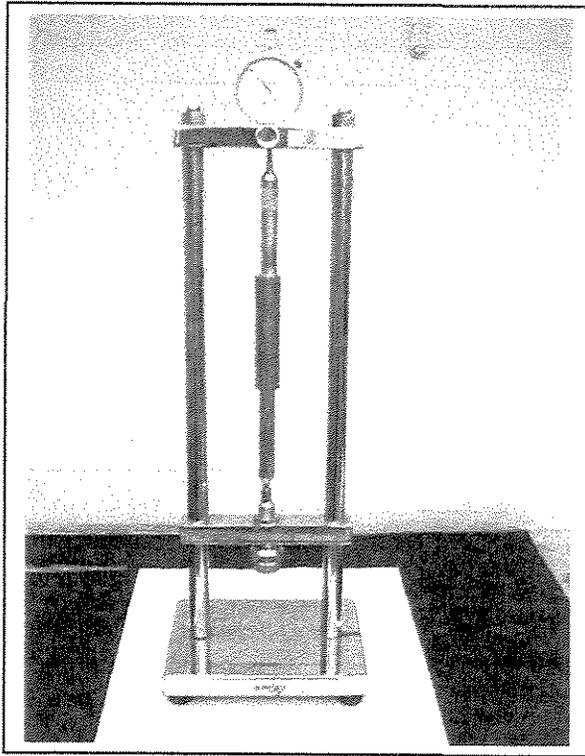


Figura 5.1 – Equipamento de medida de retração por secagem

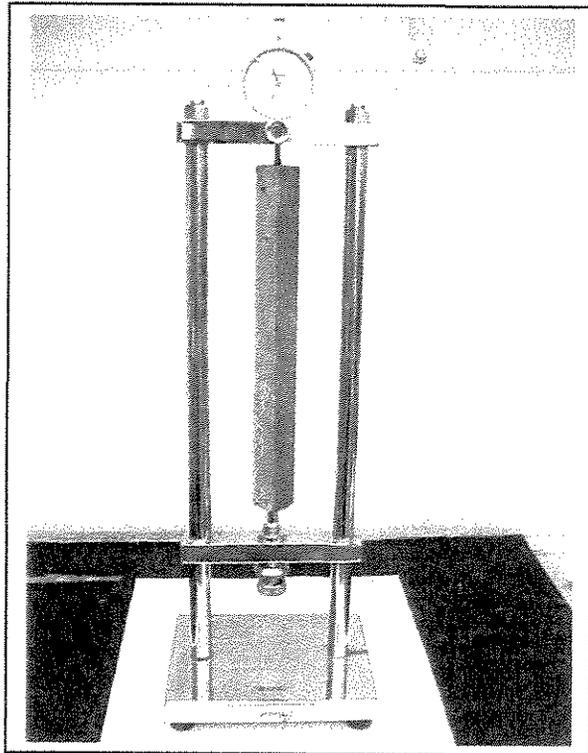


Figura 5.2 – Medida de retração por secagem de um prisma

A leitura inicial do comprimento do prisma foi realizada 24 horas após a moldagem. As leituras de retração foram realizadas com 24, 48 horas, 3, 5, 7, 14, 21 e 28 dias após a leitura inicial. Os corpos-de-prova permaneceram no ambiente de laboratório durante o período de ensaio. O ambiente do laboratório apresentava temperatura de 23 °C e umidade relativa entre 60% e 70%.

e) Permeabilidade ao ar

A determinação da permeabilidade ao ar foi realizada com o permeômetro montado no Laboratório de Estruturas e Materiais da Unicamp, (BALAYSSAC, 1992) (YSSORCHE, BIGAS, OLLIVIER, 1995); (MASSAT, 1991). O esquema do permeômetro pode ser observado na Figura 5.3.

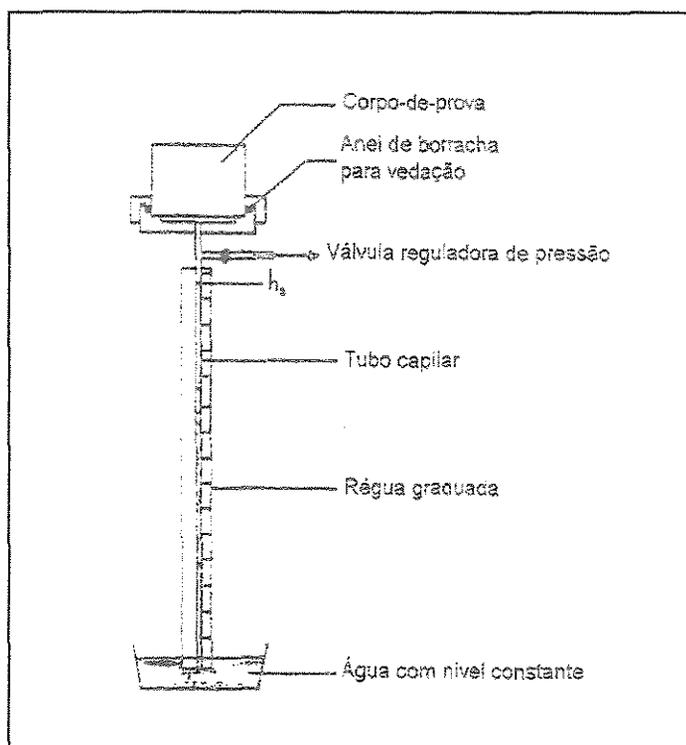


Figura 5.3 – Aparelho de permeabilidade ao ar (BALAYSSAC, 1992).

Os corpos-de-prova moldados foram curados em ambiente de laboratório. Na idade de 20 dias os corpos-de-prova foram serrados com disco diamantado. Foram eliminadas as extremidades do corpo-de-prova, deixando o mesmo com altura de, aproximadamente, 50 mm.

Após os cortes foram deixados novamente no ambiente do laboratório. Com 28 dias de idade, os corpos-de-prova foram secos em estufa a 105 °C até constância de massa. Na seqüência, a estufa foi desligada e os corpos-de-prova deixados na estufa para esfriar por 24 horas.

Com 28 dias de idade, os corpos-de-prova foram secos em estufa a 105 °C até constância de massa. Na seqüência, a estufa foi desligada e os corpos-de-prova deixados na estufa para esfriar por 24 horas. Em seguida, as laterais dos corpos foram impermeabilizadas.

Após a secagem da impermeabilização foram realizadas as determinações dos tempos descida da coluna de água. Para cada argamassa foram moldados 2 corpos-de-prova e em cada corpo-de-prova foram realizadas duas determinações de tempo. Os resultados apresentados para cada argamassa são a média de 4 determinações.

O ensaio é realizado, colocando-se o corpo-de-prova no recipiente metálico com os anéis de vedação de borracha (Figura 5.4).

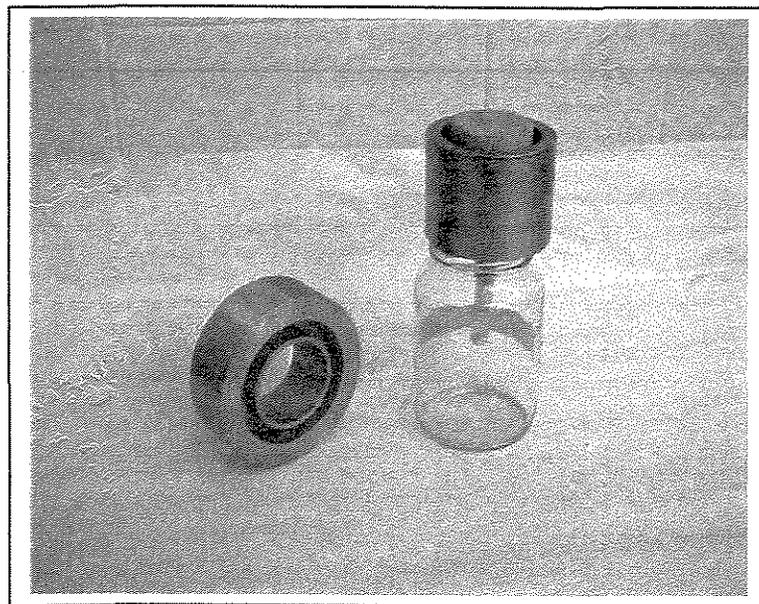


Figura 5.4 – Dispositivo metálico com anel de borracha interno.

Desta forma, garante-se que o fluxo de ar passasse somente na direção axial do corpo-de-prova. Na parte inferior do recipiente metálico existe um tubo flexível para acoplar com o tubo capilar de vidro, com diâmetro interno de 5 mm. Este tubo de vidro é provido com sistema de válvula e bomba manual de borracha. Na parte inferior do tubo de vidro é colocado o recipiente com água. Com a válvula aberta a bomba manual irá produzir um vácuo no interior do tubo fazendo com que a água suba pelo tubo até atingir o nível superior h_0 . Fechando-se a válvula, obtém-se um sistema manométrico com a água. Assim, o ar atmosférico pode passar através do corpo-de-prova de argamassa, diminuindo o nível da coluna de água e variando a pressão do permeâmetro. No ensaio mede-se o tempo de descida da coluna de água de h_0 até h .

Nesta Figura observa-se onde está acomodado o corpo-de-prova de argamassa, sobre um frasco de vidro, no qual se observa o tubo flexível de plástico para acoplar o tubo capilar de vidro. O anel metálico, ao lado do frasco de vidro com anel de borracha, é acoplado sobre o dispositivo metálico que está sobre o frasco de vidro.

O cálculo da permeabilidade ao ar foi realizado pela teoria simplificada de BALAYSSAC (1992). Pela teoria simplificada o autor não considera a compressibilidade do ar submetida a duas pressões diferentes nas faces da amostra. Assim, a lei de Darcy pode ser aplicada à espessura total da amostra ensaiada. A vazão de ar escoando pelo tubo do nível h_0 para o nível h é de

$$Q = -A \frac{k}{\mu} \cdot \rho_1 \cdot g \frac{h}{l} \quad (5.1)$$

Pode-se, também, escrever que:

$$Q = s \cdot \left(\frac{dh}{dt} \right) \quad (5.2)$$

Medindo-se o tempo de escoamento do líquido entre dois pontos h_0 e h , pode-se deduzir a permeabilidade do material por:

$$\frac{dh}{h} = -\frac{k.A}{\mu.s.l} \cdot \rho.g.dt \quad (5.3)$$

$$k_{per} = \frac{(\mu.s.l)}{(A.\gamma.g.t). \ln\left(\frac{h_0}{h_t}\right)} \quad (m^2) \quad (5.4)$$

Da equação acima vem o coeficiente permeabilidade ao ar:

Onde:

k é a permeabilidade ao ar, em (m^2);

μ é a viscosidade do ar, em (Pa.s);

s é a seção do tubo capilar, em (m^2);

l é a altura do corpo-de-prova, em (m);

A é a seção do corpo-de-prova, em (m^2);

γ é a massa específica da água, em (kg/m^3);

g é a aceleração da gravidade, em (m/s^2);

t é o tempo de medida, em (s);

$\ln(h_0/h_t)$ é igual a 1.

A relação $\ln(h_0/h_t) = 1$, conforme procedimento de ensaio. Pela dimensão do tubo adotou-se a leitura inicial a 40 cm do recipiente de água e a leitura final a 14,7 cm do recipiente de água, para que $\ln(h_0/h_t)$ fosse igual a 1. Pela teoria simplificada, a relação não se aplica desde o início do escoamento da água. No início da medição, o ar está sob pressão atmosférica, e só progressivamente o gradiente de pressão torna-se constante (YSSORCHE, 1995). Para tal, fez-se um bombeamento adicional, elevando-se o líquido manométrico a uma altura acima do h_0 estabelecido, iniciando-se a contagem do tempo quando o líquido atingia esse nível, em que o fluxo do líquido apresentava-se constante.

Para cada corpo-de-prova foram realizadas duas determinações de tempo. O coeficiente de permeabilidade de cada corpo-de-prova foi a média de duas determinações. O coeficiente de permeabilidade da amostra da argamassa é a média dos coeficientes de dois corpos-de-prova. O ambiente do laboratório apresentava temperatura de 23 °C e umidade relativa entre 60% e 70%.

5.4 Prismas ocos de bloco de concreto para alvenaria estrutural

Terminados os ensaios com os corpos-de-prova das argamassas, foram moldados prismas ocos de blocos para alvenaria estrutural com os mesmos tipos de argamassas ensaiadas. Estes ensaios tiveram como objetivo observar o comportamento da argamassa no assentamento dos blocos para alvenaria estrutural. A preparação da argamassa seguiu o mesmo procedimento utilizado para os ensaios realizados e com os mesmos materiais. Os prismas ocos de blocos de concreto para alvenaria estrutural foram moldados pelo método NBR – 8215 (ABNT, 1983b) conforme pode ser observado na Figura 5.5.

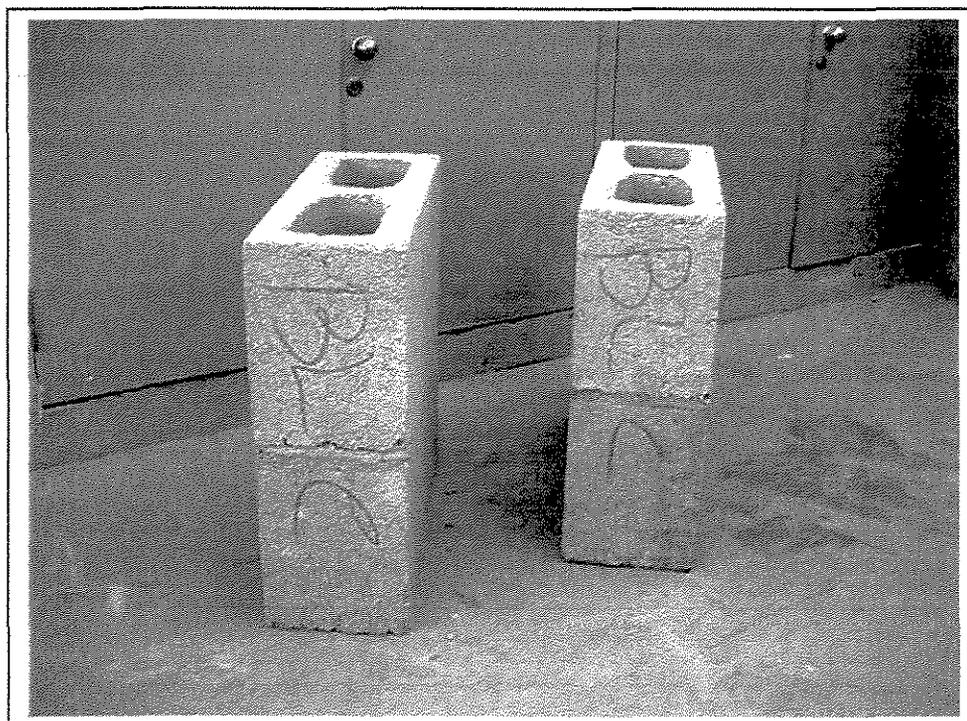


Figura 5.5 – Prismas de bloco de concreto para alvenaria estrutural

Os prismas ocós de blocos foram moldados em laboratório e deixados em seu ambiente até a data de ensaio. Os prismas ocós foram moldados com blocos de f_{bk} de 6,0 MPa, e dimensões padronizadas de 140 mm de largura, 190 mm de altura e comprimento de 390 mm, conforme NBR 6136 (ABNT, 1994). Os prismas foram montados com dois blocos unidos com as argamassas em estudo, e ensaiados na idade de 28 dias. O ensaio foi realizado conforme método NBR 8215/83b conforme pode ser observado na Figura 5.6.

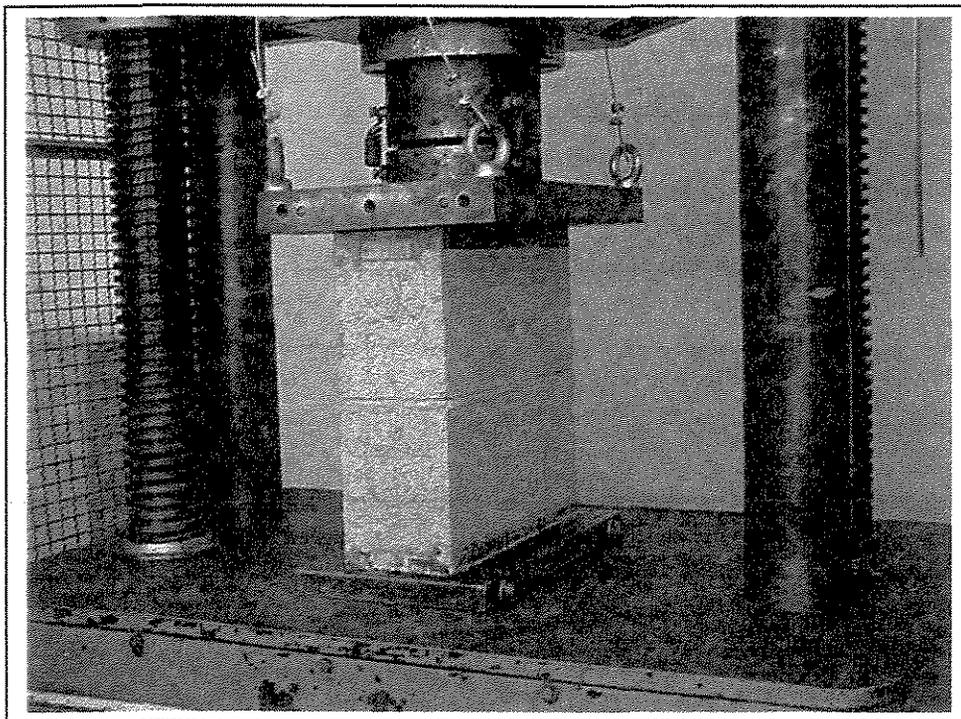


Figura 5.6 – Ensaio de Resistência à Compressão Simples em prismas de bloco de concreto para alvenaria estrutural

UNICAMP
BIBLIOTECA CENTRAL
SEÇÃO CIRCULANTE

6 RESULTADOS OBTIDOS E ANÁLISES

A seguir são apresentados os resultados dos ensaios realizados nos materiais no estudo das argamassas, das argamassas produzidas com esses materiais, e dos ensaios com prismas de bloco de concreto para alvenaria estrutural assentados com as argamassas estudadas.

6.1 Caracterização dos materiais

6.1.1 Agregados miúdos

O desenvolvimento do estudo experimental iniciou-se com os ensaios de caracterização física dos agregados miúdos.

As granulometrias das areias artificiais apresentaram material passante na peneira ABNT, com abertura de 0,150 mm, quantidades entre 20% e 30%, contrastando com as areias de rio que apresentaram quantidades bem menores, em torno de 6%. As granulometrias das areias artificiais encontram-se na faixa de areia média da especificação NBR 7211 (ABNT, 2003c), como pode ser observado na Figura 6.1.

Uma outra característica das areias artificiais é o teor elevado de materiais pulverulentos cujos valores situaram-se entre 8% e 16%, em relação às areias naturais ensaiadas que apresentaram teor de 6%. A especificação NBR 7211 (ABNT, 2003c), em revisão, limita o teor máximo de materiais pulverulentos para as areias artificiais para concreto em 17%.

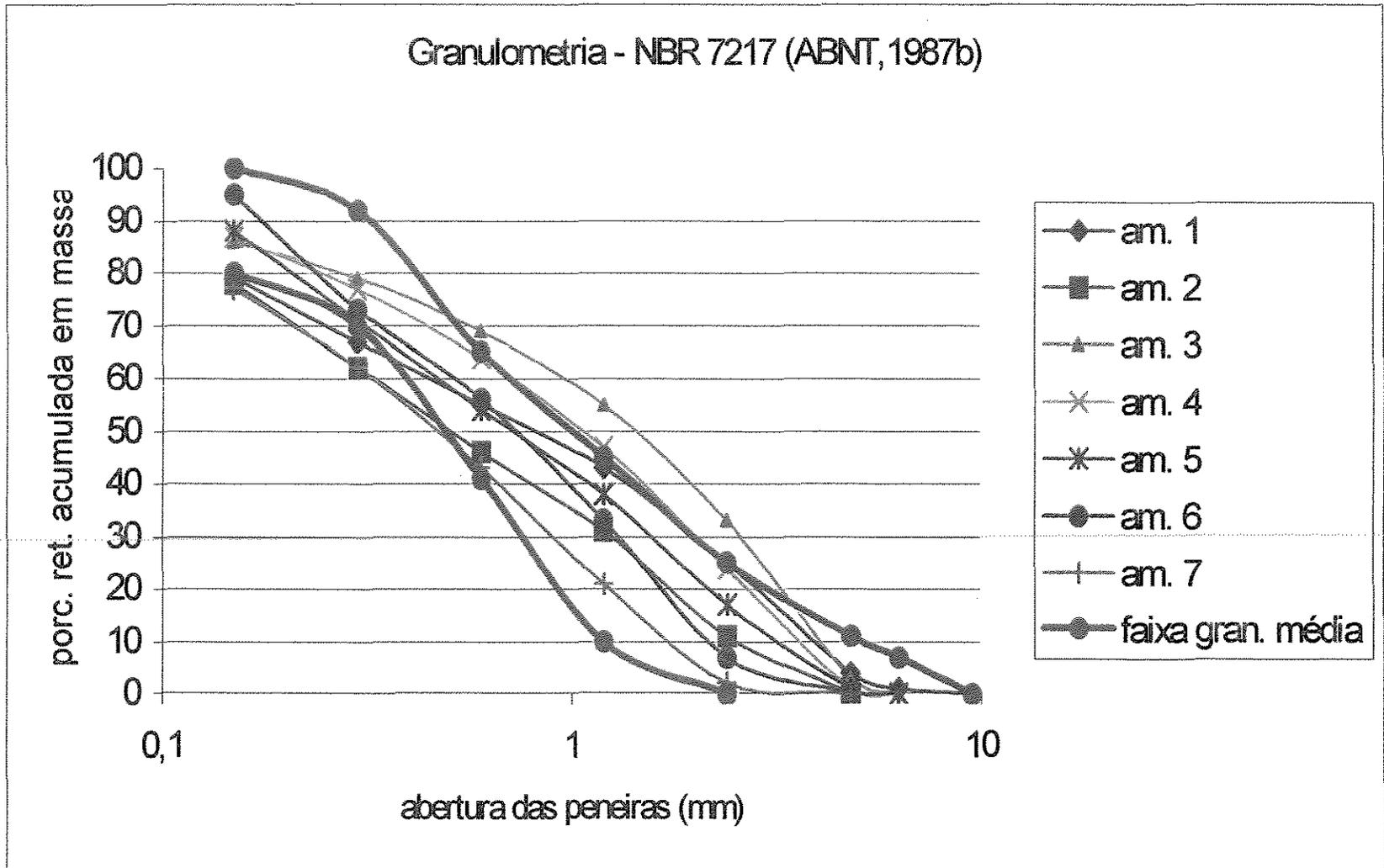


Figura 6.1 – Gráfico de granulometria das areias artificiais

A massa específica e unitária das areias artificiais são um pouco maiores do que a das areias naturais devido aos grãos menores que 0,150 mm que preenchem os vazios entre os grãos maiores.

O índice de vazios das areias ensaiadas apresentaram valores, praticamente, idênticos. O cálculo do índice de vazios é obtido pela seguinte fórmula:

$$\text{Índice de vazios} = 1 - \frac{\delta}{\gamma}, \text{ onde:} \quad (6.1)$$

δ = massa unitária do agregado no estado solto;

γ = massa específica do agregado.

Um resumo das características físicas das areias artificiais e naturais são apresentadas na Tabela 6.1.

As características físicas individuais das amostras encontram-se no Apêndice A.1.

Tabela 6.1 – Agregados miúdos – Características físicas – Resumo

Amostra n.º	Método de ensaio NBR 7217/87b									Massa Específica (γ) NBR 9776/1987f (kg/l)	Massa unitária (δ) NBR 7251/1982a (kg/l)	Material. Pulverulento NBR 7219/1987d (%)	NBR 6467/1987a		Ind. de vazios $1 - \frac{\delta}{\gamma}$
	Granulometria Peneiras ABNT (mm)							Dimensão máxima (mm)	Módulo de finura				Coeficiente de inchamento	Umidade crítica (%)	
	4,8	2,4	1,2	0,6	0,3	0,150	<0,150								
01	00	00	18	34	51	71	100	2,4	1,74	2,70	1,52	14,4	1,36	3,8	0,44
02	00	11	31	46	62	78	100	4,8	2,28	2,69	1,52	10,3	1,33	4,0	0,43
03	00	00	30	52	67	79	100	2,4	2,28	2,71	1,59	8,6	1,35	3,7	0,41
04	00	00	26	49	67	82	100	2,4	2,24	2,65	1,51	16,6	1,37	4,2	0,43
05	00	00	21	42	67	87	100	2,4	2,17	2,69	1,52	04,0	1,25	3,1	0,43
06	00	00	22	48	67	81	100	2,4	2,18	2,66	1,43	11,0	1,18	2,7	0,46
07	00	02	21	43	62	77	100	2,4	2,05	2,73	1,57	12,4	1,26	3,8	0,42
08	02	06	16	43	75	94	100	4,8	2,36	2,62	1,47	01,1	-	-	0,44
09	01	02	05	22	63	93	100	1,2	1,86	2,62	1,43	01,0	1,23	4,1	0,45
10	00	00	25	50	75	100	000	2,4	2,50	2,62	-	-	-	-	-
11	00	00	05	12	30	68	100	1,2	1,15	2,65	1,34	03,0	-	-	0,49

Amostra n.º 01 a 07 = areias artificiais de granito;

Amostra n.º 08 e 09 = areias naturais de rio;

Amostra n.º 10 = areia normal brasileira;

Amostra n.º 11 = areia natural de quartzo de cava (areia rosa)

6.1.2 Cimento Portland

O cimento Portland utilizado foi o CP-II-E-32. Suas características físicas encontram-se na Tabela 6.2 a seguir e atenderam a especificação NBR-11578 (ABNT, 1991e).

Tabela 6.2 – Cimento Portland CP-II-E -32 – Características físicas

Ensaio	Resultados obtidos			Métodos de ensaios
	03 dias	07 dias	28 dias	
Resistência à compressão simples (MPa)	M = 12,3	M = 24,5	M = 36,7	NBR 7215 /1996
	DRM = 5 %	DRM = 5 %	DRM = 4 %	
Finura por peneiramento	5,8 %			NBR 11579/1991f
Finura Blaine	3500 g / cm ²			NBR-NM-76/1998b
Expansibilidade a quente	0,0 mm			NBR 11582/1991i
Tempo de pega	Início = 03:05 h; fim = 05:00 h			NBR 11581/1991h
Massa específica	3,10 g / cm ³			NBR-NM-23/2001a

Legenda: M = média; DRM = desvio relativo máximo.

6.1.3 Cal hidratada

A cal hidratada empregada foi a CH-III, NBR 7175 (ABNT, 2003b) e suas características físicas encontram-se na Tabela 6.3. A cal utilizada não atendeu a especificação NBR 7175 (ABNT, 2003b) quanto à finura por lavagem, ficando material retido total de 24,9%. O limite máximo especificado é de 15,0%. Apesar desta cal não atender a especificação quanto a sua finura, a mesma foi empregada por ser uma cal muito utilizada no mercado. Até o ano de 2000 não havia sido implementado o sistema de inspeção controle de qualidade de produção das indústrias de cal hidratada pela Associação Brasileira dos Produtores de Cal (ABPC). Esta inspeção que ABPC realiza, visa a melhoria da produção de cal hidratada com a qualidade requerida pela especificação NBR 7175 (ABNT, 2003b).

A determinação da massa unitária da cal foi realizada adaptando-se o Método de Ensaio NBR 7251 (ABNT, 1982b), determinação da massa unitária no estado solto para agregados.

Tabela 6.3 – Cal hidratada – CH-III – Características físicas

Ensaio	Resultados obtidos	Métodos de ensaios
Finura por peneiramento e lavagem	$F_{30} = 0,05 \%$ $F_{200+30} = 24,86 \%$	NBR-9289/2000
Massa unitária no estado solto	0,84 kg/l	NBR-7251/1982b (adaptado para cal)
Massa específica	2,61 g/cm ³	NBR-NM 23/2001a
Estabilidade	Sem anomalia na superfície	NBR-9205/2001a

Legenda: F_{30} = finura na peneira ABNT 0,600 mm; F_{200+30} = finura na peneira ABNT 0,600 mm e ABNT 0,075 mm.

6.2 Resultados das propriedades da argamassa

6.2.1 Argamassa no estado fresco

Com os materiais descritos foram preparadas as argamassas no traço em massa de 1:0,12: 4,0 (cimento: cal: agregado miúdo). Para cada argamassa foi adicionada uma determinada quantidade de água necessária para se obter a consistência fixada em 240 ± 10 mm, medida na mesa de consistência (*flow-table*). Esta consistência apresentou-se com trabalhabilidade adequada para o assentamento de bloco vazado de concreto para alvenaria estrutural, ou seja, não se deformando com o peso próprio e apresentando facilidade no seu manuseio. A NBR 8798 (ABNT, 1985) indica uma consistência mínima de 230 ± 10 mm, a qual proporcionou para as argamassas deste estudo uma argamassa de consistência de difícil manuseio,.

A seguir apresenta-se a análise dos resultados obtidos em argamassas de cimento, cal e areia artificial no estado fresco comparadas às argamassas de areia de rio, de quartzo e areia normal brasileira.

a) Consistência da argamassa

As argamassas ensaiadas para assentamento de blocos de concreto simples para alvenaria, tiveram suas consistências fixadas em 240 ± 10 mm, os quais apresentaram-se

apropriadas para esta finalidade, não se deformando com o seu peso próprio e com facilidade no seu manuseio. A consistência da argamassa apresentou-se adequada para assentamento de blocos de concreto para alvenaria estrutural, não se apresentando rígida a ponto de dificultar a sua aplicação sobre a parede do bloco e nem muito plástica que com o peso do bloco transbordasse para fora do bloco. Os resultados obtidos em argamassa no estado fresco são apresentados na Tabela 6.4.

Tabela 6.4 – Resultados obtidos na argamassa fresca - Características físicas

Argamassa n.º	Traço em massa(*)	Ensaio			
		Consistência NBR 7215/1996 média (mm)	Retenção de água NBR 13277/19 95d (%)	Teor de ar aprisionado NBR 13278/1995e (%)	Massa específica NBR 13278/1995e (g/ cm ³)
01	1:0,12:4,00:0,97	250	88	3,24	2,09
02	1:0,12:4,00:1,04	239	89	0,47	2,12
03	1:0,12:4,00:0,69	232	89	5,79	2,16
04	1:0,12:4,00:0,85	248	88	4,89	2,08
05	1:0,12:4,00:0,76	234	85	8,36	2,06
06	1:0,12:4,00:0,83	242	91	4,08	2,11
07	1:0,12:4,00:0,78	242	88	5,32	2,14
08	1:0,12:4,00:0,64	241	89	9,86	2,05
09	1:0,12:4,00:0,85	245	88	10,05	2,04
10	1:0,12:4,00:0,80	241	86	6,32	2,06
11	1:0,12:4,00:0,85	252	87	9,50	2,00

(*) cimento: cal hidratada: agregado miúdo: água.

A Figura 6.2 ilustra as variações das consistências das argamassas produzidas dentro do limite estabelecido de 240 ± 10 mm.

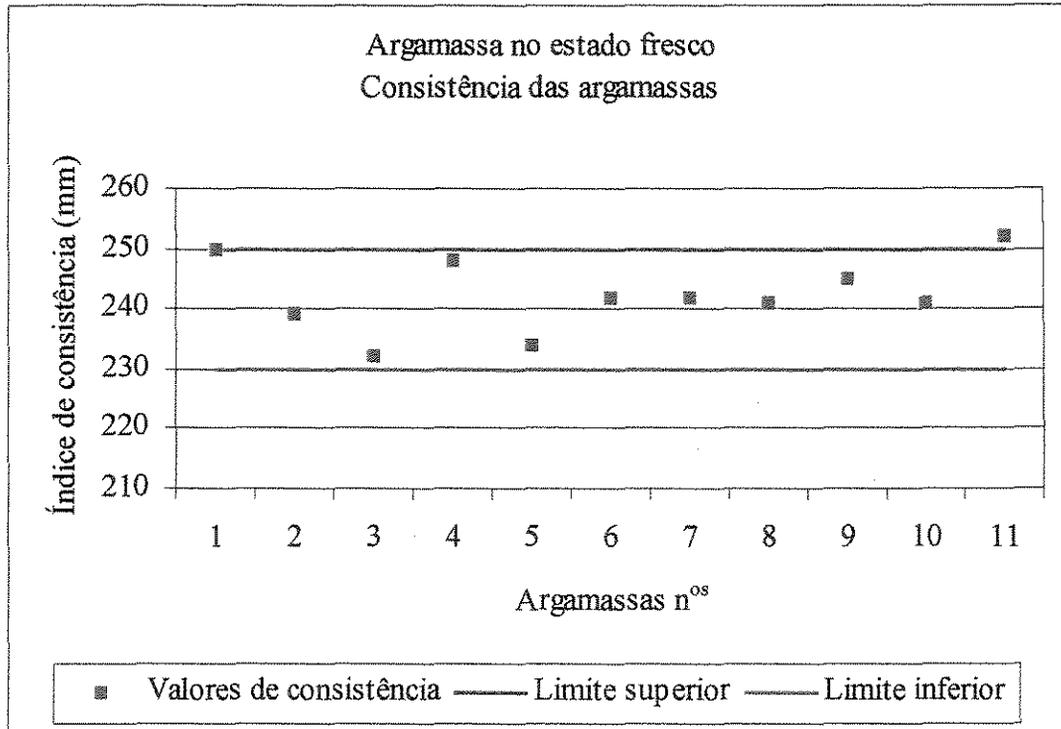


Figura 6.2 – Variações das consistências das argamassas dentro do limite de 240 ± 10 mm estabelecido no Programa de Ensaio.

b) Retenção de água

Todas as argamassas apresentaram retenções de água acima de 75%, apresentando pequenas variações entre elas de 85% a 91%, indicando que a cal pode estar atuando nesta propriedade importante em argamassas para assentamento de elementos de alvenaria. A NBR 8798 (ABNT, 1985) indica um valor mínimo de 75% de retenção de água para argamassas para assentamento de blocos de concreto para alvenaria. A Figura 6.3 ilustra os valores de retenção de água das argamassas produzidas.

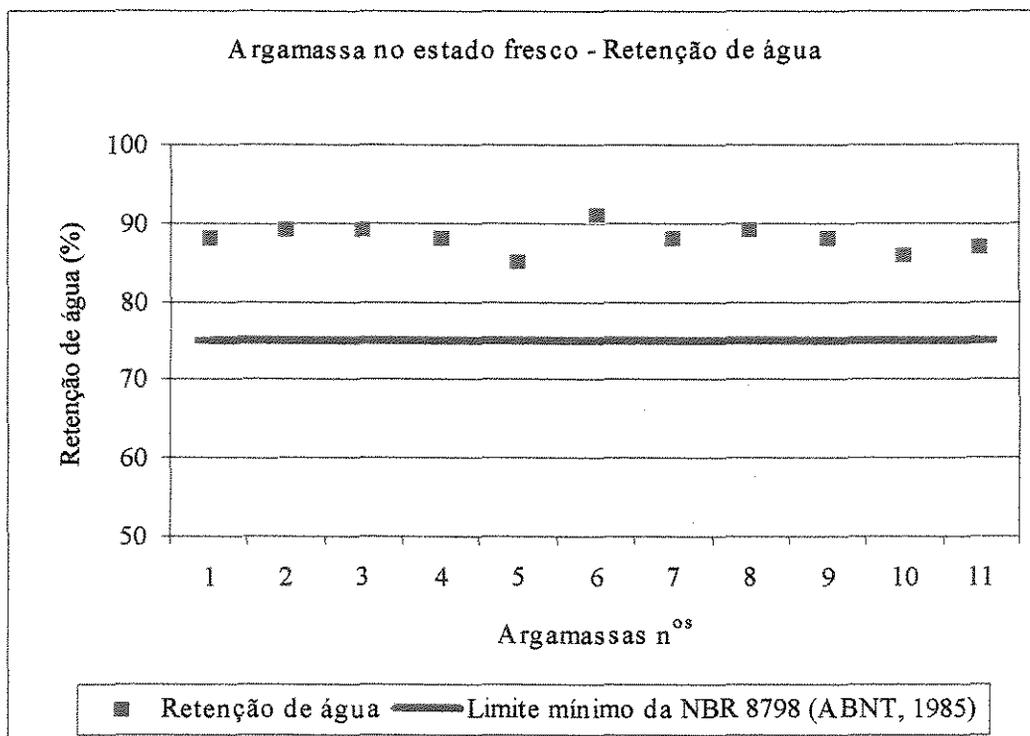


Figura 6.3 – Gráfico dos valores de retenção de água das argamassas produzidas.

c) Teor de ar aprisionado

Os teores de ar aprisionado variaram entre 0,47% e 8,36% para as argamassas com areia artificial, e para as argamassas de areia de rio e de cava variaram entre 9,50% e 10,05%, indicando que o teor maior de materiais abaixo da peneira ABNT de 0,150 mm e um teor maior de materiais pulverulentos influenciou para a diminuição do teor de ar aprisionado, contribuindo com o aumento da massa específica e, conseqüentemente, um maior adensamento da mistura. O gráfico da Figura 6.4 mostra as variações dos teores de ar aprisionado nas argamassas produzidas.

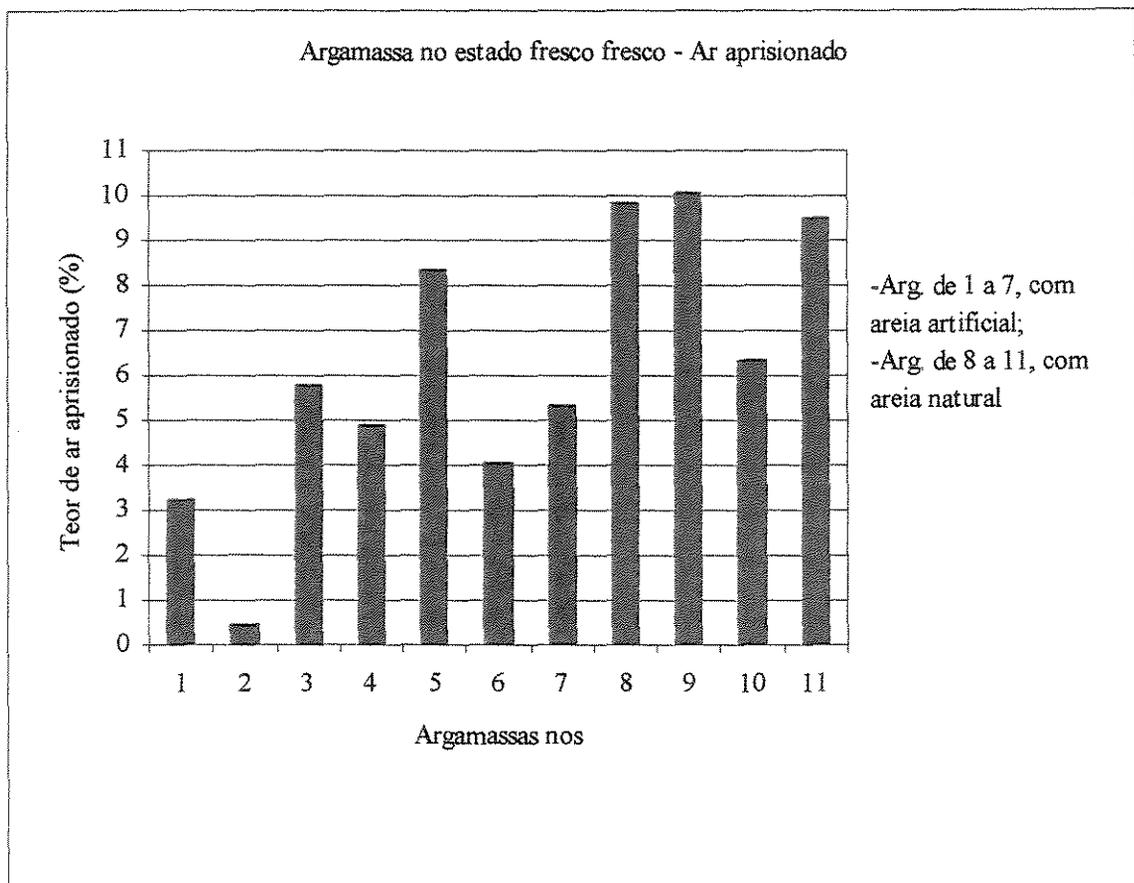


Figura 6.4 – Resultado do teor de ar aprisionado das argamassas produzidas com as areias artificiais e naturais.

d) Massa específica da argamassa no estado fresco

As massas específicas das argamassas no estado fresco variaram de $2,06 \text{ g/cm}^3$ a $2,16 \text{ g/cm}^3$ para argamassas com areia artificial, e as demais argamassas variaram de $2,00 \text{ g/cm}^3$ e $2,06 \text{ g/cm}^3$. O valor das massas específicas das argamassas produzidas é apresentado na Figura 6.5.

Nota-se que as argamassas com areia artificial apresentam massas específicas ligeiramente maiores que as demais argamassas, indicando que o teor maior de material abaixo da peneira ABNT, com abertura de $0,150 \text{ mm}$ e um teor maior de materiais pulverulentos influenciou para o aumento da massa específica e, conseqüentemente, um maior adensamento da mistura.

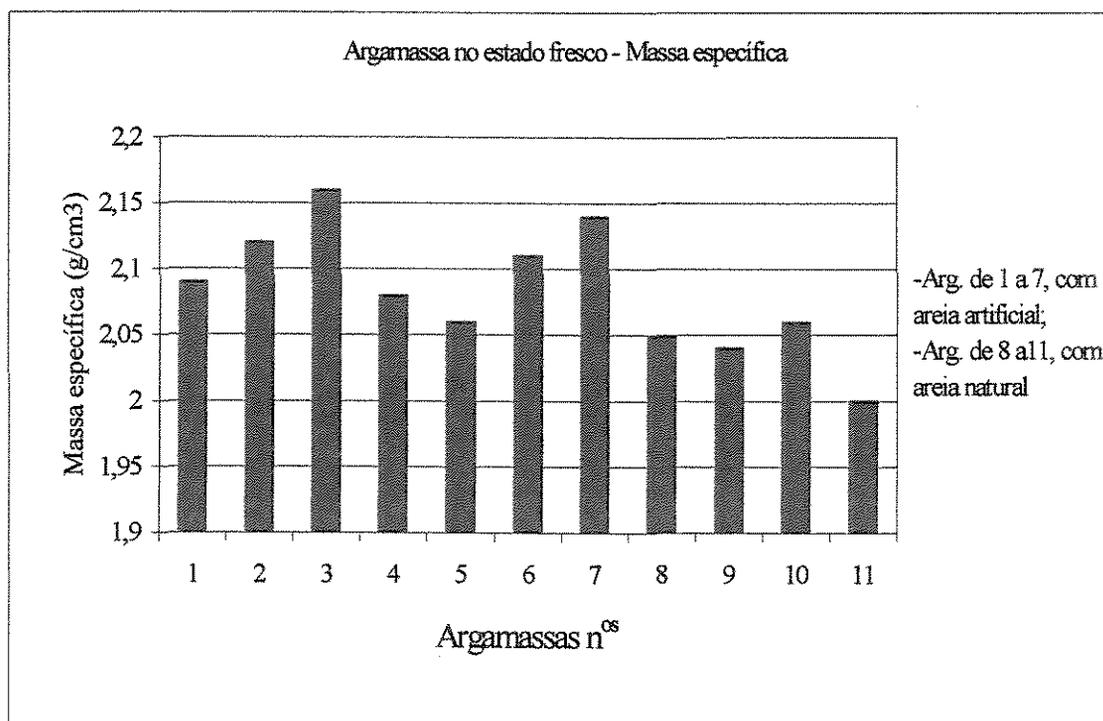


Figura 6.5 – Resultados da massa específica obtidas com as argamassas produzidas com as areias artificiais e naturais.

6.2.2 Argamassa no estado endurecido

Os resultados obtidos nos ensaios realizados em argamassas no estado endurecido são apresentados a seguir.

a) Resistência à compressão simples

Os diversos resultados médios de resistência à compressão simples estão apresentados na Tabela 6.5, e o respectivo gráfico de evolução de resistência está apresentado na Figura 6.6.

Os resultados obtidos indicam que a dosagem sugerida pela NBR 8789 (ABNT, 1985) de 1: 0,12 : 4,00, produz argamassas com resistências, a 28 dias de idade, acima de 11,0 MPa incompatíveis para assentamento de blocos concreto para alvenaria estrutural, cujas resistências características (fbk) dos blocos fabricados são de, no mínimo de 4,5 MPa. Argamassas para

assentamento de blocos de alvenaria estrutural com resistências elevadas tornam a alvenaria rígida impedindo a sua movimentação natural, podendo provocar fissuras na alvenaria.

Tabela 6.5 – Resultados obtidos com a argamassa no estado endurecido – Resistências mecânicas médias e respectivas relações a/c e consumos de cimento.

Argamassa n.º	Relação a/c (kg/kg)	Ensaio			Consumo de cimento efetivo (kg/m ³)
		Resistência à compressão simples NBR 7215/1996 média (MPa)			
		3 dias	7 dias	28 dias	
01	0,97	6,0	9,1	13,8	343
02	1,04	6,3	9,7	11,0	344
03	0,69	10,6	17,4	20,1	372
04	0,85	7,0	11,5	12,2	348
05	0,76	8,2	11,2	13,6	350
06	0,83	6,6	10,3	16,2	355
07	0,78	8,7	10,4	13,5	363
08	0,64	8,5	10,1	16,1	356
09	0,85	6,2	10,5	13,7	342
10	0,80	11,9	16,6	19,3	348
11	0,85	5,9	7,9	10,7	335

A variação dos resultados entre as argamassas indica que mesmo que o agregado seja do mesmo tipo de rocha (granito), mas de origens diferentes, apresentam argamassas com diferentes características de consistências e de resistências mecânicas. Desta forma, os resultados indicam que quando a resistência e a durabilidade das argamassas são fundamentais há necessidade de se realizar um estudo de dosagem para definir as proporções que atendam as solicitações a que a argamassa será submetida.

O consumo de cimento efetivo das argamassas resultou compreendido entre 335 e 372 kg/m³, e foi calculado considerando a massa específica da argamassa no estado fresco. O conhecimento do consumo de cimento por m³ de argamassa produzida é muito útil para levantamento de custo e de previsão de consumo dos seus insumos.

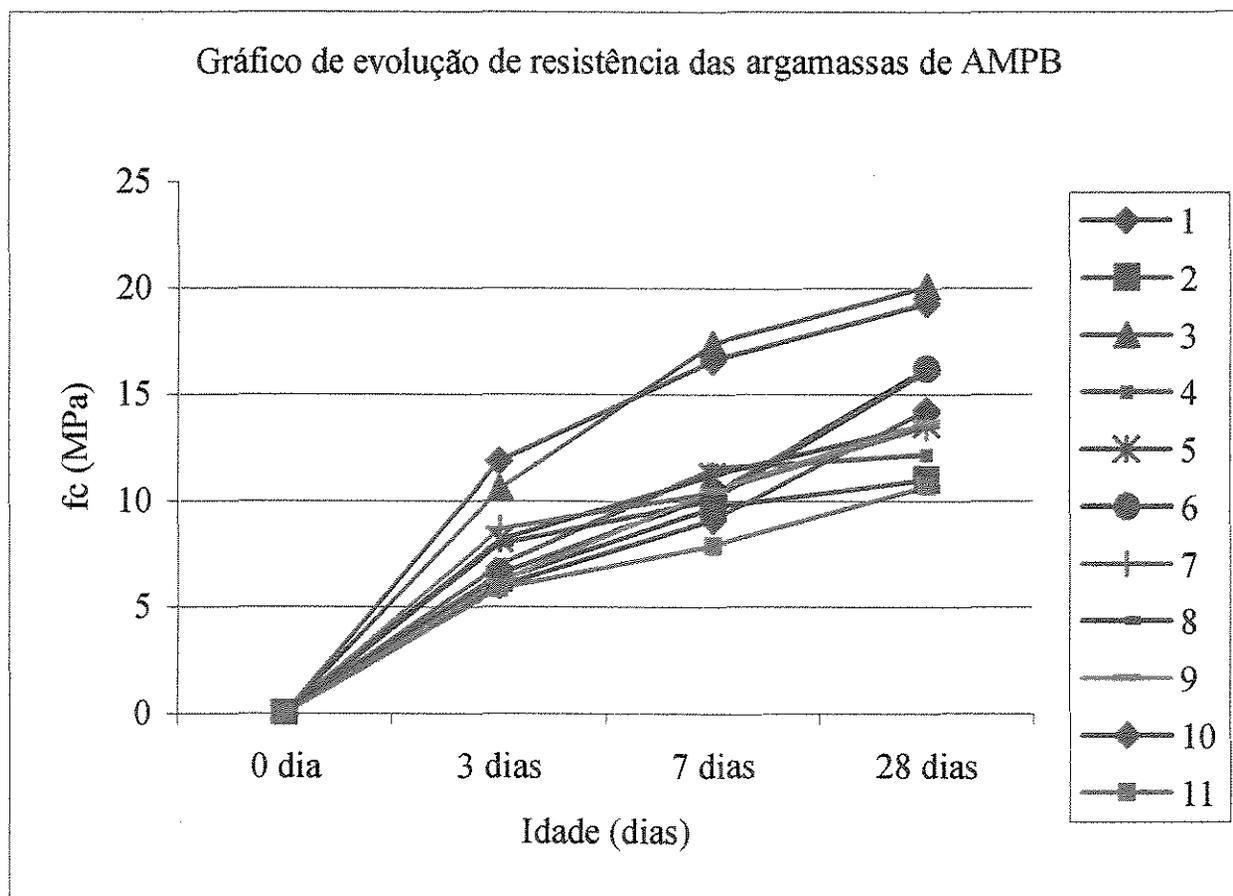


Figura 6.6 – Evolução da resistência à compressão simples das argamassas produzidas com areias artificiais e naturais.

As argamassas com areia artificial apresentaram resultados médios de resistência à compressão simples entre 11,0 e 20,1 MPa, e a relação a/c entre 0,69 e 1,04 na idade de 28 dias. Os resultados de resistência à compressão simples, obtida com argamassas com areia artificial são, praticamente, idênticos às argamassas com areia de rio e de quartzo, apesar das areias artificiais apresentarem teores de materiais pulverulentos muito acima dos teores das areias de rio e não requererem uma quantidade maior de água para a mesma consistência. A argamassa com

areia normal brasileira apresentou resistência maior que as demais argamassas, mesmo com relação a/c idêntica às demais argamassas. O gráfico da Figura 6.7, de resistência à compressão na idade de 28 dias, apresenta as resistências das argamassas em função das respectivas relações água/cimento.

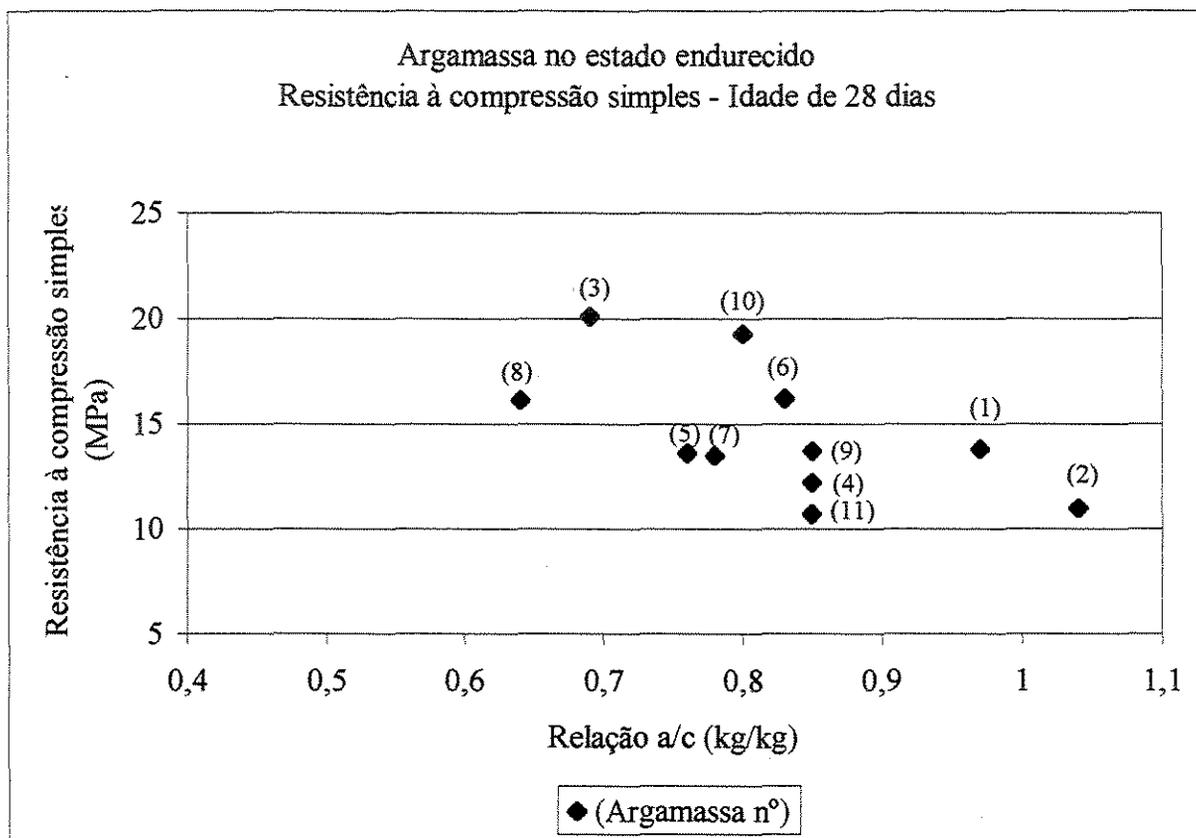


Figura 6.7 – Resultados de resistência à compressão simples das argamassas na idade de 28 dias em função das respectivas relações a/c.

b) Módulo de elasticidade

Os módulos de elasticidade determinados foram os de tangente secante, com as leituras realizadas nas tensões de 0,5 MPa e a 30% da tensão de ruptura do testemunho. O ensaio foi realizado pelo Método de Ensaio NBR 8522 (ABNT, 1984b) para concreto, e foi adaptado para ensaio em corpos-de-prova de argamassa. Os resultados médios de módulo de elasticidade estão apresentados na Tabela 6.6, e os respectivos gráficos estão apresentados nas Figura 6.8.

Os resultados obtidos de módulo de elasticidade das argamassas com areias artificiais apresentam valores entre 4 GPa e 5 GPa na idade de 28 dias. Observa-se que o teor elevado de materiais pulverulentos das areias artificiais não exigiu maior quantidade de água nas misturas de argamassas com areias artificiais para mesma consistência.

Tabela 6.6 - Argamassa no estado endurecido - Módulo de elasticidade

Argamassa n.º	Relação a/c (kg/kg)	Módulo de elasticidade NBR 8522/1984b (GPa)
		28 dias
01	0,97	4,84
02	1,04	4,44
03	0,69	5,96
04	0,85	4,02
05	0,76	4,97
06	0,83	5,93
07	0,78	5,17
08	0,64	7,73
09	0,85	3,69
10	0,80	5,42
11	0,85	4,87

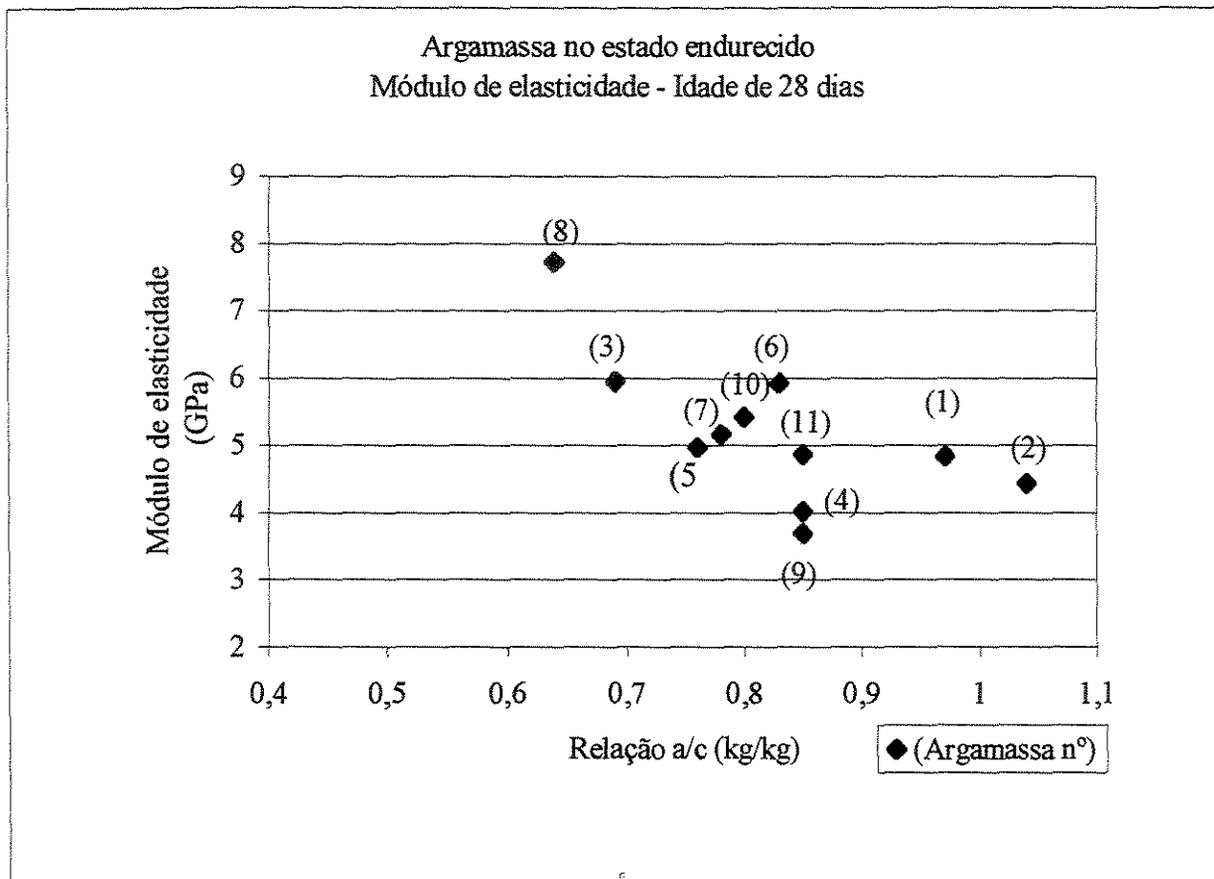


Figura 6.8 – Valores dos módulos de elasticidade em função das respectivas relações a/c.

c) Absorção por capilaridade

A absorção de água por capilaridade é fenômeno na qual a água é absorvida pelo material quando em contato superficial com a água, sem pressão hidrostática significativa.

Devido às características das argamassas de cimento e cal, as argamassas apresentaram alta absorção capilar elevada. Os resultados com 3 horas apresentaram absorção capilar de 40% a 67% da altura total de 100 mm do corpo-de-prova. Com 24 horas a ascensão capilar foi de, praticamente, 100% da altura total. Em relação à absorção por capilaridade em g/cm^2 , em 24 horas, observa-se que a absorção é menor nas argamassas com menor relação água/cimento. As argamassas com areias artificiais apresentaram maior absorção capilar, talvez devido ao teor de materiais finos ser maior e por isso diminuem o diâmetro dos poros capilares e, assim,

aumentam o poder de sucção da argamassa.

Os ensaios de determinação da absorção por capilaridade foram realizados com 3 corpos de cada argamassa. O início dos ensaios foi realizado a partir de 28 dias de idade.

d) Massa específica aparente

Os resultados médios de absorção por capilaridade estão apresentados na Tabela 6.7 e os respectivo gráfico de evolução da absorção por capilaridade em termos de g/cm^2 com o tempo estão apresentados na Figura 6.9.

A determinação da massa específica aparente foi realizada após secagem dos corpos-de-prova em estufa a $105\text{ }^\circ\text{C}$. A massa específica foi obtida através da determinação da massa seca, dividida pela volume geométrico do corpo de prova. Os valores obtidos para a massa específica das argamassas com areia artificial foram maiores do que as demais argamassas, como ocorreu para as argamassas no estado fresco. A massa específica aparente da argamassa endurecida é menor do que a massa específica da argamassa no estado fresco, devido à perda de parte da água por evaporação.

e) Retração por secagem

A determinação da retração da argamassa por secagem foram realizadas através de corpos-de-prova prismáticos de $25\text{ mm} \times 25\text{ mm} \times 285\text{ mm}$. Os corpos-de-prova permaneceram no ambiente climatizado do laboratório, na temperatura de $(23 \pm 2)\text{ }^\circ\text{C}$ e umidade relativa entre 60% e 70%. Para cada argamassa foram moldados 3 prismas.

As argamassas com areia artificial apresentaram na idade de 28 dias valores de retração entre $0,4\text{ }^0/_{00}$ a $0,6\text{ }^0/_{00}$ e as argamassas com areia apresentaram retrações entre $0,4\text{ }^0/_{00}$ a $0,7\text{ }^0/_{00}$.

Argamassa no estado endurecido
Absorção capilar, após 28 dias de idade

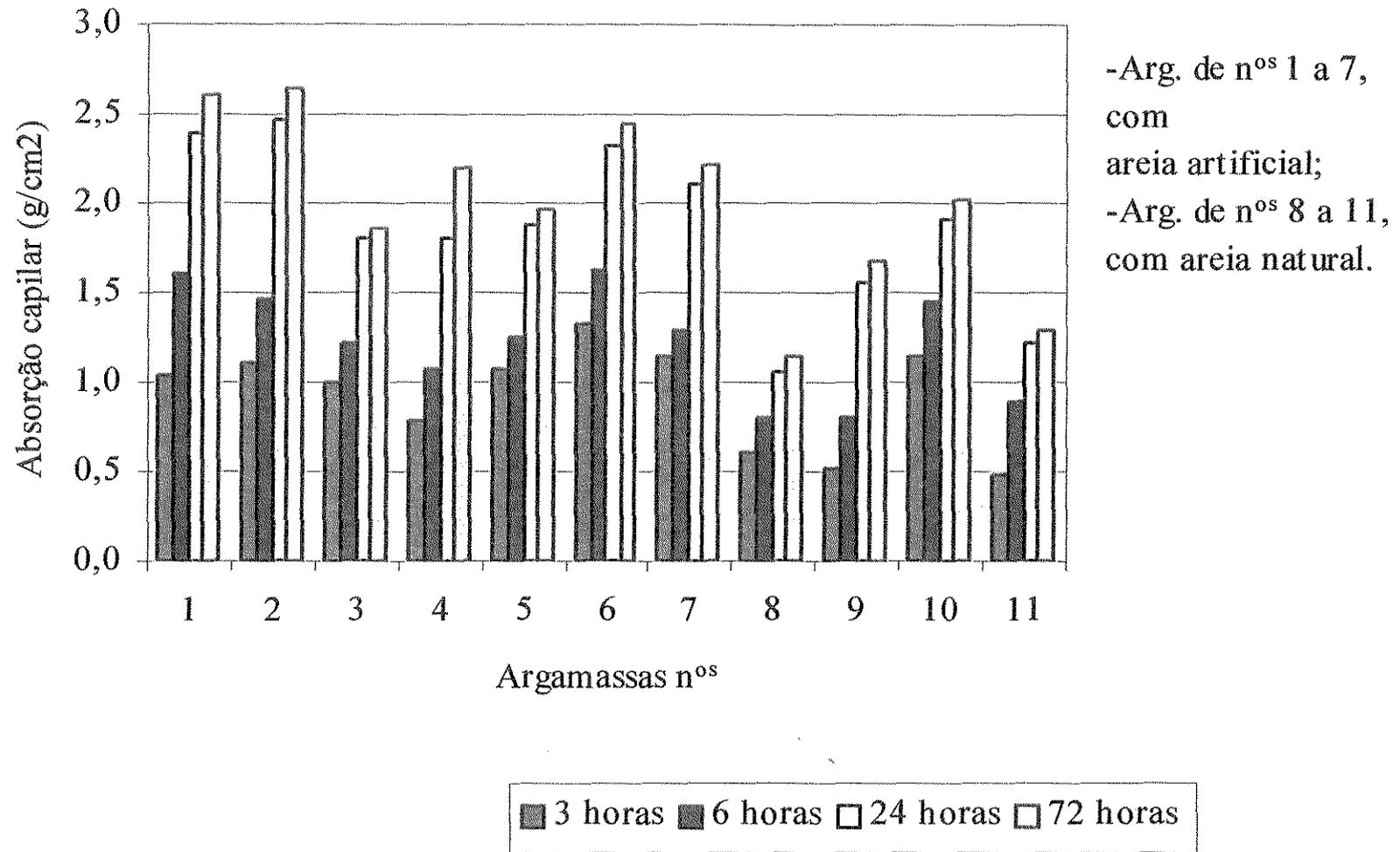


Figura 6.9 – Evolução da absorção por capilaridade, em horas, aos 28 dias.

Tabela 6.7 – Absorção por capilaridade e massa específica aparente

Arg. Nº	Relação a/c (kg/kg)	Ensaio								Massa específica aparente (*) Média (g/cm ³) 28 dias
		Absorção por capilaridade NBR 9779/1995a								
		Ascensão capilar média (cm)				Absorção capilar média (g / cm ²)				
		3 horas	6 horas	24 horas	72 horas	3 horas	6 horas	24 horas	72 horas	
01	0,97	6,73	7,10	10,03	10,03	1,03	1,60	2,39	2,39	1,89
02	1,04	6,02	6,19	9,89	9,89	1,10	1,46	2,46	2,46	1,89
03	0,69	5,93	7,50	10,10	10,10	1,00	1,22	1,80	1,86	2,03
04	0,85	4,00	5,30	8,93	9,90	0,79	1,07	1,81	2,19	1,91
05	0,76	5,37	6,37	9,83	9,83	1,07	1,25	1,87	1,97	1,90
06	0,83	5,83	6,97	9,83	9,83	1,32	1,63	2,32	2,45	2,03
07	0,78	5,30	6,43	10,03	10,03	1,14	1,29	2,11	2,22	1,96
08	0,64	4,43	5,77	7,60	9,77	0,61	0,81	1,05	1,15	1,87
09	0,85	5,17	6,43	9,90	9,90	0,51	0,80	1,56	1,66	1,84
10	0,80	5,93	7,63	9,87	9,87	1,15	1,44	1,91	2,01	1,89
11	0,85	6,23	8,33	9,73	9,73	0,49	0,90	1,21	1,28	1,94

(*) A massa específica aparente foi determinada pesando-se o corpo-de-prova, após secagem, e o volume determinado pelas medidas das dimensões do corpo-de-prova.

As argamassas de cimento e cal hidratada, em geral, apresentam retração por secagem ao ar um valor da ordem de $0,6 \text{ }^0/_{00}$ (FIORITO, 1994). Assim, as argamassas de areia artificial de cimento e cal apresentam valores dentro dos parâmetros de retração por secagem das argamassas de cimento, cal e areia.

Os resultados médios de retração por secagem estão apresentados na Tabela 6.8 e o respectivo gráfico de evolução da retração com a idade pode ser observado na Figura 6.10.

f) Permeabilidade ao ar

As argamassas apresentaram valores de permeabilidade ao ar entre $0,42 \times 10^{-15} \text{ m}^2$ e $2,84 \times 10^{-15} \text{ m}^2$. Como comparação, em corpos-de-prova de concreto a permeabilidade ao ar encontrada foi da ordem de $18,5 \times 10^{-19} \text{ m}^2$ na idade de 28 dias (MARTINS, 2001). Tomando como parâmetro a permeabilidade ao ar do concreto, as argamassas apresentam permeabilidade ao ar 10.000 vezes maior que o concreto. Assim, nas argamassas de cimento e cal, a rápida ascensão capilar de água nas primeiras horas, no ensaio de absorção por capilaridade, pode ser justificada pela sua permeabilidade ao ar elevada.

Os resultados obtidos são apresentados na Tabela 6.9.

Tabela 6.8 – Resultados dos ensaios de retração por secagem em corpos-de-prova prismáticos.

Argam. nº	Ensaio								
	Retração por secagem (‰)								
	NBR 8490/1984a								
	inicial	24 horas	48 horas	3 dias	5 dias	7 dias	14 dias	21 dias	28 dias
1	0	(-) 0,095	(-) 0,107	(-) 0,146	(-) 0,201	(-) 0,339	(-) 0,469	(-) 0,517	(-) 0,608
2	0	(-) 0,047	(-) 0,052	(-) 0,116	(-) 0,199	(-) 0,265	(-) 0,561	(-) 0,608	(-) 0,677
3	0	(-) 0,014	(-) 0,071	(-) 0,146	(-) 0,200	(-) 0,341	(-) 0,393	(-) 0,415	(-) 0,442
4	0	(-) 0,015	(-) 0,095	(-) 0,214	(-) 0,284	(-) 0,369	(-) 0,489	(-) 0,609	(-) 0,684
5	0	(-) 0,046	(-) 0,058	(-) 0,136	(-) 0,163	(-) 0,207	(-) 0,345	(-) 0,403	(-) 0,431
6	0	(-) 0,049	(-) 0,086	(-) 0,190	(-) 0,288	(-) 0,361	(-) 0,468	(-) 0,561	(-) 0,604
7	0	(-) 0,043	(-) 0,099	(-) 0,184	(-) 0,262	(-) 0,385	(-) 0,460	(-) 0,572	(-) 0,643
8	0	(-) 0,041	(-) 0,075	(-) 0,118	(-) 0,191	(-) 0,239	(-) 0,281	(-) 0,359	(-) 0,466
9	0	(-) 0,040	(-) 0,054	(-) 0,104	(-) 0,201	(-) 0,394	(-) 0,494	(-) 0,610	(-) 0,693
10	0	(-) 0,026	(-) 0,136	(-) 0,239	(-) 0,351	(-) 0,369	(-) 0,550	(-) 0,583	(-) 0,778
11	0	(-) 0,195	(-) 0,342	(-) 0,453	(-) 0,509	(-) 0,518	(-) 0,653	(-) 0,682	(-) 0,744

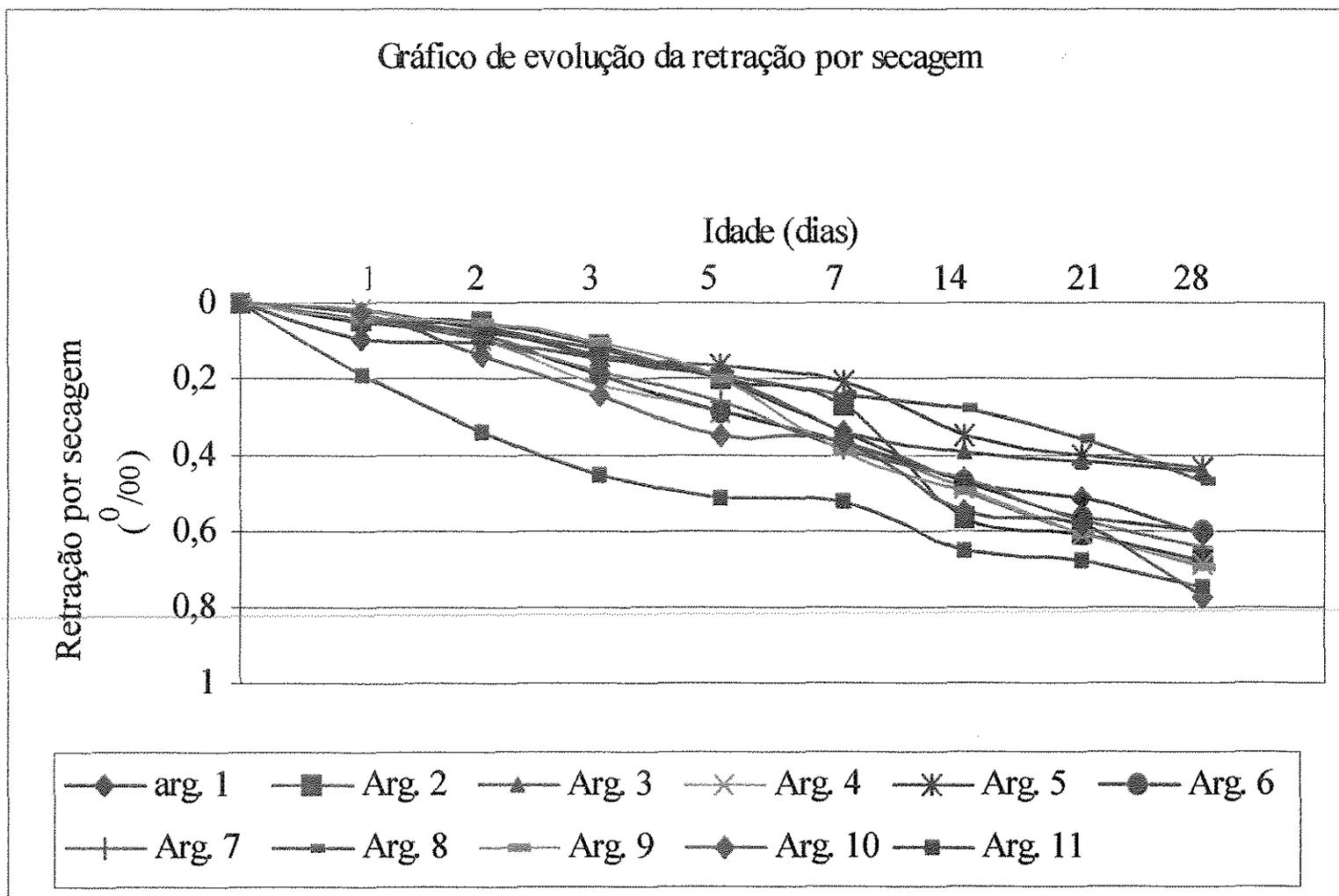


Figura 6.10 – Gráfico de evolução da retração por secagem das argamassas com a idade

Tabela 6.9- Determinação do coeficiente de permeabilidade k na idade de 28 dias.

Arg. n°	Diâmetro (mm)	Altura (m)	Tempo (segundos)	Temperatura (°C)	Viscosidade do ar (μ) (kg/m.s)	$k_{perm} = \mu.s.l / A . \gamma.g.t.(ln. h_0/h_t)$	Permeabilidade Média k (m ²)
1	50	0,0523	629,0	23	$1,834 \times 10^{-5}$	$1,56 \times 10^{-15}$	$1,66 \times 10^{-15}$
	50	0,0514	548,0	23	$1,834 \times 10^{-5}$	$1,76 \times 10^{-15}$	
2	50	0,0496	417,0	23	$1,834 \times 10^{-5}$	$2,23 \times 10^{-15}$	$2,12 \times 10^{-15}$
	50	0,0473	438,0	23	$1,834 \times 10^{-5}$	$2,02 \times 10^{-15}$	
3	50	0,0470	1734,5	22	$1,829 \times 10^{-5}$	$5,06 \times 10^{-16}$	$0,46 \times 10^{-15}$
	50	0,0496	2192,5	22	$1,829 \times 10^{-5}$	$4,22 \times 10^{-16}$	
4	50	0,0489	959,0	22	$1,829 \times 10^{-5}$	$9,52 \times 10^{-16}$	$0,93 \times 10^{-15}$
	50	0,0510	1050,5	22	$1,829 \times 10^{-5}$	$9,06 \times 10^{-16}$	
5	50	0,0453	1067,5	22	$1,829 \times 10^{-5}$	$7,92 \times 10^{-16}$	$0,84 \times 10^{-15}$
	50	0,0508	1070,0	22	$1,829 \times 10^{-5}$	$8,86 \times 10^{-16}$	
6	50	0,0509	1882,0	22	$1,829 \times 10^{-5}$	$5,05 \times 10^{-16}$	$0,48 \times 10^{-16}$
	50	0,0488	2009,0	22	$1,829 \times 10^{-5}$	$4,53 \times 10^{-16}$	
7	50	0,0512	2286,5	22	$1,829 \times 10^{-5}$	$4,18 \times 10^{-16}$	$0,42 \times 10^{-15}$
	50	0,0456	1930,5	22	$1,829 \times 10^{-5}$	$4,41 \times 10^{-16}$	
8	50	0,0477	509,5	22	$1,829 \times 10^{-5}$	$1,75 \times 10^{-15}$	$1,89 \times 10^{-15}$
	50	0,0510	466,0	22	$1,829 \times 10^{-5}$	$2,04 \times 10^{-15}$	
9	50	0,0493	992,0	23	$1,834 \times 10^{-5}$	$9,30 \times 10^{-16}$	$0,90 \times 10^{-15}$
	50	0,0506	1085,0	23	$1,834 \times 10^{-5}$	$8,73 \times 10^{-16}$	
10	50	0,0504	355,0	23	$1,834 \times 10^{-5}$	$2,66 \times 10^{-15}$	$2,84 \times 10^{-15}$
	50	0,0498	308,5	23	$1,834 \times 10^{-5}$	$3,02 \times 10^{-15}$	
11	50	0,0483	485,0	23	$1,834 \times 10^{-5}$	$1,86 \times 10^{-15}$	$1,90 \times 10^{-15}$
	50	0,0508	490,5	23	$1,834 \times 10^{-5}$	$1,94 \times 10^{-15}$	

6.3 Prismas ocios de bloco de concreto para alvenaria estrutural

Terminados os ensaios com os corpos-de-prova das argamassas, foram moldados prismas ocios de blocos para alvenaria estrutural com as argamassas ensaiadas. Estes ensaios tiveram como objetivo verificar a resistência da argamassa no assentamento dos blocos para alvenaria estrutural. A preparação da argamassa seguiu o mesmo procedimento utilizado para os ensaios realizados e com os mesmos materiais.

Os prismas de blocos vazados foram moldados e deixados em ambiente do laboratório até a data de ensaio.

Os prismas foram moldados com blocos de f_{bk} de 6,0 MPa e dimensões nominais de 390 mm de comprimento, 140 mm de largura e 190 mm de altura. Os resultados obtidos são apresentados Tabela 6.10 a seguir. Os prismas foram submetidos aos ensaios de determinação da resistência à compressão simples para verificar o comportamento do conjunto bloco/argamassa. Observou-se que todos os prismas romperam nos blocos, mesmo os prismas com argamassa de resistência menor que a resistência de ruptura dos blocos. Desta forma, todas as argamassas apresentaram-se em condições de serem utilizadas no assentamento de blocos de concreto simples para alvenaria estrutural, incluindo-se as argamassas de cimento, cal e areia artificial.

Entretanto, as argamassas para assentamento de blocos de alvenaria estrutural com resistências elevadas podem tornar a alvenaria rígida impedindo a sua movimentação natural, provocando fissuras na alvenaria. As argamassas devem apresentar resistência à compressão simples compatível com a resistência dos blocos de alvenaria estrutural. O traço de argamassa recomendado pela NBR-8798 (ABNT, 1985) resultou em argamassas com resistências acima 11,0 MPa, podendo causar dificuldade de movimentação. Assim, o traço recomendado pela NBR-8798 (ABNT, 1985) deve ser revisto, considerando os resultados obtidos neste estudo. A recomendação é de que a argamassa a ser utilizada para assentamento de blocos para alvenaria estrutural seja obtida por meio de um estudo de dosagem, da mesma forma como o estudo de dosagem é realizado em tecnologia de concreto.

Tabela 6.10 – Resultados do ensaio de resistência à compressão simples de prismas ocos assentados com as argamassas estudadas.

Arg. nº	Resistência à compressão simples da argamassa NBR 7215/1996 Média - (MPa) Idade – 28 dias	Resistência à compressão simples de prisma oco NBR 8215/83 Média - (MPa) Idade – 28 dias	Observação
1	13,8	11,8	Ruptura no bloco
2	11,0	10,8	Ruptura no bloco
3	20,1	14,4	Ruptura no bloco
4	12,2	14,0	Ruptura no bloco
5	13,6	12,1	Ruptura no bloco
6	16,2	11,9	Ruptura no bloco
7	13,5	12,3	Ruptura no bloco
8	16,1	11,4	Ruptura no bloco
9	13,7	10,8	Ruptura no bloco
10	10,5	12,8	Ruptura no bloco
11	10,7	11,6	Ruptura no bloco

6.4 Custo das argamassas

Com intuito de mostrar a viabilidade econômica do uso da areia artificial, foi realizado um levantamento de preços dos insumos que compõem as argamassas, para elaboração do custo de 1 m³ de argamassa. O preço do m³ dos agregados inclui o frete de entrega, considerando o local de entrega o bairro da Lapa na cidade de São Paulo. O preço da areia artificial foi obtido diretamente com as pedreiras que se situam na Grande de São Paulo, e foi considerado o preço médio. O preço médio da areia foi obtido junto a fornecedores de areia da Grande São Paulo, que fornecem areia da região do Vale do Paraíba, e considerado o mesmo local de entrega.

O traço da argamassa com areia artificial considerado no custo da argamassa foi uma média obtida entre os valores da relação a/c e do consumo de cimento das sete argamassas produzidas com areia artificial. Esses valores foram 0,85 l/kg e 354 kg/m³, respectivamente. Para o cálculo da areia de rio considerou-se a argamassa de número 8 produzida com areia natural. Esses valores foram 0,64 kg/l e 356 kg/m³, respectivamente.

Para o cálculo do custo não foram considerados os valores obtidos na resistências à compressão simples, embora este seja um parâmetro importante para as argamassas de assentamento.

A Tabela 6.11 apresenta o custo individual e total das argamassas produzidas com areia artificial e das argamassas produzidas com areia natural.

Desta Tabela observa-se que o custo individual da areia na argamassa com areia artificial são de R\$ 28,32 e da areia de rio na argamassa com areia de rio são de R\$ 39,73. Observa-se que há uma diferença de R\$ 11,41 equivalentes a 40,29% a mais no preço da areia natural, de rio.

O custo individual com a água na argamassa com areia artificial são de R\$ 1,59 e de R\$ 1,08 para a argamassa com areia natural. Neste caso, a diferença é de R\$ 0,49 a mais para a argamassa com areia artificial representando 47,22% do preço.

O custo total das argamassas produzidas com areia artificial e areia natural é de R\$ 161,37 e de R\$ 172,27, respectivamente. A diferença entre elas é de R\$ 11,90, representando um ganho de 6,75% no preço do m³ para a argamassa produzida com areia artificial.

Tabela 6.11 – Custo da argamassa com areia artificial e areia de rio

Materiais	Dosagem (m ³)	Preço unitário	Preço R(\$)/ m ³ de argamassa		Diferença entre os insumos e o total/ m ³ (%)
			Com areia artificial	Com areia de rio	
Cimento II-E-32	354 kg	R(\$) 0,35/kg	123,90	123,90	
Cal (CH III)	42 kg	R(\$) 0,18/kg	7,56	7,56	
Areia artificial (U=5%, CI= 1,25)	1,180 m ³	R(\$) 24,00/ m ³	28,32	--	Areia de rio
Areia de rio média (U=5%, CI=1,25)	1,204 m ³	R(\$) 33,00/ m ³	--	39,73	+ 40,29%
Água (areia artificial: a/c=0,85)	0,229 m ³	R(\$) 6,94/ m ³	1,59	--	Areia artificial
(areia: a/c=0,64)	0,155 m ³	R(\$) 6,94/ m ³	--	1,08	+ 47,22%
total			161,37	172,27	Areia de rio + 6,75%

Traço, em massa, 1:0,12:4,00 (cim.:cal:agreg. miúdo); U= umidade do agregado; CI = coeficiente de inchamento; massa unitária da areia artificial (kg/m³) =1500 e areia de rio =1470 (kg/m³) (Preço de julho de 2003)

7 CONCLUSÕES

Este trabalho apresentou as propriedades das argamassas mistas de cimento e cal produzidas com areia artificial em comparação às argamassas produzidas com areia de rio, de quartzo (areia rosa) e areia normal brasileira. O traço, em massa, foi 1: 0,12 : 4,00, com consistência de 240 ± 10 mm. O traço da argamassa utilizado foi o sugerido pela NBR 8789 (ABNT, 1985).

Para levar o trabalho a bom termo foi realizada uma revisão bibliográfica sobre o comportamento das argamassas em função de seus constituintes, cimento, cal hidratada e agregado miúdo e também das propriedades físicas das argamassas no estado fresco e endurecido. As análises das propriedades das argamassas de areia artificial foram realizadas por meio dos ensaios em argamassas no estado fresco e endurecido. As areias artificiais ensaiadas foram todas de pedreiras de granito, localizadas próximo à cidade de São Paulo e na cidade de São Paulo (RMSP).

As areias artificiais de granito apresentam algumas características físicas que diferenciam das areias naturais. Além da forma de obtenção da areia artificial, da forma e textura das partículas, conforme relatado no item 3.2, estas apresentam partículas menores que 0,150 mm da ordem de 20% a 30%, enquanto que as areias naturais apresentam valores em torno de 6%. Uma outra característica marcante da areia artificial é o seu alto teor de materiais pulverulentos, sendo encontrados valores entre 8% e 16%. Em relação às areias naturais ensaiadas o teor de materiais pulverulentos encontrados foi de 6%. Na revisão da NBR 7211 (ABNT, 2003), em andamento, foi incluído a areia artificial para uso na produção de concreto, limitando o seu teor

de materiais pulverulentos em 17%. Desta forma, observa-se que a areia artificial está sendo utilizado na produção de concreto, apesar de apresentar alto teor de materiais pulverulentos em relação à especificação anterior a esta revisão, que estava limitado em até 5%.

Os ensaios realizados em argamassas no estado fresco foram: determinação de consistência, retenção de água, teor de ar aprisionado e massa específica.

A consistência de 240 ± 10 mm apresentou-se com trabalhabilidade adequada ao assentamento de blocos vazados de concreto, ou seja, não se deformando com seu peso próprio e com facilidade no seu manuseio.

As argamassas mistas com areia artificial, não apresentaram relação água/cimento maior do que as demais argamassas, apesar das areias artificiais apresentaram teores de materiais pulverulentos de 8 a 16 vezes maiores do que as areias de rio, sendo este um dos pontos polêmicos que os diferenciam entre si. Assim, os materiais pulverulentos das areia artificiais auxiliam na plasticidade da argamassa não absorvendo água a mais para envolver a partícula.

Além disso, o maior teor de materiais pulverulentos das areias artificiais também contribuiu para o aumento da massa específica e diminuir o teor de ar aprisionado em relação às argamassas com areias naturais.

O valor da retenção de água em todas argamassas foi praticamente idêntico, indicando que o teor de materiais pulverulentos maior nas areias artificiais não contribuiu para aumentar retenção de água no interior da argamassa e sim para melhorar a sua plasticidade.

As partículas de materiais pulverulentos também podem ser consideradas como uma adição não pozolânica e a sua atuação nas propriedades mecânicas da argamassa poderá ser verificada em trabalhos futuros, como a indução da aceleração da hidratação do cimento através do efeito filer.

Os ensaios realizados em argamassas no estado endurecido foram: resistência à compressão simples, módulo de deformação, absorção por capilaridade, massa específica e permeabilidade ao ar.

Este traço empírico empregado (1: 0,12 : 4,00) é o recomendado para obras de pequeno vulto e para blocos vazados de concreto de f_{bk} até 6,0 MPa, e que a resistência mínima desta argamassa seja de 9,0 MPa, conforme a NBR 8798 (ABNT, 1985). As resistências de compressão simples das argamassas mistas com areia artificial apresentaram valores iguais ou acima de 11,0 MPa, na idade de 28 dias. Assim, observou-se que as argamassas mistas produzidas tanto com areia artificial quanto com areia natural atendem a resistência à compressão simples mínima especificada por Norma. Entretanto, este traço pode tornar a alvenaria rígida e impedir a sua movimentação natural e provocar fissuras na alvenaria para blocos de f_{bk} até 6,0 MPa, pois as rupturas dos prismas ocorreram nos blocos. Desta forma, o traço recomendado pela NBR-8798 (ABNT, 1985) deve ser revisto considerando os resultados obtidos neste estudo.

Os resultados obtidos de módulo de elasticidade, em argamassas mistas com areia artificial, podem ser indicativos de argamassas rígidas para assentamento de blocos vazados. As partículas da areia artificial apresentam uma superfície mais rugosa proporcionando assim uma maior aderência mecânica na interface pasta-agregado.

No ensaio de absorção por capilaridade as argamassas mistas com areia artificial apresentaram absorções maiores em relação às argamassas mistas com areia natural. Esta característica pode ter ocorrido devido ao maior teor de materiais pulverulentos das areias artificiais provocando uma diminuição dos diâmetros dos poros capilares e, assim, aumentando o poder de sucção da argamassa, podendo prejudicar a durabilidade da estrutura. Desta forma, a alvenaria estrutural produzida com esta argamassa deve ser revestida, pois apresentou alta permeabilidade, observada na ascensão capilar com 3 horas (40% a 67% da altura de 100 mm do corpo-de-prova).

As massas específicas aparentes das argamassas mistas com areia artificial são muito semelhantes, embora as argamassas mistas com areia natural tenham apresentado resultados um pouco menores (da ordem de 3,15% menores).

As retrações por secagem das argamassas foram, praticamente, iguais, apresentando retrações da ordem de 0,4 ‰ a 0,6 ‰ para argamassas mistas com areia artificial e de 0,4 ‰ a 0,7 ‰ para argamassas com areia natural. Como comparação, as argamassas mistas de cimento e cal hidratada para revestimento apresentam valores de retração por secagem da ordem de 0,6 ‰ (FIORITTO, 1994)

As argamassas com areia artificial apresentaram, na idade de 28 dias, permeabilidade ao ar variando entre $0,42 \times 10^{-15} \text{ m}^2$ e $2,12 \times 10^{-15} \text{ m}^2$ e as argamassas com areia natural apresentaram valores entre $0,90 \times 10^{-15} \text{ m}^2$ e $2,84 \times 10^{-15} \text{ m}^2$. Assim, as argamassas com areia artificial apresentaram permeabilidade ao ar um pouco menor que as argamassas com areia natural. Comparativamente, a permeabilidade ao ar do concreto normal foi da ordem de $18,5 \times 10^{-19} \text{ m}^2$. Nesta comparação observa-se que a permeabilidade ao ar da argamassa é da ordem de 10.000 vezes maior que o concreto. Isto pode explicar a rápida ascensão capilar de água em 3 horas no ensaio de absorção por capilaridade.

Os resultados obtidos nas argamassas produzidas com areia artificial apresentam, praticamente o mesmo desempenho do que as demais argamassas. Esse fato é indicativo de que as areias artificiais podem substituir as areias de rio na produção de argamassas, com a vantagem econômica, pois o custo de aquisição é de 40,29% mais barato do que as areias de rio do Vale do Paraíba; e, no traço estudado, a argamassa apresentou um custo 6,75% menor do que as argamassas de areia de rio. A areia artificial apresenta preço menor na cidade de São Paulo devido às pedreiras estarem localizadas nas proximidades.

O aumento no consumo das areias artificiais poderá melhorar o ambiente nas proximidades das pedreiras com diminuição do material estocado, que causam entupimento dos drenos e tubulações de águas pluviais e do pó que se espalha pela região, e ocupam uma área significativa nas pedreiras. É importante salientar que os ensaios foram realizados com a areia artificial sem o descarte do material fino abaixo da peneira ABNT, com abertura de 0,075 mm.

8 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Para o prosseguimento desta pesquisa sugere-se o estudo destas argamassas com o uso de aditivo plastificante, visando melhorar sua plasticidade, e de aditivo retardador de pega visando a produção de argamassa em grande escala, ou seja, em usinas.

Uma outra possibilidade é utilizar a areia artificial é na produção de argamassas de revestimento. O campo de aplicação das argamassas na construção civil é amplo. Pelas características físicas da areia artificial, que apresenta teor de materiais finos abaixo da peneira ABNT de 0,075 mm bastante elevado, sugere-se o uso deste material na produção de argamassas para revestimentos, seja como emboço ou reboco. Existem vários trabalhos onde se aplicam outros materiais, como argila, misturados às areias, para melhoria da plasticidade e para cobrir deficiência de materiais finos das areias. Os finos abaixo da peneira ABNT, com abertura de 0,075 mm, da areia artificial podem suprir a falta deste material nas areias naturais para produção de argamassas para revestimentos.

A possibilidade de verificar a influência dos materiais pulverulentos da areia artificial no desenvolvimento da resistência mecânica das argamassas nas primeiras idades, como considerado por BONAVETTI (1993) e também em idades superiores a 28 dias de idade, atuando como material pozolânico, não deve ser descartada. Neste sentido, pode-se estudar também a influência da areia artificial em concreto de alto desempenho na melhoria de suas propriedades e até na possibilidade de diminuir o teor de sílica ativa na mistura.

Por fim, é preciso que estudos sejam realizados para verificar o traço da argamassa recomendado pela NBR-8798 o qual produz argamassas muito rígidas, não promovendo capacidade de deformação às argamassas para melhorar o desempenho das paredes de alvenaria estrutural.

APÊNDICES

APÊNDICE A - Areias Artificiais e Areias naturais

Características Físicas e Análise Granulométrica

Tabela A.1 Granulometria e características físicas da amostra nº 1 – Amostra original- Areia artificial de granito.

Peneiras (mm)	Massas (g)		Porcentagens retidas		Dados físicos	
	Individual		Média	Acumulada		
	1ª det.	2ª det.				
6,3	0,90	0,40	1	1	Massa Específica (NBR 9776) (kg/l)	2,70
4,8	3,20	3,00	3	4	Massa Unitária (NBR 7251) (kg/l)	1,70
2,4	20,70	20,90	21	25	Materiais pulverulentos (NBR 7219) (%)	8,9
1,2	18,60	17,50	18	43	Argila em Torrões e Materiais Friáveis (NBR 7218) (%)	Isento
0,6	12,60	12,10	12	55	Impureza Orgânica (NBR 7220) (ppm)	Isento
0,3	11,60	11,80	12	67	Umidade Crítica (NBR 6467) (%)	-
0,15	12,40	12,90	12	79	Coefficiente de Inchamento Médio (NBR 6467)	-
0,15	20,00	21,40	21	-	Módulo de Finura (NBR 7217)	2,73
total	100,00	100,00	100	273	Dimensão Máxima Característica (mm)	4,8

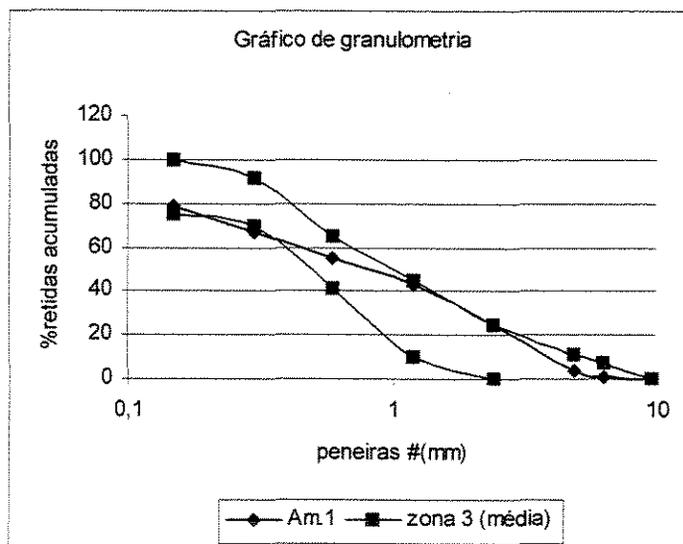


Tabela A.2 – Granulometria e características físicas da amostra nº 1 – Amostra estudada - Areia artificial de granito

Peneiras (mm)	Massas (g)		Porcentagens retidas		Dados físicos	
	Individual		Média	Acumulada		
	1ª det.	2ª det.				
6,3					Massa Específica (NBR 9776) (kg/l)	2,70
4,8					Massa Unitária (NBR 7251) (kg/l)	1,52
2,4	0,00	0,00	0,00	0,00	Materiais pulverulentos (NBR 7219) (%)	14,40
1,2	18,20	17,50	18,00	18,00	Argila em Torrões e Materiais Friáveis (NBR 7218) (%)	Isento
0,6	16,40	16,40	16,00	34,00	Impureza Orgânica (NBR 7220) (ppm)	Isento
0,3	17,30	17,20	17,00	51,00	Umidade Crítica (NBR 6467) (%)	3,80
0,15	20,50	19,10	20,00	71,00	Coefficiente de Inchamento Médio (NBR 6467)	1,36
0,15	27,60	29,80	29,00	-	Módulo de Finura (NBR 7217)	1,74
total	100,00	100,00	100	174,00	Dimensão Máxima Característica (mm)	2,40

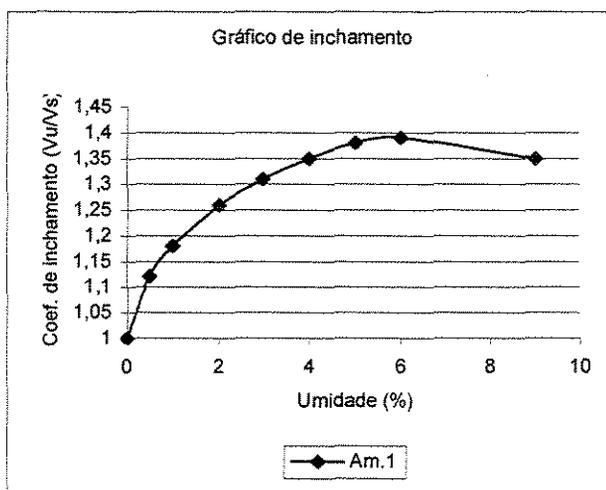
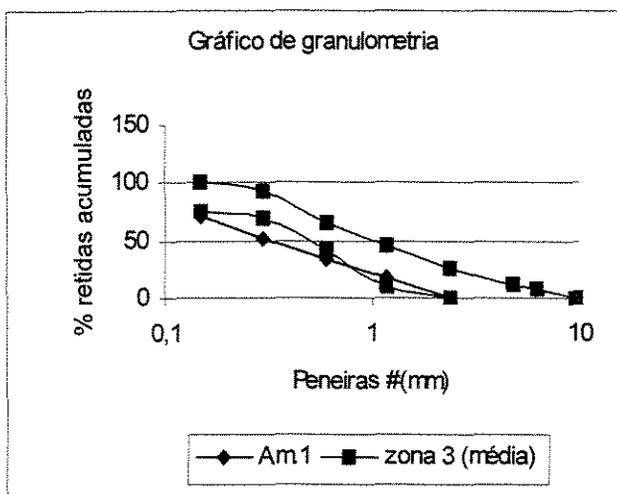


Tabela A.3 – Granulometria e características físicas da amostra n° 2– Amostra original e estudada
Areia artificial de granito

Peneiras (mm)	Massas (g)		Porcentagens retidas		Dados físicos	
	Individual		Média	Acumulada		
	1ª det.	2ª det.				
6,3					Massa Específica (NBR 9776) (kg/l)	2,69
4,8	0,00	0,00	0,00	0,00	Massa Unitária (NBR 7251) (kg/l)	1,52
2,4	10,50	10,90	11,00	11,00	Materiais pulverulentos (NBR 7219) (%)	10,30
1,2	20,10	19,70	20,00	31,00	Argila em Torrões e Materiais Friáveis (NBR 7218) (%)	Isento
0,6	14,90	15,10	15,00	46,00	Impureza Orgânica (NBR 7220) (ppm)	Isento
0,3	15,50	15,80	16,00	62,00	Umidade Crítica (NBR 6467) (%)	4,00
0,15	16,40	16,20	16,00	78,00	Coefficiente de Inchamento Médio (NBR 6467)	1,33
0,15	22,60	22,30	22,00	-	Módulo de Finura (NBR 7217)	2,28
total	100,00	100,00	100	228,00	Dimensão Máxima Característica (mm)	4,80

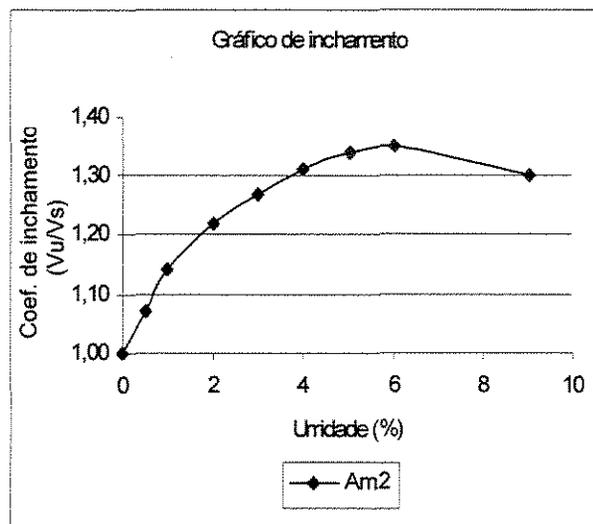
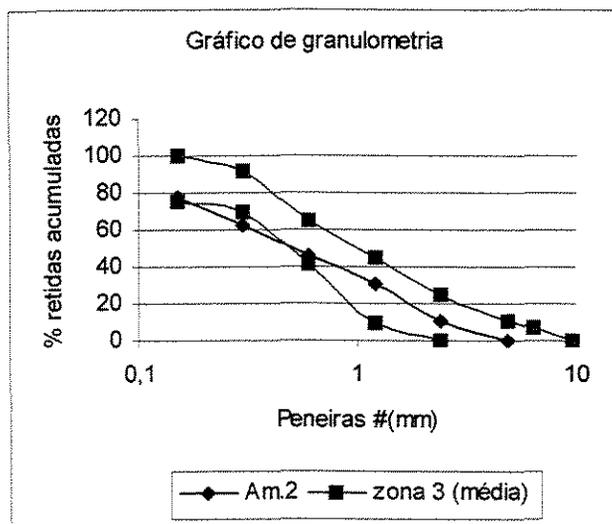


Tabela A.4 – Granulometria e características físicas da amostra nº 3– Amostra original - Areia artificial de granito

Peneiras (mm)	Massas (g)		Porcentagens retidas		Dados físicos	
	Individual		Média	Acumulada		
	1ª det.	2ª det.				
6,3	0,00	0,00	0,00	0,00	Massa Específica (NBR 9776) (kg/l)	-
4,8	4,00	2,80	3,00	3,00	Massa Unitária (NBR 7251) (kg/l)	-
2,4	31,20	28,10	30,00	33,00	Materiais pulverulentos (NBR 7219) (%)	-
1,2	21,90	21,80	22,00	55,00	Argila em Torrões e Materiais Friáveis (NBR 7218) (%)	-
0,6	13,60	14,20	14,00	69,00	Impureza Orgânica (NBR 7220) (ppm)	-
0,3	8,80	10,40	10,00	79,00	Umidade Crítica (NBR 6467) (%)	-
0,15	7,10	7,70	7,00	86,00	Coefficiente de Inchamento Médio (NBR 6467)	-
0,15	13,40	15,00	14,00	-	Módulo de Finura (NBR 7217)	3,25
total	100,00	100,00	100,00	325,00	Dimensão Máxima Característica (mm)	4,80

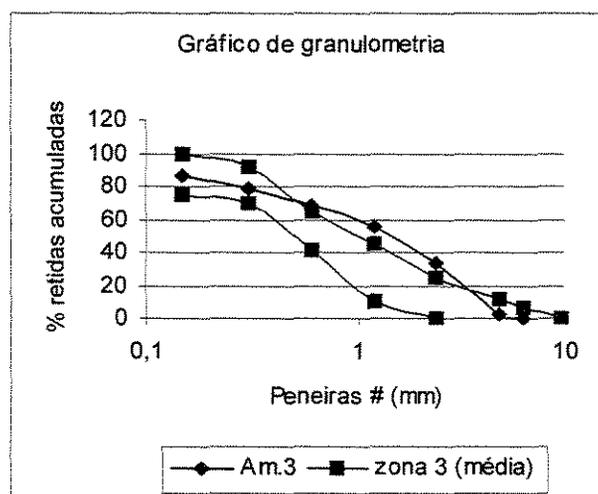


Tabela A.5 – Granulometria e características físicas da amostra nº 3 – Amostra estudada
Areia artificial de granito

Peneiras (mm)	Massas (g)		Porcentagens retidas		Dados físicos	
	Individual		Média	Acumulada		
	1ª det.	2ª det.				
6,3					Massa Específica (NBR 9776) (kg/l)	2,71
4,8					Massa Unitária (NBR 7251) (kg/l)	1,59
2,4	0,00	0,00	0,00	0,00	Materiais pulverulentos (NBR 7219) (%)	8,60
1,2	30,00	28,80	30,00	30,00	Argila em Torrões e Materiais Friáveis (NBR 7218) (%)	Isento
0,6	22,30	21,70	22,00	52,00	Impureza Orgânica (NBR 7220) (ppm)	Isento
0,3	15,40	15,40	15,00	67,00	Umidade Crítica (NBR 6467) (%)	3,70
0,15	11,50	12,10	12,00	79,00	Coefficiente de Inchamento Médio (NBR 6467)	1,35
0,15	20,80	22,00	21,00	-	Módulo de Finura (NBR 7217)	2,28
total	100,00	100,00	100,00	228,00	Dimensão Máxima Característica (mm)	2,40

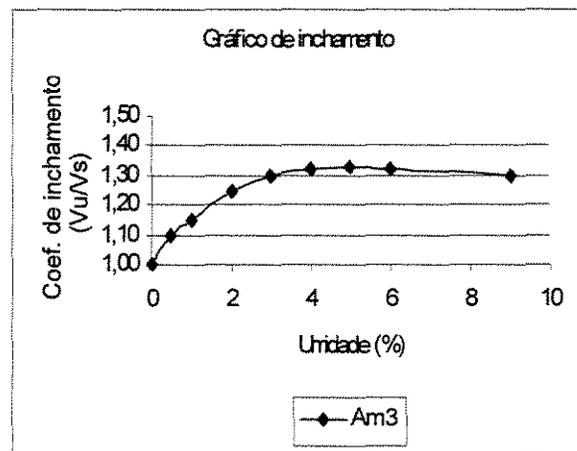
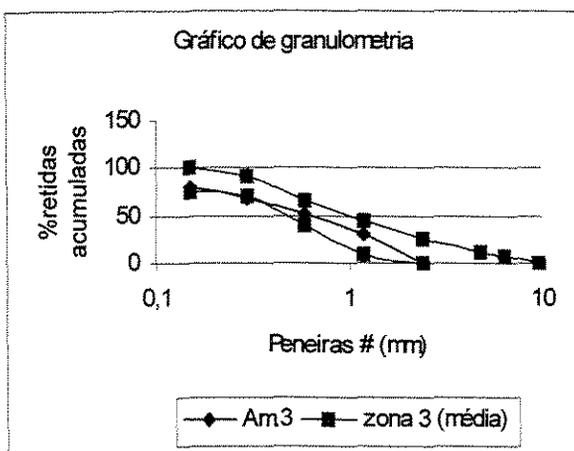


Tabela A.6 – Granulometria e características físicas da amostra n° 4 – Amostra original
Areia artificial de granito

Peneiras (mm)	Massas (g)		Porcentagens retidas		Dados físicos	
	Individual		Média	Acumulada		
	1ª det.	2ª det.				
6,3	0,00	0,00	0,00	0,00	Massa Específica (NBR 9776) (kg/l)	-
4,8	1,30	1,20	1,00	1,00	Massa Unitária (NBR 7251) (kg/l)	-
2,4	21,80	24,70	23,00	24,00	Materiais pulverulentos (NBR 7219) (%)	-
1,2	22,30	23,00	23,00	47,00	Argila em Torrões e Materiais Friáveis (NBR 7218) (%)	-
0,6	16,90	16,00	17,00	64,00	Impureza Orgânica (NBR 7220) (ppm)	-
0,3	13,10	12,30	13,00	77,00	Umidade Crítica (NBR 6467) (%)	-
0,15	10,90	9,80	10,00	87,00	Coefficiente de Inchamento Médio (NBR 6467)	-
0,15	13,70	13,00	13,00	-	Módulo de Finura (NBR 7217)	3,00
total	100,00	100,00	100	300,00	Dimensão Máxima Característica (mm)	4,80

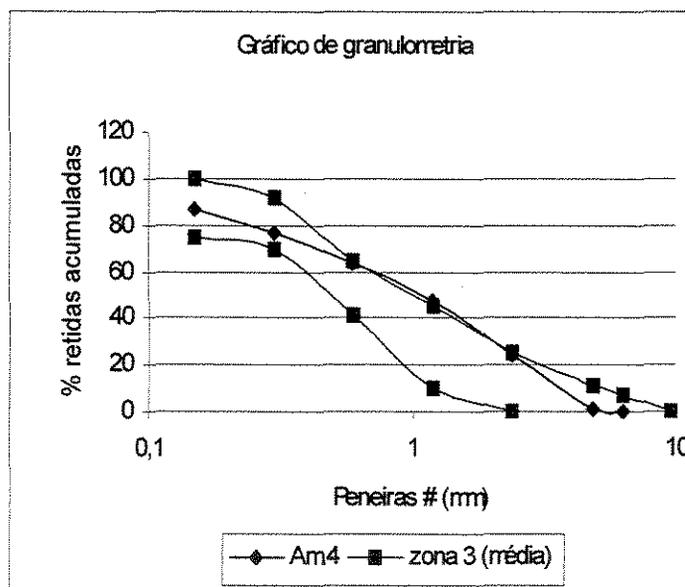


Tabela A.7 – Granulometria e características físicas da amostra nº 4 – Amostra estudada
Areia artificial de granito

Peneiras (mm)	Massas (g)		Porcentagens retidas		Dados físicos	
	Individual		Média	Acumulada		
	1ª det.	2ª det.				
6,3					Massa Específica (NBR 9776) (kg/l)	2,65
4,8					Massa Unitária (NBR 7251) (kg/l)	1,51
2,4	0,00	0,00	0,00	0,00	Materiais pulverulentos (NBR 7219) (%)	16,60
1,2	25,60	26,60	26,00	26,00	Argila em Torrões e Materiais Friáveis (NBR 7218) (%)	Isento
0,6	23,10	22,40	23,00	49,00	Impureza Orgânica (NBR 7220) (ppm)	Isento
0,3	18,80	17,90	18,00	67,00	Umidade Crítica (NBR 6467) (%)	4,20
0,15	14,50	14,60	15,00	82,00	Coefficiente de Inchamento Médio (NBR 6467)	1,37
0,15	18,00	18,50	18,00	-	Módulo de Finura (NBR 7217)	2,24
total	100,00	100,00	100	224,00	Dimensão Máxima Característica (mm)	2,40

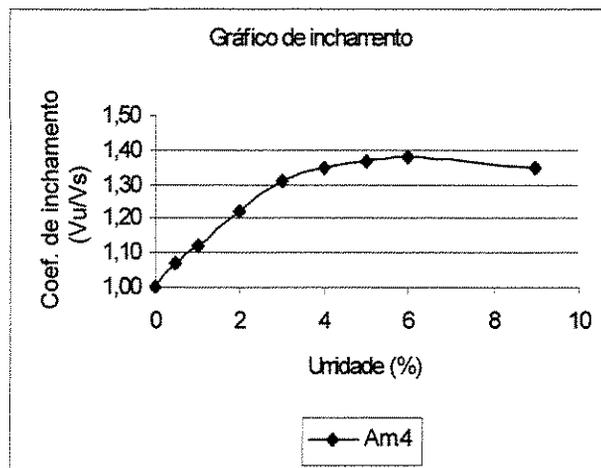
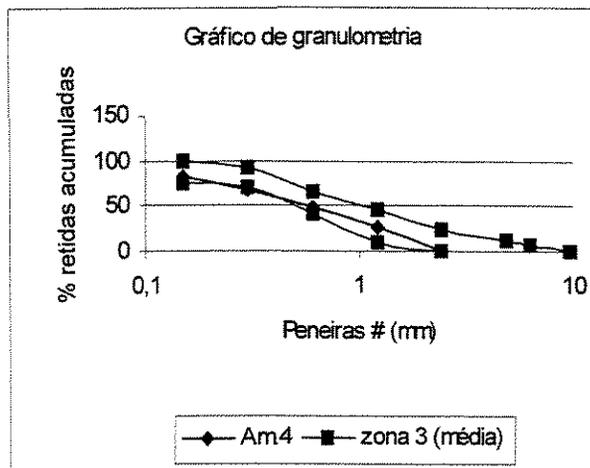


Tabela A.8 – Granulometria e características físicas da amostra nº 5 – Amostra original
Areia artificial de granito

Peneiras (mm)	Massas (g)		Porcentagens retidas		Dados físicos	
	Individual		Média	Acumulada		
	1ª det.	2ª det.				
6,3	0,00	0,00	0,00	0,00	Massa Específica (NBR 9776) (kg/l)	-
4,8	0,60	0,50	1,00	1,00	Massa Unitária (NBR 7251) (kg/l)	-
2,4	16,50	16,10	16,00	17,00	Materiais pulverulentos (NBR 7219) (%)	-
1,2	21,00	21,40	21,00	38,00	Argila em Torrões e Materiais Friáveis (NBR 7218) (%)	-
0,6	16,40	16,70	16,00	54,00	Impureza Orgânica (NBR 7220) (ppm)	-
0,3	17,10	17,10	17,00	71,00	Umidade Crítica (NBR 6467) (%)	-
0,15	16,80	16,50	17,00	88,00	Coefficiente de Inchamento Médio (NBR 6467)	-
0,15	11,60	11,70	12,00	-	Módulo de Finura (NBR 7217)	2,69
total	100,00	100,00	100	269,00	Dimensão Máxima Característica (mm)	4,80

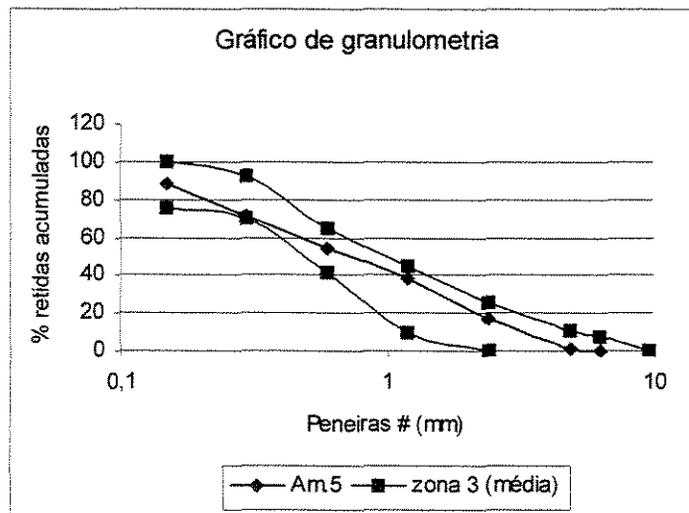


Tabela A.9 – Granulometria e características físicas da amostra nº 5 –Amostra estudada
Areia artificial de granito

Peneiras (mm)	Massas (g)		Porcentagens retidas		Dados físicos	
	Individual		Média	Acumulada		
	1ª det.	2ª det.				
6,3					Massa Específica (NBR 9776) (kg/l)	2,69
4,8					Massa Unitária (NBR 7251) (kg/l)	1,52
2,4	0,00	0,00	0,00	0,00	Materiais pulverulentos (NBR 7219) (%)	4,00
1,2	21,70	20,40	21,00	21,00	Argila em Torrões e Materiais Friáveis (NBR 7218) (%)	Isento
0,6	21,10	20,50	21,00	42,00	Impureza Orgânica (NBR 7220) (ppm)	Isento
0,3	26,50	22,70	25,00	67,00	Umidade Crítica (NBR 6467) (%)	3,10
0,15	19,20	22,10	20,00	87,00	Coefficiente de Inchamento Médio (NBR 6467)	1,26
0,15	11,50	14,30	13,00	-	Módulo de Finura (NBR 7217)	2,17
total	100,00	100,00	100	217,00	Dimensão Máxima Característica (mm)	2,40

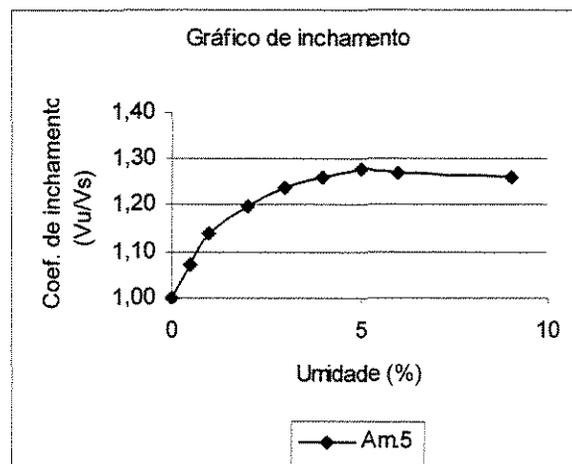
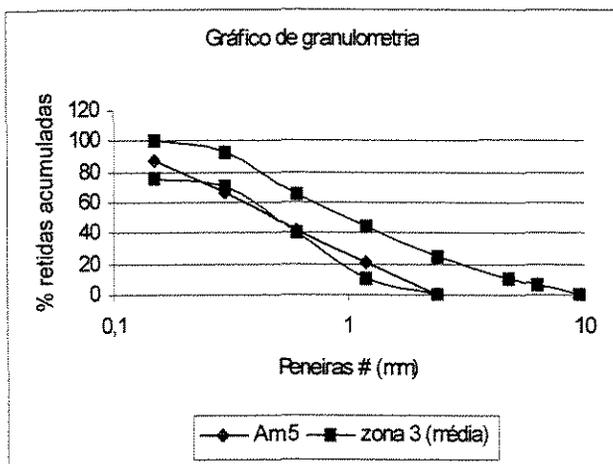


Tabela A.10 – Granulometria e características físicas da amostra nº 6 – Amostra original
Areia artificial de granito

Peneiras (mm)	Massas (g)		Porcentagens retidas		Dados físicos	
	Individual		Média	Acumulada		
	1ª det.	2ª det.				
6,3					Massa Específica (NBR 9776) (kg/l)	-
4,8	0,00	0,00	0,00	0,00	Massa Unitária (NBR 7251) (kg/l)	-
2,4	7,40	7,40	7,00	7,00	Materiais pulverulentos (NBR 7219) (%)	-
1,2	27,00	25,40	26,00	33,00	Argila em Torrões e Materiais Friáveis (NBR 7218) (%)	-
0,6	23,40	23,40	23,00	56,00	Impureza Orgânica (NBR 7220) (ppm)	-
0,3	16,20	16,80	17,00	73,00	Umidade Crítica (NBR 6467) (%)	-
0,15	11,20	11,80	12,00	95,00	Coefficiente de Inchamento Médio (NBR 6467)	-
0,15	14,80	15,20	15,00	-	Módulo de Finura (NBR 7217)	2,64
total	100,00	100,00	100	264,00	Dimensão Máxima Característica (mm)	4,80

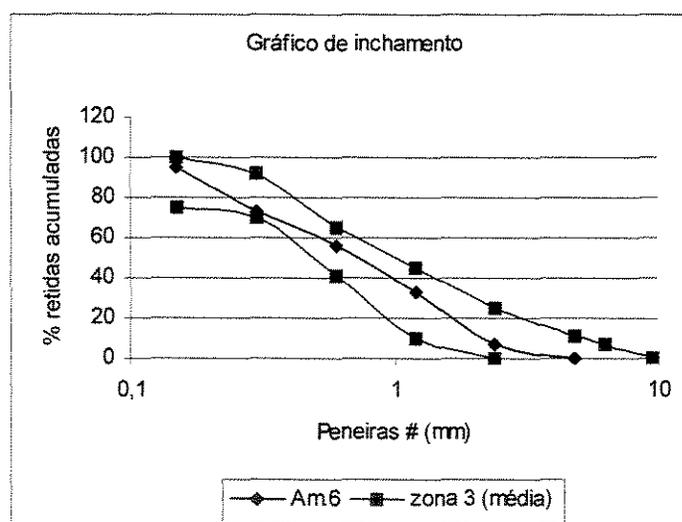


Tabela A.11 – Granulometria e características físicas da amostra nº 6 – Amostra estudada
Areia artificial de granito

Peneiras (mm)	Massas (g)		Porcentagens retidas		Dados físicos	
	Individual		Média	Acumulada		
	1ª det.	2ª det.				
6,3					Massa Específica (NBR 9776) (kg/l)	2,66
4,8					Massa Unitária (NBR 7251) (kg/l)	1,43
2,4	0,00	0,00	0,00	0,00	Materiais pulverulentos (NBR 7219) (%)	11,00
1,2	21,00	22,20	22,00	22,00	Argila em Torrões e Materiais Friáveis (NBR 7218) (%)	Isento
0,6	26,20	25,80	26,00	48,00	Impureza Orgânica (NBR 7220) (ppm)	Isento
0,3	19,40	20,20	19,00	67,00	Umidade Crítica (NBR 6467) (%)	2,70
0,15	14,20	13,80	14,00	81,00	Coefficiente de Inchamento Médio (NBR 6467)	1,18
0,15	19,20	18,00	19,00	-	Módulo de Finura (NBR 7217)	2,18
total	100,00	100,00	100	218,00	Dimensão Máxima Característica (mm)	2,40

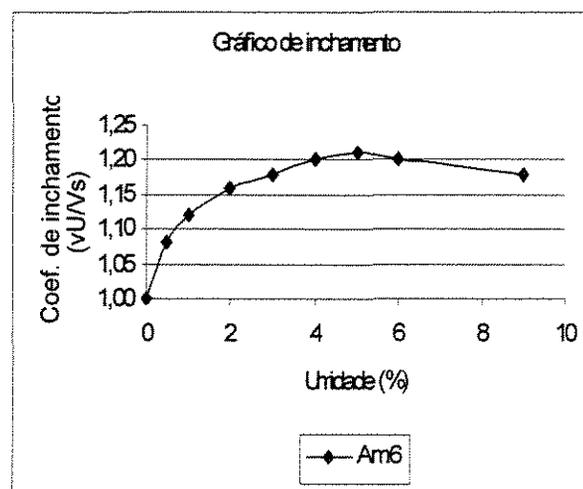
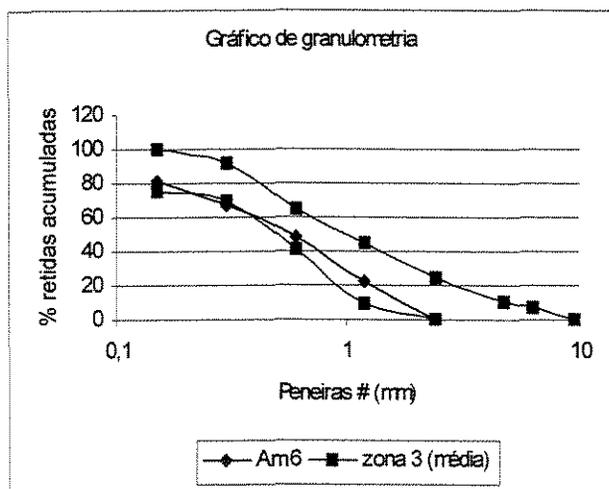


Tabela A.12 – Granulometria e características físicas da amostra nº 7 – Amostra original e estudada - Areia artificial de granito

Peneiras (mm)	Massas (g)		Porcentagens retidas		Dados físicos	
	Individual		Média	Acumulada		
	1ª det.	2ª det.				
6,3					Massa Específica (NBR 9776) (kg/l)	2,73
4,8	0,00	0,00	0,00	0,00	Massa Unitária (NBR 7251) (kg/l)	1,57
2,4	1,80	1,30	2,00	2,00	Materiais pulverulentos (NBR 7219) (%)	12,40
1,2	18,60	19,50	19,00	21,00	Argila em Torrões e Materiais Friáveis (NBR 7218) (%)	Isento
0,6	21,90	22,40	22,00	43,00	Impureza Orgânica (NBR 7220) (ppm)	Isento
0,3	19,60	18,60	19,00	62,00	Umidade Crítica (NBR 6467) (%)	3,80
0,15	15,30	14,20	15,00	77,00	Coefficiente de Inchamento Médio (NBR 6467)	1,26
0,15	22,80	24,00	23,00	-	Módulo de Finura (NBR 7217)	2,05
total	100,00	100,00	100	205,00	Dimensão Máxima Característica (mm)	2,40

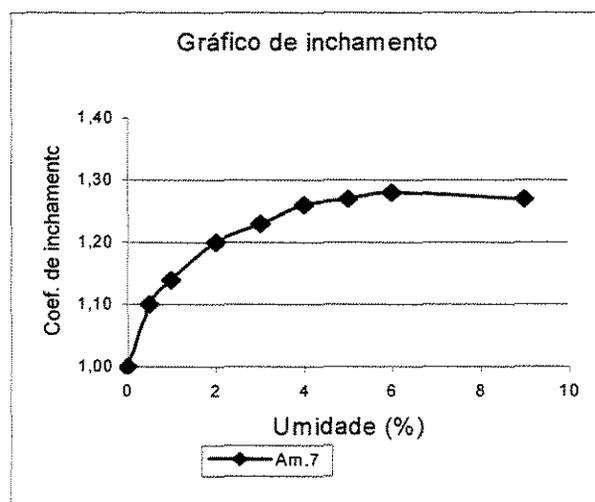
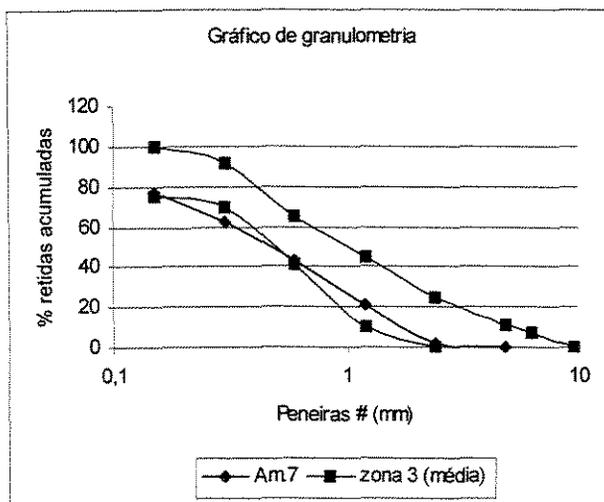


Tabela A.13 – Granulometria e características físicas da amostra nº 8 – Amostra original e estudada - Areia de rio

Peneiras (mm)	Massas (g)		Porcentagens retidas		Dados físicos	
	Individual		Média	Acumulada		
	1ª det.	2ª det.				
6,3	0,00	0,00	0,00	0,00	Massa Específica (NBR 9776) (kg/l)	2,62
4,8	1,60	2,60	2,00	2,00	Massa Unitária (NBR 7251) (kg/l)	1,47
2,4	3,40	3,60	4,00	6,00	Materiais pulverulentos (NBR 7219) (%)	1,1
1,2	10,40	9,40	10,00	16,00	Argila em Torrões e Materiais Friáveis (NBR 7218) (%)	Isento
0,6	28,00	26,40	27,00	43,00	Impureza Orgânica (NBR 7220) (ppm)	100
0,3	32,20	32,00	32,00	75,00	Umidade Crítica (NBR 6467) (%)	-
0,15	18,20	19,40	19,00	94,00	Coefficiente de Inchamento Médio (NBR 6467)	-
0,15	6,20	6,60	6,00	-	Módulo de Finura (NBR 7217)	2,36
total	100,00	100,00	100,00	236,00	Dimensão Máxima Característica (mm)	4,80

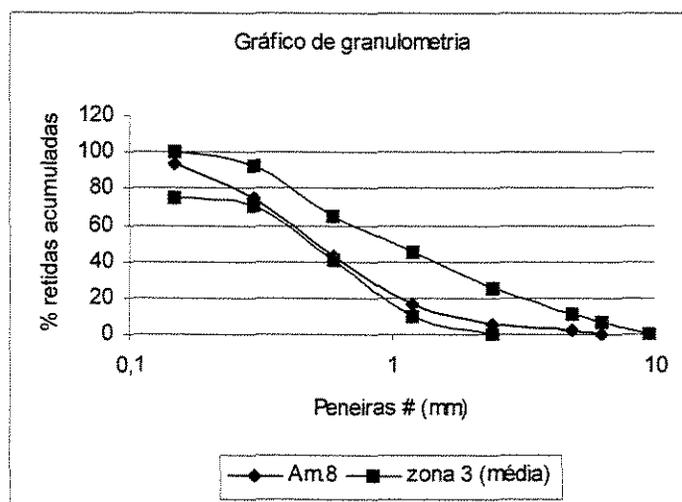


Tabela A.14 – Granulometria e características físicas da amostra nº 9 – Amostra original estudada - Areia de rio

Peneiras (mm)	Massas (g)		Porcentagens retidas		Dados físicos	
	Individual		Média	Acumulada		
	1ª det.	2ª det.				
6,3	0,00	0,00	0,00	0,00	Massa Específica (NBR 9776) (kg/l)	2,62
4,8	0,70	0,60	1,00	1,00	Massa Unitária (NBR 7251) (kg/l)	1,43
2,4	0,90	1,00	1,00	2,00	Materiais pulverulentos (NBR 7219) (%)	1,00
1,2	3,20	3,40	3,00	5,00	Argila em Torrões e Materiais Friáveis (NBR 7218) (%)	Isento
0,6	16,60	16,80	17,00	22,00	Impureza Orgânica (NBR 7220) (ppm)	100
0,3	41,20	41,00	41,00	63,00	Umidade Crítica (NBR 6467) (%)	4,10
0,15	31,00	30,40	30,00	93,00	Coefficiente de Inchamento Médio (NBR 6467)	1,23
0,15	6,40	6,80	7,00	-	Módulo de Finura (NBR 7217)	1,86
total	100,00	100,00	100,00	186,00	Dimensão Máxima Característica (mm)	1,20

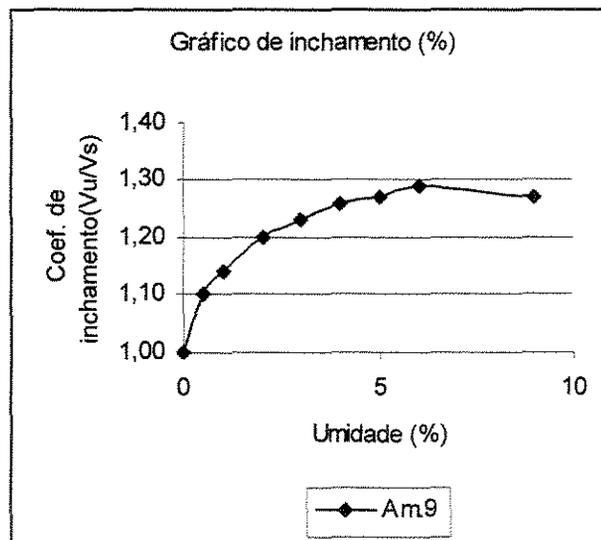
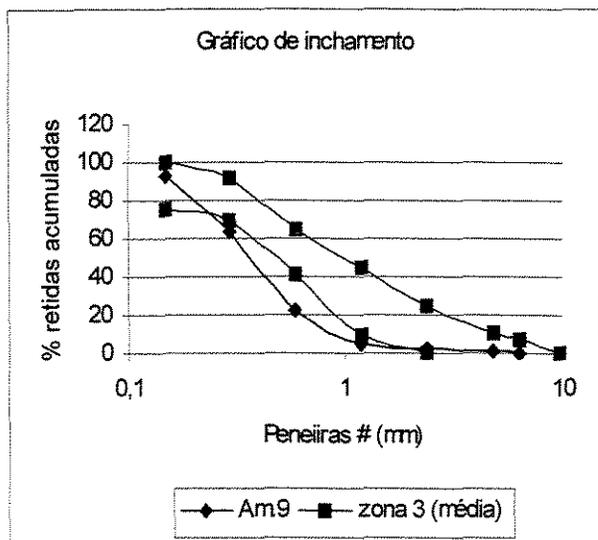


Tabela A.15 – Granulometria e características físicas da amostra nº 10 – Amostra original e estudada - Areia normal brasileira

Peneiras (mm)	Massas (g)		Porcentagens retidas		Dados físicos	
	Individual		Média	Acumulada		
	1ª det.	2ª det.				
6,3					Massa Específica (NBR 9776) (kg/l)	2,62
4,8	0,00	0,00	0,00	0,00	Massa Unitária (NBR 7251) (kg/l)	-
2,4	0,00	0,00	0,00	0,00	Materiais pulverulentos (NBR 7219) (%)	-
1,2	25,00	25,00	25,00	25,00	Argila em Torrões e Materiais Friáveis (NBR 7218) (%)	-
0,6	25,00	25,00	25,00	50,00	Impureza Orgânica (NBR 7220) (ppm)	-
0,3	25,00	25,00	25,00	75,00	Umidade Crítica (NBR 6467) (%)	-
0,15	25,00	25,00	25,00	100,00	Coefficiente de Inchamento Médio (NBR 6467)	-
0,15	-	-	-	-	Módulo de Finura (NBR 7217)	2,50
total	100,00	100,00	100	250,00	Dimensão Máxima Característica (mm)	2,40

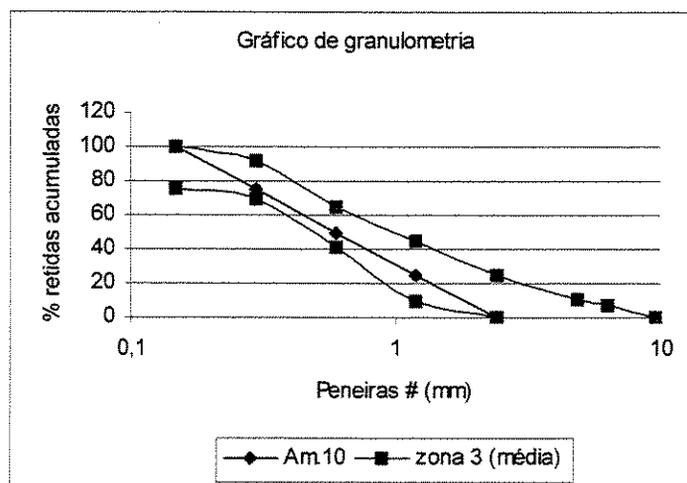
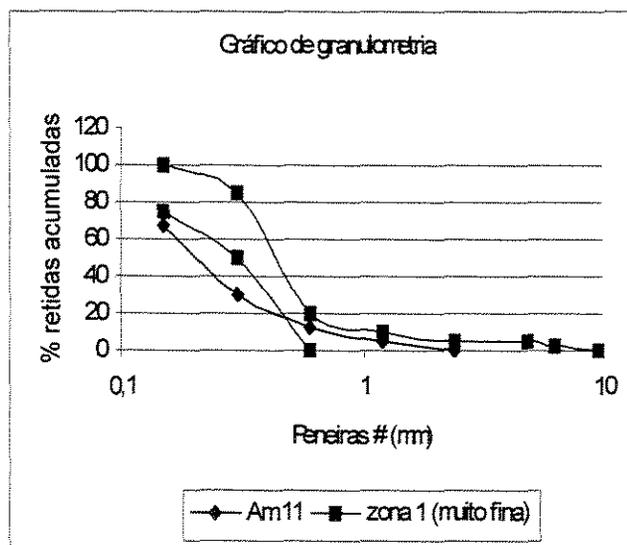


Tabela A.16 – Granulometria e características físicas da amostra nº 11 – Amostra original e estudada – Areia de quartzo ou Areia rosa

Peneiras (mm)	Massas (g)		Porcentagens retidas		Dados físicos	
	Individual		Média	Acumulada		
	1ª det.	2ª det.				
6,3					Massa Específica (NBR 9776) (kg/l)	2,65
4,8	0,00	0,00	0,00	0,00	Massa Unitária (NBR 7251) (kg/l)	1,34
2,4	0,00	0,00	0,00	0,00	Materiais pulverulentos (NBR 7219) (%)	3,00
1,2	6,40	4,40	5,00	5,00	Argila em Torrões e Materiais Friáveis (NBR 7218) (%)	0,27
0,6	6,70	6,80	7,00	12,00	Impureza Orgânica (NBR 7220) (ppm)	100,00
0,3	17,20	17,80	18,00	30,00	Umidade Crítica (NBR 6467) (%)	-
0,15	37,80	38,80	38,00	68,00	Coefficiente de Inchamento Médio (NBR 6467)	-
0,15	31,90	32,20	32,00	-	Módulo de Finura (NBR 7217)	1,15
total	100,00	100,00	100	115,00	Dimensão Máxima Característica (mm)	1,20



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, W. P. A. **Concretos: massa, estrutural, projetado e compactado com rolo: ensaios e propriedades** – autores: Equipe de Furnas, Laboratório de Concreto, Departamento de Apoio e Controle Técnico – São Paulo – 1997.

ARAÚJO, G. S.; TRISTÃO, F. A. Métodos de determinação de forma e área específica das areias para argamassa de revestimento. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 4., 2001, Brasília. **Anais...**Brasília: PECC/ANTAC, 2001. p. 279-289.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7214**: areia normal para ensaio de cimento - especificação. Rio de Janeiro, 1982a. 7 p.

_____. **NBR 7251**: agregado no estado solto –determinação da massa unitária – método de ensaio. Rio de Janeiro, 1982b. 3 p.

_____. **NBR 7809**: agregado graúdo - determinação do índice de forma pelo método do paquímetro– método de ensaio. Rio de Janeiro, 1983a. 3 p.

_____. **NBR 8215**: prismas de blocos vazados de concreto simples para alvenaria estrutural- preparo e ensaio à compressão - método de ensaio. Rio de Janeiro, 1983b. 4 p.

_____. **NBR 8490**: argamassas endurecidas para alvenaria estrutural – retração por secagem - método de ensaio. Rio de Janeiro, 1984a. 7 p.

_____. **NBR 8522**: concreto – determinação do módulo de deformação estática e diagrama tensão – deformação - método de ensaio. Rio de Janeiro, 1984b. 9 p.

_____. **NBR 8798**: execução e controle de obras em alvenaria estrutural de blocos vazados de concreto - procedimento. Rio de Janeiro, 1985. 15 p.

_____. **NBR 6467**: agregados – determinação do inchamento de agregado miúdo – método de ensaio. Rio de Janeiro, 1987a. 5 p.

_____. **NBR 7217**: determinação da composição granulométrica – método de ensaio. Rio de Janeiro, 1987b. 3 p.

_____. **NBR 7218**: determinação do teor de argila em torrões e materiais friáveis – método de ensaio. Rio de Janeiro, 1987c. 2 p.

_____. **NBR 7219**: determinação do teor de materiais pulverulentos – método de ensaio. Rio de Janeiro, 1987d. 2 p.

_____. **NBR 7225**: materiais de pedra e agregados naturais - terminologia. Rio de Janeiro, 1987e. 4 p.

_____. **NBR 9776**: agregados - determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco de Chapman – método de ensaio. Rio de Janeiro, 1987f. 3 p.

_____. **NBR 9935**: agregados - terminologia. Rio de Janeiro, 1987g. 6 p.

_____. **NBR 5732**: cimento Portland comum – especificação. Rio de Janeiro, 1991a. 5 p.

_____. **NBR 5733**: cimento Portland de alta resistência inicial – especificação. Rio de Janeiro, 1991b. 5 p.

_____. **NBR 5735**: cimento Portland de alto-forno – especificação. Rio de Janeiro, 1991c. 5 p.

_____. **NBR 5736**: cimento Portland pozolânico – especificação. Rio de Janeiro, 1991d. 5 p.

_____. **NBR 11578**: cimento Portland composto-especificação. Rio de Janeiro, 1991e. 5 p.

_____. **NBR 11579**: cimento Portland – determinação da finura por peneiramento – método de ensaio. Rio de Janeiro, 1991f. 3 p.

_____. **NBR 11580**: cimento Portland – determinação da água da pasta de consistência normal – método de ensaio. Rio de Janeiro, 1991g. 3 p.

_____. **NBR 11581**: cimento Portland – determinação dos tempos de pega-método de ensaio. Rio de Janeiro, 1991h. 3 p.

_____. **NBR 11582**: cimento Portland – determinação da expansibilidade de Le Chatelier-método de ensaio. Rio de Janeiro, 1991i. 2 p.

_____. **NBR 7389**: apreciação petrográfica de materiais naturais, para utilização como agregado em concreto. Rio de Janeiro, 1992. 7 p.

_____. **NBR 6136**: bloco vazado de concreto simples para alvenaria estrutural. especificação. Rio de Janeiro, 1994. 6 p.

_____. **NBR 9779**: argamassa e concreto endurecido – determinação da absorção de água por capilaridade – método de ensaio. Rio de Janeiro, 1995a. 2 p.

_____. **NBR 13276**: argamassa para assentamento de paredes e revestimentos de paredes e tetos – determinação do teor de água para obtenção do índice de consistência padrão – método de ensaio. Rio de Janeiro, 1995c. 3 p.

_____. **NBR 13277**: argamassa para assentamento de paredes e revestimentos de paredes e tetos – determinação da retenção de água – método de ensaio. Rio de Janeiro, 1995d. 2 p.

_____. **NBR 13278**: argamassa para assentamento de paredes e revestimentos de paredes e tetos – determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado-método de ensaio. Rio de Janeiro, 1995e. 2 p.

_____. **NBR 13279**: argamassa para assentamento de paredes e revestimentos de paredes e tetos – determinação da resistência à compressão - método de ensaio. Rio de Janeiro, 1995f. 2 p.

_____. **NBR NM 46**: agregados – determinação do material fino que passa através da peneira de 75 µm por lavagem. Rio de Janeiro, 1995g. 6 p.

_____. **NBR 7215**: cimento Portland – determinação da resistência à compressão – método de ensaio. Rio de Janeiro, 1996. 8 p.

_____. **NBR 7200**: execução de revestimento de paredes e tetos de argamassa inorgânica - procedimento. Rio de Janeiro, 1998a. 13 p.

_____. **NBR NM 76**: cimento Portland – determinação da finura através do permeabilímetro de Blaine. Rio de Janeiro, 1998b. 12 p.

_____. **NBR 9289**: cal hidratada para argamassas- determinação da finura – método de ensaio. Rio de Janeiro, 2000. 5 p.

_____. **NBR 9205**: cal hidratada para argamassas- determinação da estabilidade – método de ensaio. Rio de Janeiro, 2001a. 5 p.

_____. **NBR NM 23**: cimento Portland e outros materiais em pó – determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 2001b. 5 p.

_____. **NBR NM 26**: agregados – amostragem. Rio de Janeiro, 2001c. 10 p.

_____. **NBR NM 27**: agregados – redução de amostra de campo para ensaio de laboratório. Rio de Janeiro, 2001d. 7 p.

_____. **NBR NM 49**: agregado miúdo – determinação de impurezas orgânicas. Rio de Janeiro, 2001e. 3 p.

_____. **NBR 6453**: cal virgem para construção civil – requisitos. Rio de Janeiro, 2003a. 3 p.

_____. **NBR 7175**: cal hidratada para argamassas – especificação. Rio de Janeiro, 2003b. 4 p.

_____. **NBR 7211**: agregados para concreto - especificação. Rio de Janeiro, 2003c (em revisão).

_____. **NBR NM ISO 3310-1**: peneiras de ensaio – requisitos técnicos e verificação. Parte 1 – peneiras de ensaio com tela de tecido metálico. Rio de Janeiro, 1997. 12 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS PRODUTORES DE CAL. **Negócios da cal**, São Paulo, n. 81, jun. 2003. Disponível em: <<http://www.abpc.org.br>>. Data de acesso: 19/06/2003.

_____. **O Setor da cal no Brasil**. Disponível em: <<http://www.abpc.org.br>>. Data de acesso: 19/06/2003.

BALAYSSAC, J. P. **Relations entre performances mecaniques, microstructure et durabilite des betons**. Toulouse, INSA – UPS, 1992. Tese (Doutorado) – INSA-UPS, 1992.

BASTOS, P. K.; DÉTRICHE, C. H.; BALAISSAC, J. P.; CINCOTTO, M. A. Retração e desenvolvimento de propriedades mecânicas em argamassas mistas de revestimento. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 4., 2001, Brasília. **Anais...**Brasília: PECC/ANTAC, 2001. p. 69-85.

BASTOS, P. K.; CINCOTTO, M. A. Retração e desenvolvimento de propriedades mecânicas em argamassas de revestimento. ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, v. 4., Porto Alegre, 2002. p. 57-70.

BAUER, R. J. F.; TAKASHIMA, S.; CURTI, R. Estudo de concreto preparados com agregado miúdo artificial, areia de rio e silicosa. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 42.,

1998, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro do Concreto, 1998, T-11, 52 p. CD.

BITAR, O. Y. Desafio à sustentabilidade ambiental da mineração e uso de agregados naturais em áreas urbanas. In: SEMINÁRIO – DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E RECICLAGEM NA CONSTRUÇÃO CIVIL , 2. 1999, São Paulo. **Anais...** São Paulo: Comitê Técnico CT 206 – Meio ambiente- IBRACON,1999. p. 01-13.

BOLORINO, H.; CINCOTTO, M. A..Influência do tipo de cimento nas argamassas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 2., 1997, Salvador. **Anais...**Salvador: CETAC/ANTAC, 1997. p. 15-25.

BOLORINO, H.; CINCOTTO, M. A. Adequação de traços de argamassa mista conforme o tipo de cimento. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 23., 1999, Vitória. **Anais...**Vitória: PPGE/ANTAC, 1999. p. 183-199.

BONIN, L. C.; FEUERHARMEL, C.; CARNEIRO, A. M. P.. Estudo da influência da distribuição granulométrica na trabalhabilidade da argamassa. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 3., 1999, Vitória. **Anais...**Vitória: PPGE/ANTAC, 1999. v. 1, p. 371-378.

BONIN, L. C.; KOPSCHITZ, P. X.; CINCOTTO, M. A.. Influência da distribuição granulométrica na absorção capilar das argamassas de revestimento. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 3., 1999, Vitória. **Anais...**Vitória: PPGE/ANTAC, 1999. v. 1, p. 379-387.

BORTOLUZZO, C. W.; LIBÓRIO, J. B. L..Determinação das tensões devido a retração impedida em argamassas de revestimento. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 3., 1999, Vitória. **Anais...**Vitória: PPGE/ANTAC, 1999. v. 1, p. 125-136.

BOMBLED, J. P.; KALVENES, O. Comportement rhéologique des pâtes, mortiers et bétons: mesure, évolution, influence de certains paramètres. **Revue des Matériaux de Construction “Ciments et Bétons”**, n. 617, 1967.

BONAVETTI, V. L.; CABRERA, O. A. Efecto del polvo de piedra en hormigones estructurales. In: XXVI JORNADAS SUDAMERICANAS DE INGENIERIA ESTRUCTURAL. 26., 1993, Monevideo, Uruguai. **Anais...** Montevideo: 1993. v. 4, p. 221-32.

BUCHER, H. R. E. Agregados para concreto. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE AGREGADOS. 1. 1986 São Paulo. **Anais...** São Paulo: Núcleo de Ligação Industrial – EPUSP, 1986, p. 07-16.

CABRERA, O. A.; DONZA, H. A. Estrutura y propiedades de los hormigones de alta performance com agregados triturados. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIMENTO, 5. 1999, São Paulo. **Anais...** São Paulo: Associação Brasileira de Cimento Portland, 1999, 2-21, CD, 13 p.

CAMARINI, G. **Desempenho de misturas cimento Potland e escória de alto-forno submetida à cura térmica**. 1995. 251 f. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – São Paulo.

CARASEK, H.; CASCUDO, O.; SCARTEZINI, L. M.. Importância dos materiais na aderência dos revestimentos de argamassa. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 4., 2001, Brasília. **Anais...**Brasília: PECC/ANTAC, 2001. p. 43-67.

CARNEIRO, A. M. P.; CINCOTTO, M. A. Dosagem de argamassas através de curvas granulométricas. **Boletim Técnico**. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – Departamento de Engenharia de Construção Civil – BT/PCC/237, São Paulo. 14 p. 1999.

CARNEIRO, A. M. P.; MUNIZ, L. dos S.. Estudo de misturas binárias de areias provenientes da cidade de Belém e da Ilha de Marajó, cidade de Salva - Terra. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 4., 2001, Brasília. **Anais...**Brasília: PECC/ANTAC, 2001. p. 265-278.

CARNEIRO, A. M. P.; BARATA, M. S.; LIMA, J. M.; QUARESMA, G. L. Otimização de misturas binárias de agregados para produção de concreto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 44^o, 2002, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: Instituto Brasileiro do Concreto – IBRACON, 2002. III - 062. 13 p. CD.

CAVALHEIRO, O. P. Argamassa de assentamento: Receita, dosagem ou adequação de traço? In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 1., 1995, Goiânia. **Anais...**Goiânia: UFG/ANTAC, 1995, p. 134-142.

CAVANI, G. R.; ANTUNES, R. P. N.; JOHN, V. M. Influência do teor de ar incorporado na trabalhabilidade das argamassas mistas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 2., 1997, Salvador. **Anais...**Salvador: CEPED/UFBA/ANTAC, 1997, p. 110-119.

CELIK, T.; MARAR, K. Effects of crushed stone on some properties of concret. **Cement and Concret Research**, U.S.A., v. 26, n.7, p. 1121-1130, 1996.

CHAPPUIS, J. Rheological measurements with cement pastes in viscosimeters: a comprehensive approach. In: RHEOLOGY OF FRESH CEMENT AND CONCRETE. University of Liverpool, march, 1990. **Proceedings**. Edited by P. F. G. Banfill. Liverpool, E. e F. N. SPON, 1991, p. 3-12.

CINCOTTO, M. A.; SILVA, M. A. C.; CASCUDO, H. C. **Argamassa de revestimento: Características, propriedades e método de ensaio**. São Paulo: Boletim 68, IPT- Instituto de Pesquisas Tecnológicas S/A, 1995. 118 p.

CINCOTTO, M. A.; CARNEIRO, A. M. P. Estudo da influência da distribuição granulométrica nas propriedades de argamassas dosadas por curva granulométrica. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 3., 1999a, Vitória. **Anais...** Vitória: PPGE/ANTAC, 1999. v. 1, p. 03-26.

CINCOTTO, M. A.; CARNEIRO, A. M. P. Discussão dos métodos de determinação da massa unitária de areia para argamassas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 3., 1999, Vitória. **Anais...** Vitória : PPGEC/ANTAC, 1999b. v. 1, p. 59-68.

COPELAND, R. E.; SAXER, E. L. Tests of structural bond of masonry mortars to concrete block. **Journal of the American Concrete Institute, Proceedings**, v. 61, n. 11, nov. 1964. P. 1411-1452.

CUCHIERATO G. Caracterização tecnológica de resíduos da mineração de agregados da região metropolitana de São Paulo (RMSP), visando seu aproveitamento econômico. 2000. **Dissertação** (Mestrado em Geociências) – Programa de Pós-Graduação do Instituto de Geociências, USP, São Paulo.

CUNHA, E. H. da; GUIMARÃES, G. N.; CARASEK, H. Influência do tipo de argamassa na resistência à compressão da alvenaria estrutural. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 4., 2001, Brasília. **Anais...** Brasília: PECC/ANTAC, 2001. p. 397-408.

DHIR, R. K.; HEWLETT, P. C.; CHAN, Y. N. Near – surface characteristics of concrete: intrinsic permeability. **Magazine of Concrete Research**, v 41, n 147, p. 87-97, jun. 1989.

DHIR, R. K.; JONES, M. R.; AHMED, H. E. H. Determination of total and soluble chlorides in concrete. **Cement and Concrete Research**, v. 20, n4, p.579-90. Apr. 1990.

DINKU, A.; REINHARDT, H. W. Gas permeability coefficient of cover concretes as a performance control. **Material and Structure**, v. 30, p. 387-93, aug./sep., 1997.

FIORITO, J. S. I. **Manual de Argamassas e Revestimento**. São Paulo: Editora Pini, 1994. 223 p.

FUGIMURA, F.; SOARES, L.; HENNIES, W. T.; SILVA, M. A. R. Environmental issue and profitable uses of stone quarry fines. In: INTERNACIONAL CONFERENCE ON

ENVIRONMENTAL ISSUES AND WASTE MANAGEMENT IN ENERGY AND MINERAL PRODUCTION, 4., Cagliari, 1996. **Environmental issues and waste management in energy and mineral production** : proceedings. Cagliari: Digita/Universita di Cagliari, 1996. v.2, p. 959-66.

GALLEGOS, H..Adhesión entre mortero y las unidades de albañilería. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 1., 1995, Goiânia. **Anais...Goiânia** : UFG/ANTAC, 1995, p. 117-133.

GODOY, E. H. P. de; BARROS, M. S. B..Contribuição ao estudo da influência do teor de polímeros nas propriedades das argamassas de cimento Portland. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 3., 1999, Vitória. **Anais...Vitória**: PPGEC/ANTAC, 1999. v. 1, p. 249-265.

GODOY, E. H. P. de; BARROS, M. S. B..Proposta de procedimento de ensaio para avaliação do módulo de deformação de argamassas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 3., 1999, Vitória. **Anais...Vitória** : PPGEC/ANTAC, 1999. v. 1, p. 159-167.

GOMES, A.de O.; NEVES, C. M. M. Proposta de método de dosagem racional de argamassas contendo argilominerais. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 4., 2001, Brasília. **Anais...** Brasília: PECC/ANTAC, 2001. p. 291-304.

GRIGOLI, A. S. Adições minerais inertes em argamassas de areia e cimento. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 43', 2001 Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu: Instituto Brasileiro do Concreto – IBRACON, 2001. I-006, 18 p. CD.

GRIGOLI, A. S. Concreto estrutural executado com agregado miúdo muito fino da formação geológica do arenito de Caiuá, na região noroeste do Paraná. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 43', 2001, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu: Instituto Brasileiro do Concreto – IBRACON, 2001. IV- 012. 16 p. CD.

GRIGOLI, A. S.; HELENE, P. R. L. Concreto com adições inertes. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 44., 2002, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: Instituto Brasileiro do Concreto – IBRACON, 2002. III - 023. 15 p. CD.

GOMES, A. de O.; NEVES, C. M. M. Proposta de método de dosagem racional de argamassas contendo argilominerais. **Ambiente construído**, Porto Alegre, v. 2, n.2 p. 19-30, abr./jun. 2002.

GONÇALVES, M.; ARTHUSO, V. M.; DEGUTI, R.; OHASHI, T. Produção de areia de brita com qualidade. **Areia & Brita**, n. 10, p. 20-5, abr/jun. 2000.

GUIMARÃES, J. E. P. **A Cal. Fundamentos e aplicações na engenharia civil**. São Paulo. Editora Pini, 2001. 341 p.

GUIMARÃES, J. E. P.; CINCOTTO, M. A.; NÓBREGA, M. T. A evolução da consolidação dos revestimentos das alvenarias com argamassas contendo cal hidratada. In: SEMINÁRIO SOBRE ARGAMASSAS – **Reunião anual**, 1985, São Paulo, IBRACON, 1985.

HOPPE FILHO, J.; ISAIA, G. C.; GASTALDINI, A. L. G. Durabilidade frente a permeabilidade ao oxigênio e absorção capilar de água de concreto com altos teores de adições minerais e incorporação de cal hidratada. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 44., 2002, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: Instituto Brasileiro do Concreto – IBRACON, 2002. III - 032. 16 p. CD.

HELENE, P. R. L. **Contribuição ao estudo da corrosão em armaduras de concreto armado**. 1993. 321 p. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – São Paulo.

ISA, M. M.; HELENE, P. R. L. Influência de uma composição de agregados nas propriedades físicas da argamassa de reparo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIMENTO, 5. 1999, São Paulo. **Anais...** São Paulo: Associação Brasileira de Cimento Portland, 1999, 2-30, CD,6 p.

JOHN, V. M. Panorama sobre reciclagem de resíduos na construção civil. In: SEMINÁRIO – **DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E RECICLAGEM NA CONSTRUÇÃO CIVIL**, 2.

1999, São Paulo. **Anais...** São Paulo: Comitê Técnico CT 206 – Meio ambiente- IBRACON, 1999.

_____. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS PRODUTORES DE CAL. **Negócios da cal**, São Paulo, n. 81, jun. 2003. Disponível em: <<http://www.abpc.org.br>>. Data de acesso: 19/06/2003.

KREMPEL, A. F.; CREVILARO, C. C.; PAULON, V. A. Adição de pó como fator econômico e de durabilidade. In: INSTITUTO BRASILEIRO DO CONCRETO, Reunião anual de 1992, Curitiba. **Anais...** Curitiba: Instituto Brasileiro do Concreto – IBRACON, 1992. Paper 34.13. 14 p.

KUDO, E. K.; MARTINS NETO, M. L. Estudo dos métodos de determinação do módulo de deformação estático e dinâmico. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 4., 2001, Brasília. **Anais...**Brasília: PECC/ANTAC, 2001. p. 345-354.

LARA, D.; NASCIMENTO, O.; MACEDO, A.; GALLO, G.; PEREIRA, L.; POTY, E. Dosagem das argamassas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 1., 1995, Goiânia. **Anais...**Goiânia: UFG/ANTAC, 1995, p. 63-72.

MARTINS, A. R. **Efeito da cura térmica e de cimentos com escória granulada de alto-forno na durabilidade do concreto de cobrimento**. 2001. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia Civil – Universidade estadual de Campinas, São Paulo.

MARTINS NETO, A. A. A.; DJANIKIAN, J. G. Aspecto de desempenho da argamassa dosada em ceatral. **Boletim Técnico**. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – Departamento de Engenharia de Construção Civil – BT/PCC/235, São Paulo. 23 p. 1999.

MEHTA, P.K e MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: Estrutura, Propriedades e Materiais**. São Paulo: Editora Pini, 1994.

MIRANDA, L. F. R.; SELMO, S. M. S. Avaliação de argamassas com entulhos reciclados, por procedimentos racionais de dosagem. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 3., 1999, Vitória. **Anais...** Vitória: PPGEC/ANTAC, 1999.v. 1, p. 295-307.

NEVES, L.; LIMA, J. R. B. Finos de britagem como agregado substituto às areias naturais. Um estudo de caso. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 42, 2000 Fortaleza. **Anais...** São Paulo: Instituto Brasileiro do Concreto – IBRACON, 2000. Paper IV 006. CD.

NEVES, L. **Aplicação dos finos gerados pela produção de pedras britadas graníticas no concreto pré-misturado em substituição às areias naturais.** 2001. 129 p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.

NEVILLE, A. M. – **Propriedade do Concreto.** São Paulo: Editora Pini, 1994

PAES, I. N. L.; ANDRADE, M. A. S. de; ANGELIM, R. R.; HASPARYK, N. P.; OLIVEIRA, R. A. de; PASSOS, J. S.; THON, D. G. e CARASEK, H. O efeito de finos calcário nas propriedades da argamassa de revestimento. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 3., 1999, Vitória. **Anais...** Vitória: PPGEC/ANTAC, 1999.v. 1, p. 335-347.

PAPADAKIS, M. Rhéologie des suspensions de ciment. **Revue des Matériaux de Construction et de Travaux Publics**, n. 476, 1995, p. 121-37,

PAULON, V. A. **Estudos da microestrutura da zona de transição entre a pasta de cimento e o agregado.** 1991. 190 p. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – São Paulo.

PERRATON, D.; AITCIN, P. C.; CARLES – GIBERGUES, A. Permeability, as seen by the reserch. In: MALIER, Y., Ed. **High performance concrete: from material to structure.** London: E & F N Spon, 1992.

PETRUCCI (1), E.G.R. **Materiais de Construção.** Porto Alegre: Editora Globo, 1976. 435 p.

PETRUCCI (2), E.G.R. **Concreto de Cimento Portland.** Porto Alegre: Editora Globo, 1971. 269 p.

RAGO, F.; CINCOTTO, M. A. A reologia da pasta de cimento e a influência da cal. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 1., 1995, Goiânia. **Anais...**Goiânia: UFG/ANTAC, 1995, p. 25-32.

_____. Influência do tipo de cal hidratada nas propriedades de pastas cimento - cal. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 2., 1997, Salvador. **Anais...**Salvador: CEPED/UFBA/ANTAC, 1997, p. 99-109.

_____. Influência do tipo da cal hidratada na reologia de pastas. Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP. Departamento de Engenharia de Construção Civil. São Paulo, BT/PCC/233, 1999, 24 p.

SABBATINI, F. H. Agregados miúdos para argamassas de assentamento. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE AGREGADOS. 1. 1986 São Paulo. **Anais...** São Paulo: Núcleo de Ligação Industrial – EPUSP, 1986, p. 17-25.

_____. Doutor em alvenaria estrutural. **Revista Prisma**, São Paulo, n.8 p. 05-11, mar. 2003.

SALLES, F. M.; CARVALHO, P. A. de; BUCHALA, E.; PEREIRA, P. N. Característica e desempenho de concreto confeccionados com areia artificial para obras do complexo Canoas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 42., 1998, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro do Concreto, 1998, T-13, 30 p. CD.

SANJUÁN, M. A.; MUÑOZ-MARTIALAY, R. Variability of the concrete air permeability coefficient with time. *Building and Environment*. V 32, n1, p. 51-5, 1997.

SBRIGHI NETO, C. O uso do pó de pedra em concreto. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE AGREGADOS. 1. 1986 São Paulo. **Anais...** São Paulo: Núcleo de Ligação Industrial – EPUSP, 1986, p. 143-152.

SELMO, S. M. S. Agregado miúdo para argamassa de revestimento. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE AGREGADOS, 1., 1986, São Paulo. **Anais...** São Paulo: Núcleo de Ligação Industrial - EPUSP, 1986., p. 27-43.

SELMO, S. M. S. **Dosagem de argamassas de cimento Portland e cal para revestimento externo de fachada de edifícios.** 1989. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Construção Civil) – Programa de Pós-Graduação da Escola Politécnica, Departamento de Engenharia de Construção Civil, USP, São Paulo.

SIQUEIRA, N. M.; CINCOTTO, M.A. ; JOHN, V. M. Influência da fração carbonática da cal hidratada no desempenho de revestimentos em argamassas de camada única. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 1., 1995, Goiânia. **Anais...**Goiânia: UFG/ANTAC, 1995, p. 295-304.

SOARES, L.; FUGIMURA, F.; BLASQUES JUNIOR, M.; RACHEL, R. M.; BRAGA, J. M. S. Areias naturais: materiais de construção cada vez mais escasso na RMSP. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE TECNOLOGIA METALÚRGICA E DE MATERIAIS, 2., São Paulo, 1997. **Programa final e informações gerais.** São Paulo: ABM, 1997. P. 54.

STEIL, R., de O; CALÇADA, L. M. L.; OLIVEIRA, A. L de.; MARTINS, V. da C.; PRUDÊNCIO JR, L. R.. Influência do tipo de argamassa no fator de eficiência e na deformabilidade de alvenarias estruturais de blocos de concreto. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 4., 2001, Brasília. **Anais...** Brasília: PECC/ANTAC, 2001. p. 423-434.

TERRA, L. E. M. Finos de pedreira para confecção de concreto estrutural. In: SEMINÁRIO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E A RECICLAGEM NA CONSTRUÇÃO CIVIL: PRÁTICAS RECOMENDADAS, 3., São Paulo, 2000. **Comitê Técnico 206 Meio Ambiente.** São Paulo: IBRACON, 2000. p. 65-71.

TRISTÃO, F. A.; ROMAN, H. R..Análise do método de ensaio para determinação da exsudação de água em argamassa de revestimento. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 3., 1995, Vitória. **Anais...** Vitória: PPGEC/ANTAC, 1999, p. 107-112.

VALVERDE, F. M. Mineração de areia e brita e a preservação ambiental. In: SEMINÁRIO – DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E RECICLAGEM NA CONSTRUÇÃO CIVIL, 2. 1999, São Paulo. **Anais...** São Paulo: Comitê Técnico CT 206 – Meio ambiente- IBRACON, 1999, p. 087-101.

VALVERDE, F. M. Agregados para construção civil. **Balanço Mineral Brasileiro 2001**. São Paulo. Associação Nacional das Entidades de Produtores de Agregados para Construção – ANEPAC, 2001, 15 p.

VALVERDE, F. M. **Agregados para construção civil**. Associação Nacional das Entidades de Produtores de Agregados para Construção – ANEPAC, 2003.

VEIGA, F. N.; BITTENCOURT, R. M.; ANDRADE, W. P. Influência da adição de filer de calcário na carboatação do concreto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 40, 1998, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro do Concreto – IBRACON, 1998. T-21, 25 p. CD.

WINSLOW, D.;LIU, D..The pore structure of paste in concrete.**Cement and Concrete Research**, v. 20, 1990. p. 227-235.

YOSHIDA, A. T.; BARROS, M. M. S. B. Caracterização de argamassas no estado fresco. Peculiaridades na análise de argamassas industrializadas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 1., 1995, Goiânia. **Anais...**Goiânia: UFG/ANTAC, 1995, p. 53-62.

YSSORCHE, M. P.; BIGAS, J. P. OLLIVIER, J. P. Mesure de la perméabilité à l'air des betons au moyen d'un perméamètre à charge variable. **Material and Structure**, v 28, p. 401-05, 1995.