

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL  
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: CONSTRUÇÃO CIVIL (NORIE)

**CONTRIBUIÇÃO AO ESTUDO DAS PROPRIEDADES DE ARGAMASSAS COM SAIBRO DA  
REGIÃO DE MACEIÓ (AL) PARA REVESTIMENTOS**

**GEORGE ANDRÉ BARBOSA CHAVES ARAÚJO**

**ORIENTADORA: DENISE CARPENA COUTINHO DAL MOLIN**

DISSERTAÇÃO APRESENTADA AO CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL, COMO PARTE DOS REQUISITOS PARA OBTENÇÃO DO TÍTULO DE MESTRE EM ENGENHARIA.

Porto Alegre

1995

Esta dissertação foi julgada adequada para obtenção do título de **MESTRE EM ENGENHARIA** e aprovada em sua forma final pelo Orientador e pelo Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil.

---

**Prof<sup>a</sup>. Denise Carpena Coutinho Dal Molin** – Dra. pela Universidade de São Paulo  
Orientadora

---

**Prof<sup>a</sup>. Denise Carpena Coutinho Dal Molin** – Dra. pela Universidade de São Paulo  
Coordenadora do curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil

BANCA EXAMINADORA

**Prof. Denise Carpena Coutinho Dal Molin (Orientadora)**

Dra. pela Universidade de São Paulo

**Prof. Sílvia M. de Souza Selmo**

M.Sc. pela Universidade de São Paulo

**Prof. Cláudio de Souza Kazmierczak**

Dr. pela Universidade de São Paulo

**Prof. Hélio Adão Greven**

Ph.D. pela Universidade Hannover

**Prof. Ronaldo Bastos Duarte**

Ph.D. pela Universidade de Edinburgh

“Nunca saberás o bastante  
enquanto não souberes o que  
é mais que bastante”

***W. Blake***

Aos meus pais **Antônio** e **Leane**.

Aos manos **Leila** e **Daniel**.

À **Carla**.

## AGRADECIMENTOS

À Amiga e Orientadora Professora **Denise Dal Molin**, pela orientação e apoio transmitidos ao longo desses anos de trabalho.

À Professora **Silvia Selmo**, pela colaboração, incentivo e valiosas contribuições no transcurso deste trabalho.

Aos professores **Carin Schmidt, Carlos Torres Formoso, Hélio Adão Greven, Luis Carlos Bonin e Miguel Aloísio Sattler**, pela experiência transmitida no decorrer do curso.

A todos os funcionários do **Núcleo de Pesquisas Tecnológicas** da Universidade Federal de Alagoas, pelo auxílio na execução dos ensaios.

A todos os amigos do **Norie**, especialmente para Adriana Silveira, Aguinaldo dos Santos, Antônio César, Elvira Lantelme, Humberto Júnior, Ismael Bicca, Márcia Albuquerque, Margô, Marcelo Benetti, Marlova Kulakowski, Maurício Bernardes, Newton Fonseca, Paulo Aranha, Paulo Sérgio, Rômulo Giralt, pelo estímulo, amizade e apoio ao longo destes anos de convivência.

A todos aqueles que, direta ou indiretamente, colaboraram de alguma forma para o desenvolvimento desse trabalho.

**CONTRIBUIÇÃO AO ESTUDO DAS PROPRIEDADES DE ARGAMASSAS COM SAIBRO DA REGIÃO DE MACEIÓ (AL)  
PARA REVESTIMENTOS**

**SUMÁRIO**

<b>DEDICATÓRIA</b>	<b>IV</b>
<b>AGRADECIMENTOS</b>	<b>V</b>
<b>SUMÁRIO</b>	<b>VI</b>
<b>NOTAÇÃO E NOMENCLATURA</b>	<b>X</b>
<b>LISTA DE TABELAS</b>	<b>XII</b>
<b>LISTA DE FIGURAS</b>	<b>XV</b>
<b>RESUMO</b>	<b>XVIII</b>
<b>“ABSTRACT”</b>	<b>XIX</b>
<b>I. INTRODUÇÃO</b>	<b>1</b>
<b>II. CONCEITOS BÁSICOS SOBRE AS ARGAMASSAS E REVESTIMENTOS</b>	<b>4</b>
2.1 Definição de argamassas	4
2.2 Materiais utilizados nas argamassas em Maceió (AL)	4
2.2.1 Cimento	5
2.2.2 Saibro	6

2.2.3	Agregado miúdo	10
2.2.3.1	Composição química e mineralógica	12
2.2.3.2	Características geométricas dos grãos	12
2.2.3.3	Composição granulométrica	12
2.3	Camadas constituintes dos revestimentos de argamassa	14
2.4	Funções dos revestimentos	15
2.4.1	Estanqueidade à água	16
2.4.2	Conforto térmico	17
2.4.3	Isolamento acústico	17
2.4.4	Regularização e decoração de fachadas	18
2.5	Fatores que influenciam o desempenho dos revestimentos externos de argamassa	19
2.5.1	Condições de exposição	20
2.5.2	Características da base a ser revestida	21
2.5.3	Condições de execução	23
<b>III.</b>	<b>REQUISITOS PARA ARGAMASSAS E REVESTIMENTOS</b>	<b>24</b>
3.1	Introdução	24
3.2	Propriedades das argamassas no estado fresco	25
3.2.1	Trabalhabilidade	26
3.2.2	Consistência e plasticidade	27
3.2.3	Densidade de massa e teor de ar	30
3.2.4	Adesão inicial	30
3.2.5	Retenção de água	32
3.3	Propriedades dos revestimentos endurecidos	33
3.3.1	Capacidade de absorver deformações	33

3.3.2	Aderência	35
3.3.3	Resistência à compressão, à abrasão e dureza superficial	38
3.3.4	Permeabilidade	41
<b>IV.</b>	<b>AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES DE ARGAMASSAS E REVESTIMENTOS COM SAIBRO DE MACEIÓ (AL)</b>	<b>44</b>
4.1.	Objetivo	44
4.2.	Metodologia	45
4.2.1.	Caracterização dos materiais	45
4.2.1.1.	Cimento	45
4.2.1.2.	Agregado miúdo	46
4.2.1.3.	Saibro	47
4.2.2	Estudo preliminar de trabalhabilidade para dosagem do saibro e da água	49
4.2.2.1	Premissas da metodologia adotada	49
4.2.2.2	Proporções agregado miúdo/cimento preestabelecidas	50
4.2.2.3	Procedimentos do estudo da trabalhabilidade	50
4.2.2.4	Resultados obtidos	52
4.2.3	Avaliação das argamassas e revestimentos	55
4.2.3.1	Propriedades estudadas e métodos de ensaios adotados	55
4.2.3.2	Procedimento de produção das argamassas e dos painéis de revestimento	56
4.2.3.3	Resultados obtidos	59
4.3	Análise dos Resultados	61
4.3.1	Sobre o estudo preliminar de trabalhabilidade das argamassas	61
4.3.2	Sobre o estudo das argamassas	65
4.3.2.1	No estado fresco	65
4.3.2.2	No estado endurecido	67



4.3.3 Sobre os revestimentos	70
4.4 Análises finais	74
<b>V. CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>	<b>78</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>83</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>91</b>
Anexo A Resultados dos ensaios de caracterização dos materiais empregados no estudo experimental	92
A.1 Ensaio de caracterização do agregado miúdo	92
A.2 Ensaio de caracterização das amostras de saibro por granulometria	94
A.3 Ensaio de caracterização das amostras de saibro por difração de raio-X	100
Anexo B Resultados dos ensaios de caracterização das argamassas	101
B.1 Ensaio realizados com argamassas no estado fresco	101
B.2 Ensaio realizados com corpos-de-prova de argamassa no estado endurecido	102
B.3 Ensaio realizados com corpos-de-prova de revestimento	103

## NOTAÇÃO E NOMENCLATURA

- $\delta_c$  → Massa unitária do cimento no estado solto
- $\delta_q$  → Massa unitária do agregado miúdo no estado seco e solto
- A → Densidade de massa da argamassa no estado fresco
- a/c → Relação água/cimento, em massa, de argamassa no estado fresco
- Aag → Absorção de água das argamassas no estado endurecido
- AGc → Relação “Agregado total (agregado miúdo seco+saibro)/cimento”, em massa e com materiais secos na argamassa
- Al → Teor de ar incorporado na argamassa no estado fresco
- Ca → Consumo de água por unidade de volume de argamassa fresca
- Cc → Consumo de cimento em massa por unidade de volume de argamassa fresca
- Ea → Módulo de elasticidade
- fa → Resistência à compressão simples de corpo-de-prova cilíndrico de argamassa
- fad → Resistência de aderência à tração de corpo-de-prova de revestimento
- Fs → Fração granulométrica do agregado (saibro+agregado miúdo) com dimensão inferior a 0,075 mm, em massa (Fração fina)
- Fm → Fração granulométrica do agregado (saibro+agregado miúdo) com dimensão superior a 0,075 mm, em massa (Fração miúda)
- Fmc → Relação “Fração miúda/cimento”, em massa e com materiais secos, equivalente à relação entre o consumo da fração granulométrica do agregado (saibro+agregado miúdo) com dimensão superior a 0,075 mm e o consumo de cimento na argamassa

- Fsc → Relação “Fração fina/cimento”, em massa e com materiais secos, equivalente à relação entre o consumo da fração granulométrica do agregado (saibro+agregado miúdo) com dimensão inferior a 0,075 mm e o consumo de cimento na argamassa
- h → Umidade do agregado
- l → Índice esclerométrico
- M → Relação “agregado miúdo úmido/cimento” em volume, entre a massa de agregado miúdo úmido e o cimento no traço da argamassa
- Mg → Massa do saibro seco retido na peneira ABNT 2,0 mm
- Mh → Massa do saibro seco que passa na peneira ABNT 2,0 mm
- Mi → Massa do saibro retido acumulado em cada peneira
- Ms → Massa total da amostra de saibro seca
- Mq → Relação “agregado miúdo seco/cimento” em massa, equivalente à relação entre o consumo de agregado miúdo seco e o consumo de cimento na argamassa
- Mt → Massa total da amostra de saibro
- N → Porcentagem do material que passa na peneira ABNT 2,0 mm
- P → Porosidade aparente do corpo-de-prova cilíndrico de argamassa
- Qf → Porcentagem de saibro que passa em cada peneira, para peneiramento fino
- Qg → Porcentagem de saibro que passa em cada peneira, para peneiramento grosso
- Ra → Retenção de água da argamassa no estado fresco
- Sc → Relação “saibro/cimento” em massa, equivalente à relação entre o consumo de saibro e o consumo de cimento na argamassa
- Vh/Vo → Coeficiente médio de inchamento do agregado miúdo
- Vq → proporção do agregado miúdo no traço da argamassa em volume aparente, no estado úmido;

## LISTA DE TABELAS

### CAPÍTULO II

Tabela 2.1	Classificação das areias conforme o módulo de finura (PETRUCCI, 1982)	13
Tabela 2.2	Designações e espessuras recomendadas por diversas normas, para o chapisco e camadas dos revestimentos de argamassas (SELMO, 1989)	14
Tabela 2.3	Termos relativos ao acabamento da superfície de revestimentos em argamassas, conforme projeto de norma PN 02:102.17-04 do CB-02 (ABNT, 1994)	19
Tabela 2.4	Classificação das condições de exposição dos revestimentos externos de fachada com base nas normas BS 8210 (BSI, 1986) e DIN 18550 – Part 1 (DIN, 1985) (CARNEIRO, 1993)	20

### CAPÍTULO III

Tabela 3.1	Lista das propriedades indicadas pelo Comitê 13-MR da RILEM, como requisitos de desempenho	25
Tabela 3.2	Classificação proposta por VARGAS & COMBA (1984) para a plasticidade das argamassas, com vistas, na época, à atualização da Norma Básica Espanhola MV 201, “Muros resistentes de fábrica de ladrilho”	28
Tabela 3.3	Métodos e equipamentos indicados pela RILEM (1982) para a avaliação da consistência e plasticidade das argamassas	29

## CAPÍTULO IV

Tabela 4.1	Valores médios das propriedades físicas do cimento utilizado	46
Tabela 4.2	Valores médios obtidos nos ensaios de caracterização do agregado miúdo	46
Tabela 4.3	Valores médios obtidos nos ensaios de caracterização de seis (6) amostras diárias de saibro extraído da Jazida Jacutinga — Maceió/AL	48
Tabela 4.4	Relações “cimento/agregado miúdo” preestabelecidas para a realização do estudo de trabalhabilidade das argamassas	50
Tabela 4.5	Relações “cimento/agregado miúdo” preestabelecidas e traço “Base-AGRM” utilizado no estudo de trabalhabilidade das argamassas	51
Tabela 4.6	Quantidade de saibro adicionada pelo pedreiro às argamassas nas diferentes dosagens realizadas, em ordem aleatória e para um máximo de quatro argamassas por dia	52
Tabela 4.7	Valores das adições de água efetuadas pelo pedreiro nos traços “Base-AGMR”	52
Tabela 4.8	Relações “cimento:saibro:agregado miúdo” estabelecidas após a realização do estudo de trabalhabilidade das argamassas	54
Tabela 4.9	Quantidade de finos resultantes (agregado miúdo+saibro) nas argamassas dosadas pelo pedreiro em relação à massa total de materiais secos	54
Tabela 4.10	Classificação das argamassas dosadas pelo pedreiro segundo critérios de VARGAS & COMBA (1984)	55
Tabela 4.11	Propriedades caracterizadas, métodos de avaliação e número de determinações ou corpos-de-prova	56
Tabela 4.12	Resultados obtidos para as argamassas no estado fresco	60
Tabela 4.13	Resultados obtidos nos corpos-de-prova cilíndricos de argamassa, de 5x10 cm e a 28 dias de idade de cura ao ar	60
Tabela 4.14	Resultados obtidos nos ensaios dos painéis de revestimento de 1,5x1,0 m, executados sobre alvenaria de blocos cerâmicos, chapiscados com argamassa de cimento e areia no traço 1:3 (agregado úmido)	61

## ANEXO A

Tabela A.1	Análise Granulométrica do agregado miúdo por peneiramento — NBR 7217	92
Tabela A.2	Ensaio do Inchamento do agregado miúdo	93
Tabela A.3	Valores médios obtidos nos ensaios de caracterização do agregado miúdo	93
Tabela A.4	Análise Granulométrica da amostra de saibro nº. 1	94
Tabela A.5	Análise Granulométrica da amostra de saibro nº. 2	95
Tabela A.6	Análise Granulométrica da amostra de saibro nº. 3	96
Tabela A.7	Análise Granulométrica da amostra de saibro nº. 4	97
Tabela A.8	Análise Granulométrica da amostra de saibro nº. 5	98
Tabela A.9	Análise Granulométrica da amostra de saibro nº. 6	99
Tabela A.10	Valores médios obtidos nos ensaios de caracterização do saibro	100

## ANEXO B

Tabela B.1	Resultados dos ensaios com as argamassas no estado fresco	101
Tabela B.2	Resultados individuais obtidos nos corpos-de-prova das argamassas A, B e C de acordo com a NBR 9778 (ABNT, 1987) e NBR 13279 (ABNT, 1995)	102
Tabela B.3	Resultados individuais obtidos nos corpos-de-prova das argamassas D, E e F de acordo com a NBR 9778 (ABNT, 1987) e NBR 13279 (ABNT, 1995)	102
Tabela B.4	Média dos valores obtidos nos corpos-de-prova de argamassa	102
Tabela B.5	Índices esclerométricos medidos em cada painel de revestimento — NBR 7584 (ABNT, 1982)	103
Tabela B.6	Resultados do ensaio de resistência de aderência à tração nos painéis A, B e C, conforme projeto de norma do CB-02 (ABNT, 1994) nº. 02:102.17-00	104
Tabela B.7	Resultados do ensaio de resistência de aderência à tração nos painéis D, E e F, conforme projeto de norma do CB-02 (ABNT, 1994) nº. 02:102.17-00	104
Tabela B.8	Média dos resultados dos ensaios de resistência de aderência realizados nos painéis de revestimento conforme projeto de norma do CB-02 (ABNT, 1994) nº 02:102.17-00	105

## LISTA DE FIGURAS

### CAPÍTULO II

- Figura 2.1 Efeito do teor e natureza de finos plastificantes no consumo de água de argamassas de cimento e areia (1:3) (UNIKOWSKI, 1982) 8
- Figura 2.2 Retração de secagem entre 3 e 28 dias das barras de argamassas preparadas com os plastificantes minerais em pó, em função da percentagem de finos total menor do que 0,075 mm, sendo a cura em câmara seca a  $50 \pm 4$  % U.R. (média de dois corpos-de-prova) (SELMO & BUCHER, 1990) 9
- Figura 2.3 Retração de secagem entre 3 e 28 dias das barras de argamassas preparadas com os plastificantes minerais em pó, em função da relação “água/cimento” das argamassas, sendo a cura em câmara seca a  $50 \pm 4$  % U.R. (média de dois corpos-de-prova) (SELMO & BUCHER, 1990) 10

### CAPÍTULO III

- Figura 3.1 Aparelho “Martinet Baronnie” utilizado nos ensaios de resistência ao desgaste superficial, resistência mecânica da superfície e resistência ao impacto (LNEC, 1980) 39

### CAPÍTULO IV

- Figura 4.1 Vista da Jazida Jacutinga – Maceió/AL 48
- Figura 4.2 Quantidade total de saibro, em massa, adicionada pelo pedreiro conforme o valor preestabelecido da relação “agregado miúdo/cimento”, em volume 53

Figura 4.3	Quantidade total de água, em litros, adicionada pelo pedreiro conforme o valor preestabelecido da relação “agregado miúdo/cimento”, em volume	53
Figura 4.4	Painel de alvenaria de blocos cerâmicos chapiscados utilizado como base dos revestimentos estudados	58
Figura 4.5	Posição das áreas de esclerometria no painel de revestimento, caracterizadas por malha para nove impactos	59
Figura 4.6	Variação da relação “saibro/cim.” (Sc) em função da relação “agregado miúdo úmido/cim.” (Mq), ambas em massa	62
Figura 4.7	Variação da relação “Fração fina/cim.” (Fsc) em função da relação “Fração miúda/cim.” (Fmc), em massa	63
Figura 4.8	Consumo de água das argamassas para os seis traços “Base-AGRM”, em função da relação “agregado total (agregado miúdo seco+saibro)/cimento” (AGc)	64
Figura 4.9	Variação da retenção de água das argamassas (Ra) e da relação “Saibro/cim.” (Sc) em função da relação “agregado miúdo seco/cim.” (Mq), em massa	65
Figura 4.10	Variação do teor médio de ar incorporado (Al) e aumento da relação “água/cimento” (a/c) das argamassas, em função da relação “agregado miúdo seco/cimento” (Mq), em massa	66
Figura 4.11	Variação da densidade de massa no estado fresco (A) das argamassas e aumento da relação “água/cimento” (a/c) em função da relação “agregado miúdo seco/cimento” (Mq), em massa	67
Figura 4.12	Variação da resistência média à compressão (fa) e do consumo de cimento (Cc) em função da relação água/cimento (a/c), em massa	68
Figura 4.13	Variação da porosidade aparente (P) e absorção de água das argamassas (Aag) em função da relação “água/cimento” (a/c), em massa	69
Figura 4.14	Variação resistência à compressão axial (fa) em função da porosidade aparente (P) dos corpos-de-prova de argamassa	69
Figura 4.15	Variação da resistência média de aderência à tração (fad) dos corpos-de-prova de revestimento com a relação água/cimento (a/c), em massa	70
Figura 4.16	Variação da dureza superficial dos revestimentos, medida pelo recuo esclerométrico (I), em centímetros, em função da relação água/cimento (a/c), em massa	71



Figura 4.17	Variação da dureza superficial dos revestimentos, medida pelo recuo esclerométrico (I), em centímetros, em relação à porosidade aparente (P) dos corpos-de-prova de argamassa	72
Figura 4.18	Variação da dureza superficial dos revestimentos, medida pelo recuo esclerométrico (I), em centímetros, em função do aumento da resistência à compressão (fa) dos corpos-de-prova de argamassa	73
Figura 4.18	Aspecto da fissuração dos painéis de revestimento ensaiados	74

## ANEXO A

Figura A.1	Curva granulométrica do agregado miúdo	92
Figura A.2	Curva granulométrica da amostra de saibro nº 1	94
Figura A.3	Curva granulométrica da amostra de saibro nº 2	95
Figura A.4	Curva granulométrica da amostra de saibro nº 3	96
Figura A.5	Curva granulométrica da amostra de saibro nº 4	97
Figura A.6	Curva granulométrica da amostra de saibro nº 5	98
Figura A.7	Curva granulométrica da amostra de saibro nº 6	99
Figura A.8	Difratograma de identificação dos minerais, via difração de raios-X, existentes em quantidades superiores a aproximadamente 5% na amostra	100

**CONTRIBUIÇÃO AO ESTUDO DAS PROPRIEDADES DE ARGAMASSAS COM SAIBRO DA REGIÃO DE MACEIÓ (AL)  
PARA REVESTIMENTOS**

**George André Araújo**

**RESUMO**

As argamassas simples ou mistas de cimento Portland são largamente empregadas na construção civil, para assentamento de alvenarias e revestimentos de paredes e tetos. No Brasil, já algum tempo, procura-se evoluir em métodos experimentais de dosagem dessas argamassas, face à diversidade de agregados e plastificantes minerais nas várias regiões. Para as argamassas mistas, embora existam traços já consagrados com base na normalização estrangeira, estes, em tese, devem ser corrigidos em função das características do agregado ou do tipo de cal. Mas é principalmente para as argamassas simples, plastificadas com solos finos “in natura” ou beneficiados, de que o meio técnico se ressentiu de um método experimental para dosagem, dado que se torna impraticável a definição de composições padrão, se a granulometria do solo plastificante pode variar até dentro da própria jazida. No âmbito deste trabalho, a ênfase foi uma análise da repetibilidade de uma metodologia experimental para a definição da trabalhabilidade de argamassas plásticas, baseada no teor total de finos menor do que 0,075 mm, presente no traço de argamassa. Foram avaliados seis diferentes traços de argamassa simples de cimento Portland, plastificados com saibro “in natura” da região de Maceió/AL. O trabalho faz uma discussão sobre a trabalhabilidade dessas argamassas e quantifica algumas de suas propriedades através de ensaios de laboratório, no estado fresco e endurecido e em revestimentos executados sobre painéis de alvenaria, constando, por exemplo: retenção de água, teor de ar incorporado, resistência à compressão, resistência de aderência à tração e esclerometria. A partir dos experimentos, foi possível estabelecer correlações diretas entre o consumo de finos plastificantes e de água, em relação à fração de agregado maior do que 0,075 mm, sendo todos expressos em relação ao teor de cimento no traço. Pode-se, ainda, observar o comportamento dessas argamassas frente a algumas propriedades no estado fresco e endurecido.

**“A STUDY OF THE RENDERING PROPERTIES WITH NATURAL FILLER (SAIBRO) OF THE NEIGHBORHOOD OF MACEIÓ (AL)  
– BRAZIL”**

**George André Araújo**

**“ABSTRACT”**

Portland cement and lime mixtures are widely used in building constructions as mortars, plastering and renderings. For quite some time efforts have been made in Brazil to develop design mix procedures, due to the wide variety of aggregates and mineral plasticizing fillers in the various regions of the country. Although there are fixed proportions established by foreign standards for cement and lime mixtures, in theory these proportions should sometimes be corrected due to the wide characteristics of the aggregate or lime type. However, the technical community feels that it needs an experimental design mix procedure mainly for cement mortars plasticized with “in natura” for manufactured fillers because it is impossible to establish standard proportions when the filler granulometry can vary within the deposit itself. In this study, emphasis was placed on the analysis of an experimental procedure for defining the workability of mortars and plaster, based on a total material content of less than 0,075 mm of diameter in the mix proportioning. Six different mix proportions of cement mortars plasticized with “in natura” filler from Maceió (AL) were evaluated. The study also investigates the workability of these mortars through laboratory tests, measuring some of their properties in the fresh and hardened state and plasters applied to brick panels, properties such as: water retention, incorporated air, compression strength, tension strength and surface hardness. From the experiments it was possible to establish direct correlation's between the consumption of mineral plasticizing filler and water in relation to an aggregate fraction with diameter of more than 0,075 mm with all them being divided by the amount of cement consumed in the mix. Even further, it was possible to analyze the behavior of these mortars in relation to some of the properties during the fresh and hardened state.

## I. INTRODUÇÃO

No Brasil são freqüentes os processos construtivos de edifícios que empregam paredes de alvenaria revestidas com argamassas, tanto no sistema de vedação vertical externo, como interno.

Há várias décadas atrás, o material argamassa representava apenas 6% do custo total de uma edificação (OLIVEIRA, 1959). Decorridos quase 40 anos, a situação não é muito diferente e atribui-se a isto o pouco interesse do meio técnico com relação ao material (OLIVEIRA, 1989). Por esta razão, é possível encontrar vários tipos de argamassas especificados para o mesmo fim, sendo a escolha geralmente feita através de critérios subjetivos da mão-de-obra envolvida.

No entanto, por menor que seja atualmente a incidência do custo da argamassa no custo das edificações, a inadequada especificação e utilização do material podem comprometer o desempenho dos elementos em que são empregados, visto que os serviços onde se aplicam argamassas correspondem a 30% do custo da obra (OLIVEIRA, 1959).

A definição de traços e a produção de argamassa para revestimento de alvenarias devem ser encaradas com grande responsabilidade, já que esses elementos são de primordial importância para que as edificações tenham um bom desempenho. Assim, argamassas inadequadas podem acarretar, posteriormente, soluções caras e difíceis de reparo de paredes.

Para que se tenha o desempenho esperado das argamassas, é necessário que já na fase de projeto, alguns requisitos básicos sejam obedecidos:

- a) o material deve ser adequado ao fim que se destina;
- b) o material deve ser preparado com insumos de boa qualidade.

Por exemplo, na seleção de argamassas de revestimento externo devem-se enfatizar determinados requisitos de desempenho, tais como: estanqueidade à água das fachadas (CSTB, 1990), isolamento térmico e acústico do meio construído (BSI, 1976) e um bom aspecto da edificação, retificando os pequenos defeitos de prumo das suas fachadas (CSTB, 1980).

As preocupações quanto à adequabilidade do uso do saibro em argamassas não são recentes. FONSECA (1938) desenvolveu extensa pesquisa sobre argamassas de saibro utilizadas no Rio de Janeiro. OLIVEIRA (1959) também pesquisou argamassas de areia e argila utilizadas em Salvador.

De maneira geral a utilização deste material é quase que totalmente baseada na experiência de pedreiros, mestres e engenheiros. Apesar de amplamente empregado no preparo de argamassas de revestimento, o comportamento do saibro e sua influência nas propriedades das argamassas não são suficientemente conhecidos. Como consequência de tal situação, tem-se observado uma grande variação na composição das argamassas de um local para outro, proporcionando, em muitos casos, uma baixa qualidade do produto final. Aliado a esse fato, verifica-se que as argamassas de saibro apresentam comportamentos distintos em algumas edificações, isto é, têm um bom desempenho em certas edificações e ruim em outras.

Como se pode ver pelas questões comentadas, é necessário o desenvolvimento tecnológico do material. Motivo pelo qual se resolveu elaborar a presente pesquisa, que versa sobre um trabalho experimental de argamassas de cimento com saibro, para fornecer subsídios a tecnologistas, fiscais de obra e engenheiros sobre o comportamento e características deste tipo de argamassa. Com base na hipótese de que é possível estabelecer uma dosagem racional do saibro em argamassas, podem-se estabelecer os seguintes objetivos para a pesquisa:

a) fazer análise da repetibilidade de uma metodologia experimental para a definição da trabalhabilidade de argamassas com saibro, baseada no teor de finos  $<0,075$  mm;

b) verificar a influência do saibro local nas propriedades das argamassas, através de ensaios de laboratório com argamassas no estado fresco e endurecido e em revestimentos endurecidos.

O trabalho está dividido em duas partes. A primeira é composta pela Introdução (Capítulo I) e pelos Capítulos II e III, e descreve as funções e propriedades dos revestimentos de argamassa, bem como seus materiais constituintes e características. Na segunda parte, composta pelo Capítulo IV, é apresentada toda a metodologia empregada no estudo experimental das argamassas de cimento e saibro. Nessa parte do trabalho também são feitas as análises inerentes a cada resultado obtido nos ensaios de laboratório.

O Capítulo II inicia com algumas definições inerentes às argamassas de revestimento, aos materiais constituintes e às suas propriedades e de que maneira podem influenciar nas propriedades das argamassas. A seguir, são apresentadas as camadas constituintes dos revestimentos de argamassa, as funções dos revestimentos externos e finalmente os fatores que podem afetar no seu desempenho.

O Capítulo III aborda basicamente as principais propriedades das argamassas no estado fresco endurecido e dos revestimentos, discutindo-se a influência dos materiais constituintes das argamassas sobre essas propriedades.

O Capítulo IV relata o trabalho experimental realizado no âmbito desse trabalho. A pesquisa consistiu de um estudo de repetibilidade de uma metodologia experimental para definição da trabalhabilidade de argamassas plásticas, baseada no teor de finos menor do que 0,075 mm, critério este sugerido por alguns trabalhos da literatura nacional. A partir dessa metodologia, foram tomados seis traços distintos para avaliação das suas propriedades no estado fresco e endurecido e em revestimentos executados sobre painéis de alvenaria. Nesse capítulo é feita, ainda, a análise dos resultados obtidos no estudo experimental, de acordo com a influência de algumas relações nas propriedades das argamassas. Finalmente, são apresentadas algumas conclusões a respeito da metodologia empregada e das análises feitas ao longo do capítulo.

Nas considerações finais deste trabalho, comentam-se os procedimentos utilizados para avaliação da trabalhabilidade das argamassas, considerando-se a metodologia adotada. Destacam-se ainda as perspectivas de alcance para a metodologia, na medida em que for utilizada pelo meio técnico, bem como as pesquisas necessárias para a sua consolidação.

## II. CONCEITOS BÁSICOS SOBRE ARGAMASSAS E REVESTIMENTOS

### 2.1 DEFINIÇÃO

Existem várias definições para argamassa como, por exemplo, as encontradas nos trabalhos de OLIVEIRA (1989) e PIANCA (1967). No entanto, é consenso geral entre todas que argamassa é a mistura de aglomerante(s), agregado(s) e água, podendo conter aditivos.

Define-se argamassa de revestimento como sendo uma mistura homogênea de agregado(s) miúdo(s), aglomerante(s) inorgânico(s) e água, contendo ou não aditivos ou adições, com propriedades de aderência e endurecimento (CB-02 ABNT, 1994 – PN 02:102.17-04).

### 2.2 MATERIAIS UTILIZADOS NAS ARGAMASSAS EM MACEIÓ (AL)

Adaptando os conceitos de CARNEIRO (1993), pode-se dizer que os constituintes das argamassas de cimento e saibro possuem as seguintes funções:

- a) o cimento Portland<sup>1</sup>, devido à propriedade de endurecimento através de processos químicos, liga entre si as partículas soltas dos materiais inertes;
- b) o agregado miúdo tem função de estruturação (enchimento), constituindo um material pouco deformável que suporta a retração de volume do cimento e dos finos do saibro, reduzindo fissuras. Deve ser composto de partículas inócuas que reduzem o custo da mistura;
- c) o saibro confere plasticidade às argamassas;

---

<sup>1</sup> Nesta dissertação, o cimento Portland será mencionado tão somente como cimento.

d) a água confere maior trabalhabilidade à argamassa, até certos limites, aumentando a sua fluidez se adicionada em teor elevado.

As propriedades das argamassas estão diretamente relacionadas com as propriedades de todos os materiais constituintes. Dessa forma é importante descrever cada um dos materiais que compõe as argamassas em estudo nesta dissertação.

### 2.2.1 CIMENTO

O cimento é o aglomerante mais usado em argamassas de revestimento, sendo o principal responsável por suas propriedades mecânicas. Suas qualidades estão correlacionadas principalmente com a resistência mecânica que podem conferir às argamassas.

De acordo com o CSTB (1982), os cimentos de alta resistência mecânica (classe 40) não devem ser utilizados em argamassas de revestimento, pois aumentam o risco de fissuração. Já os cimentos de menor resistência mecânica podem proporcionar ao revestimento uma maior capacidade de deformação, com considerável redução de fissuras. Assim, recomendam-se os cimentos Portland das classes 32 ou 25, por serem os cimentos de menor resistência mecânica fabricados no Brasil<sup>2</sup>.

CINCOTTO (1989) diz não haver inconveniente quanto ao tipo de cimento, mas sim quanto à finura, "que regulará os níveis de retração por secagem. A retração nas primeiras 24 horas é controlada pela retenção de água que, por sua vez, é proporcional ao teor de finos. Mas, em idades maiores, a retração aumenta com o teor de finos. De modo a contornar o problema, costuma-se utilizar aditivo incorporador de ar às argamassas de cimento, exceção feita à de chapisco". Para argamassas de cimento e saibro esta propriedade pode não ser tão representativa, como será visto no trabalho experimental.

CARNEIRO (1993) acrescenta que o tempo de início de pega, contado desde o instante em que se adiciona a água de amassamento até o começo da perda de plasticidade da argamassa, é uma característica importante na determinação do prazo para transporte e aplicação das argamassas de revestimento. Conclui, ainda, que um início de pega rápido não é conveniente, pois dificulta a aplicação da argamassa, sendo o ideal um início de pega retardado, seguido de um rápido aumento de resistência.

---

<sup>2</sup> Cabe salientar que, de fato, a capacidade de deformação vai depender do consumo de cimento presente no traço de argamassa, e não somente das características intrínsecas deste material.



Na prática a retração dos revestimentos inicia ainda no estado fresco por efeito de umidade e temperatura, e é muito difícil discretizar a influência do efeito do tipo de cimento ou dos outros materiais isoladamente.

### **2.2.2 SAIBRO**

Alguns autores (GUERRA, 1980 e SLATER, 1961) definem o saibro como um material proveniente da decomposição incompleta de rochas leucocráticas (granito e gnaiss) que conserva vestígios da estrutura original. Intermediário entre o moledo e a argila, o saibro é uma mistura de areia e argila. Qualificam o material como muito poroso e permeável, constituindo assim solos instáveis. De acordo com os mesmos autores, o saibro era o principal constituinte da taipa empregada em construções.

O CB-02 (ABNT, 1994 – PN 02:102.17-04) define saibro como sendo solos provenientes de granitos e gnaisses, com minerais parcialmente decompostos, sendo arenosos ou siltosos, com baixo teor de argila, e de cor variada.

Nas diversas regiões do país onde é utilizado para a confecção de argamassas de assentamento e revestimento, o saibro recebe algumas denominações distintas: taguá, arenoso, massara, piçarra, salmourão, areia de goma e barro (CB-02 ABNT, 1994 – PN 02:102.17-04).

O material conhecido e comercializado em todo o Estado de Alagoas com o nome de “traço” ou “barro”, por exemplo, é uma mistura de areia e argila originário da decomposição de rochas. O termo saibro é utilizado neste trabalho de acordo com a sua classificação geológica, diferente de sua designação regional. O saibro é encontrado em extensa área da região de Maceió (AL), principalmente nas encostas dos morros onde se localizam as grandes jazidas.

OLIVEIRA (1989) afirma que, apesar de bem conhecida a finalidade de sua aplicação, conferir plasticidade à argamassa, trata-se de um material de difícil definição, em função da variabilidade de composição, pela heterogeneidade de suas jazidas.

Embora o saibro seja amplamente utilizado em argamassas, em várias regiões do país, o seu uso ainda é visto com restrições pelo meio técnico. Tal restrição deve-se, principalmente, ao desconhecimento das propriedades do material e de que maneira podem influenciar o desempenho das argamassas. Têm-se, assim, opiniões controvertidas como a de FILOMENO (1993) que se analisa a seguir.

FILOMENO (1993) afirma que os saibros são materiais que possuem composição mineralógica muito variável, que provavelmente influi sobre as propriedades das argamassas. Além disso, possuem uma fração de finos bastante elevada, mas não suficiente para determinar uma melhoria na plasticidade da argamassa. Pelo contrário, afirma o autor, a fração de finos desses materiais tende a atuar como inerte, resultando uma argamassa de menor trabalhabilidade e mais fraca devido à redução da relação aglomerante/agregado.

As frações de silte e argila são as mais nocivas do saibro e seus efeitos são a seguir discutidos, com base na literatura.

UNIKOWSKI (1982), em estudo sobre a influência dos argilominerais e finos inertes sobre as propriedades das argamassas, chegou à conclusão que estas partículas ultrafinas apresentam as seguintes características e ações:

a) adsorção de água: pela grande capacidade de adsorver água, as argilas retiram parte da água de amassamento, provocando aumento de consistência da argamassa fresca;

b) aderência superficial: pela sua aderência à superfície dos grãos do agregado miúdo, as argilas dificultam a aderência da pasta de cimento reduzindo, desta maneira, a resistência mecânica no estado endurecido;

c) deformações higroscópicas: pelo maior teor de água requerido, as argamassas que contêm argilominerais apresentam variações dimensionais muito mais acentuadas, quando submetidas à imersão em água ou secagem ao ar e,

d) eventuais reações com os aglomerantes: é possível a ocorrência de reações químicas ou fenômenos físicos indesejáveis na interação entre o cimento e os argilominerais, no estado fresco ou endurecido das argamassas.

Na figura 2.1, se mostra como os teores de diversos particulados finos influem sobre a água necessária para atingir-se uma consistência padrão de  $16 \pm 1$  s, no plasticímetro de Lesage, em argamassa de traço 1:3 (cimento:areia).

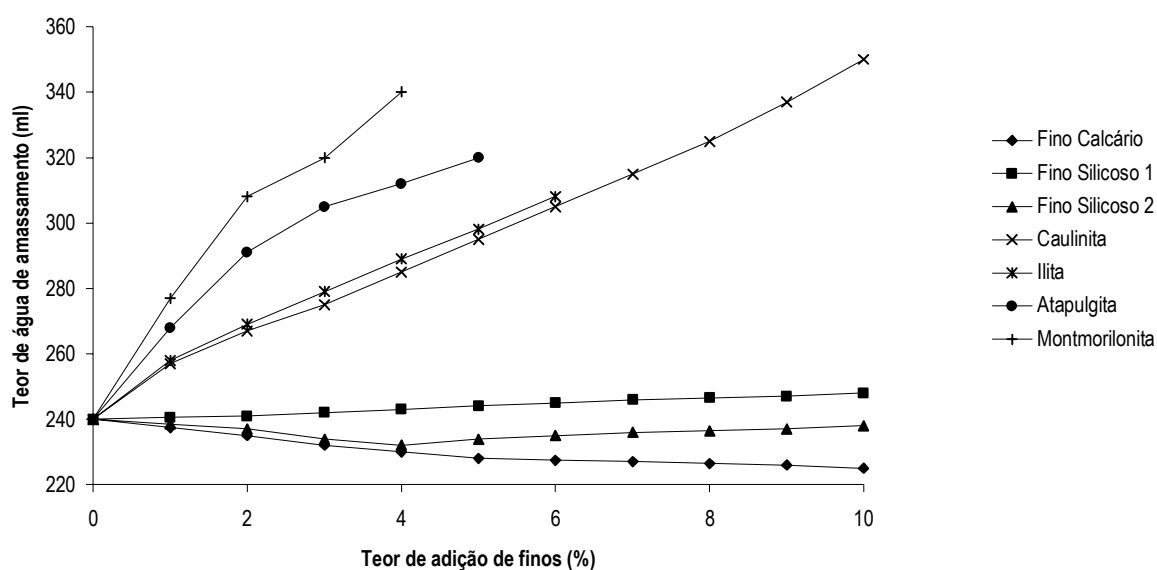


Figura 2.1 Efeito do teor e natureza de finos plastificantes no consumo de água de argamassas de cimento e areia (1:3) (UNIKOWSKI, 1982).

FILOMENO (1993) afirma, ainda, que o teor de argilominerais nas argamassas deve ficar restrito ao mínimo necessário, isto é, o suficiente para lhes conferir a coesão e untuosidade desejada para uma boa adesividade ao substrato, juntamente com apropriada deformabilidade no estado fresco, que minimize o esforço do pedreiro sem provocar deformações e escorrimientos indevidos.

SELMO & BUCHER (1990) concluíram que os efeitos dos argilominerais são plenamente negativos sobre as deformações higroscópicas das argamassas. Ressaltam que se pode considerar positivo apenas os aspectos de melhorar a trabalhabilidade da argamassa fresca e talvez aumentar a resistência mecânica em longo prazo — pelas reações entre o hidróxido de cálcio (liberado pelo cimento durante a sua hidratação) e os cristais de caulinita, no caso específico de alguns saibros nacionais. De acordo com UNIKOWSKI (1982), os resultados favoráveis destas reações são constatados apenas em idade a partir de 28 dias e quando a argamassa apresenta condições de cura favoráveis à sua ocorrência.

De acordo com esses autores, nas argamassas de assentamento e revestimento, os fileres plastificantes são adicionados em maior quantidade devido ao maior consumo de agregado miúdo e menor exigência de resistência.

Estima-se que a proporção média de cimento:cal, em massa, varia em torno de 1:1,3 (EPUSP, 1987), sendo que a cal apresenta áreas específicas acima de 900 m<sup>2</sup>/kg. Na substituição da cal por substâncias mais grossas como pó calcário, escória moída, cinza volante, e outras., essa proporção deve ser aumentada para se conseguir o mesmo efeito reológico. No entanto, para adições plastificantes à base de argilominerais, o teor da adição deve ser menor (SELMO & BUCHER, 1990).

Verifica-se que a necessidade de finos plastificantes nos traços dessas argamassas pode ser considerada uma função direta da relação agregado miúdo/cimento (EPUSP, 1989).

Em pesquisa realizada sobre dosagem de argamassas com saibro, SELMO & BUCHER (1990) concluíram que a trabalhabilidade e retração destas argamassas, tanto livre quanto restringida, podem ser correlacionadas de forma satisfatória com a porcentagem de finos menor do que 75 µm (Figura 2.2), porcentagem essa total ou apenas do saibro, se o agregado miúdo for isento dessas partículas. Segundo esses autores, o controle da retração fica condicionado a uma dosagem criteriosa de finos e é função última da relação água/cimento (Figura 2.3), podendo esta ser também controlada pelo uso de aditivos. É recomendável considerar o teor de finos total incluindo o cimento, pois essa é a proposta original de VARGAS & COMBA (1984), para controle da trabalhabilidade, na qual SELMO & BUCHER (1990) se basearam.

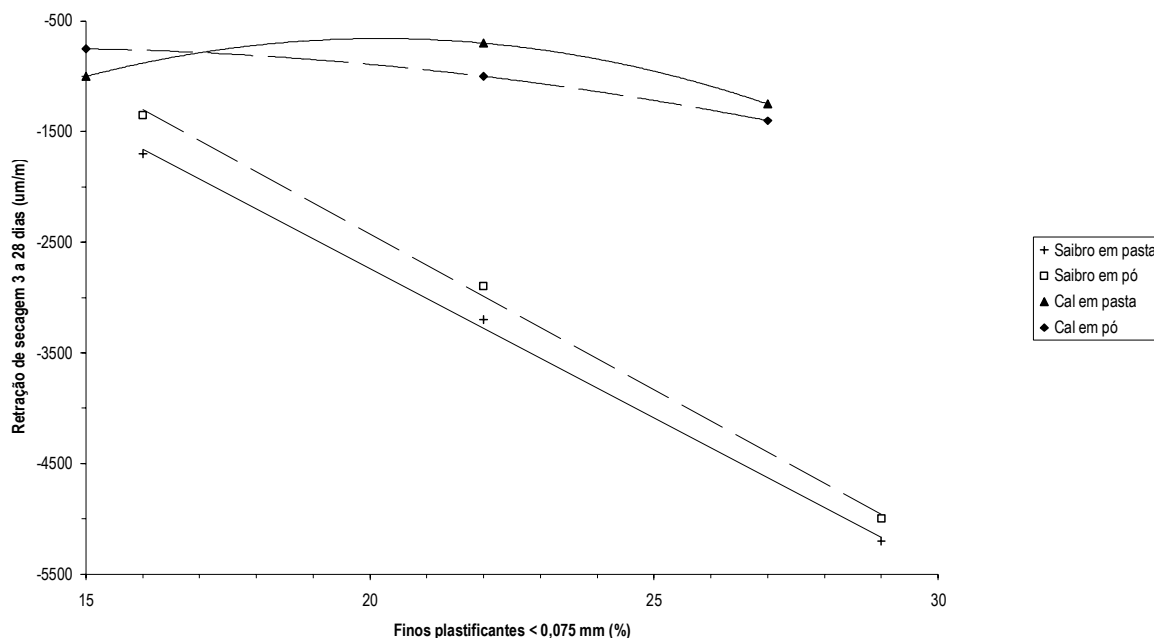


Figura 2.2 Retração de secagem entre 3 e 28 dias das barras de argamassas preparadas com os plastificantes minerais em pó, em função da porcentagem de finos total menor do que 0,075 mm, sendo a cura em câmara seca a 50±4 % U.R. (média de dois corpos-de-prova) (SELMO & BUCHER, 1990).

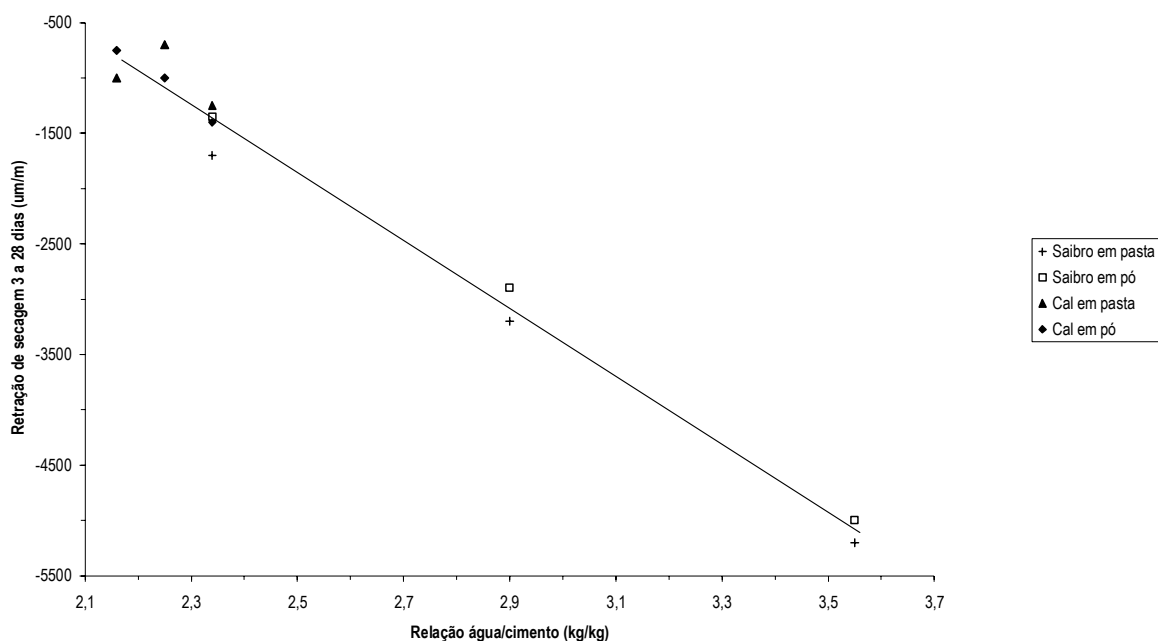


Figura 2.3 Retração de secagem entre 3 e 28 dias das barras de argamassas preparadas com os plastificantes minerais em pó, em função da relação “água/cimento” das argamassas, sendo a cura em câmara seca a  $50 \pm 4$  % U.R. (média de dois corpos-de-prova) (SELMO & BUCHER, 1990).

Os autores concluíram, ainda, que caso tal critério venha a se confirmar como adequado para controle de trabalhabilidade e retração, o equacionamento restante para a dosagem de saibro em argamassas fica condicionado à fixação de intervalos para a proporção cimento:(saibro+agregado miúdo), em função da finalidade de aplicação, resistência mecânica e condições de exposição da argamassa em serviço.

O critério de avaliação da trabalhabilidade das argamassas com saibro baseado no teor de finos menor do que 0,075 mm presente no traço de argamassa, mostrou-se bastante satisfatório, uma vez que permite somente a adição mínima de saibro à argamassa, de tal forma a se obter a plastificação desejada da mistura (CARASEK & CASCUDO, 1994).

### 2.2.3 AGREGADO MIÚDO

Entende-se por agregado o material granular, sem forma e volume definidos, geralmente inerte, de dimensões e propriedades adequadas para uso em obras de engenharia (PETRUCCI, 1982).

Os agregados podem ser classificados, de acordo com sua origem, em naturais ou artificiais.

O agregados naturais são aqueles encontrados na natureza já sob a forma granular, como as areias de mina, de cursos d'água, e os pedregulhos ou seixos rolados.

Os agregados artificiais são aqueles que necessitam de beneficiamento, isto é, trabalho de aperfeiçoamento pela ação do homem para chegar à situação de uso, como, por exemplo, as areias artificiais, resultantes da moagem de fragmentos maiores. Os agregados artificiais podem ser ainda obtidos por piroexpansão de várias composições minerais, dando origem a agregados leves expandidos (de escória, de cinza volante e de argila são os mais comuns no exterior).

A tecnologia de concreto define agregado miúdo como sendo aquele material que passa na peneira ABNT 4,8 mm e fica retido na peneira ABNT 0,075 mm PETRUCCI (1982).

Os agregados miúdos para argamassas de revestimento devem ser constituídos por grãos minerais, de origem natural ou artificial, que passem pela peneira ABNT 4,8 mm e fiquem retidos na peneira ABNT 0,075 mm.

Para argamassas de revestimento, a distribuição granulométrica entre os dois intervalos acima varia de acordo com a finalidade da argamassa de revestimento — emboço, reboco ou chapisco.

Os agregados miúdos nas argamassas desempenham função técnica e econômica.

De ordem econômica porque, sendo materiais de menor custo do que os aglomerantes, contribuem para reduzir o custo final das argamassas, podendo ainda influir sobre a qualidade final dos revestimentos.

Do ponto de vista técnico, os agregados miúdos contribuem para otimizar as propriedades das argamassas, a durabilidade e a textura final dos revestimentos.

Os agregados miúdos são, geralmente, constituídos por areia quartzosa; no entanto, podem ainda apresentar materiais pulverulentos (grãos de diâmetro inferior a 75  $\mu\text{m}$ ) ou outras impurezas orgânicas e inorgânicas, dependendo da jazida de extração.

As propriedades que definem as características tecnológicas dos agregados miúdos e sua influência sobre o desempenho das argamassas de revestimento são:

- a) composição química e mineralógica;
- b) características geométricas dos grãos e,
- c) composição granulométrica.

### **2.2.3.1 COMPOSIÇÃO QUÍMICA E MINERALÓGICA**

De acordo com a composição mineralógica, os grãos do agregado miúdo podem ser estáveis e de boa resistência física e química (grãos inócuos), podem ainda ser instáveis quimicamente (grãos deletérios) e podem ser de baixa resistência mecânica (grãos friáveis).

No que se refere à composição química, os agregados miúdos são de natureza silicosa podendo ainda apresentar impurezas orgânicas (materiais carbônicos e materiais em decomposição) e impurezas inorgânicas (sulfetos, torrões de argila, materiais ferruginosos, e outros.).

Dessa forma os agregados miúdos devem se constituir, essencialmente, por grãos minerais inócuos, ou seja, não sujeitos a processo de alteração, que possam provocar vesículas, manchamentos, perda de resistência ou de aderência dos revestimentos.

### **2.2.3.2 CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DOS GRÃOS**

A forma dos grãos é uma característica geométrica de considerável influência sobre as propriedades das argamassas. Diz respeito ao grau de esfericidade ou de arredondamento dos grãos, podendo-se considerar que grãos angulosos dificultam a trabalhabilidade, mas proporcionam superfícies mais ásperas que são próprias para chapiscos e emboços. Os grãos arredondados, por sua vez, possuem menor área específica e atrito interno do que os grãos angulosos, conferindo assim, melhor trabalhabilidade e compacidade às argamassas (SELMO, 1989).

### **2.2.3.3 COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA**

A composição granulométrica diz respeito à proporção dos vários tamanhos de grãos presentes nos agregados. A faixa de granulometria compreendida entre as peneiras ABNT 4,8 mm e ABNT 0,075 mm corresponde à fração de areia, enquanto que os materiais pulverulentos correspondem à fração passante na peneira ABNT 0,075 mm.

De acordo com o tamanho dos grãos, as areias se classificam em grossas, médias ou finas, conforme módulo de finura calculado a partir de ensaio de granulometria da NBR 7217 (ABNT, 1987). A classificação abaixo, apesar de não normalizada, é usualmente adotada e citada na bibliografia (SELMO, 1986).

Tabela 2.1 Classificação das areias conforme o módulo de finura (PETRUCCI, 1982).

AREIA	MÓDULO DE FINURA
Grossa	$MF > 3,00$
Média	$3,00 \geq MF \geq 2,00$
Fina	$MF < 2,00$

Quanto maior o módulo de finura do agregado, maior é a fração de grãos graúdos e mais áspera é a textura que pode conferir aos revestimentos de argamassa. Assim, as areias grossas são indicadas para chapisco, as areias médias para emboço e as areias finas para reboco.

De acordo com a distribuição granulométrica nos diferentes tamanhos de grãos, o agregado miúdo pode apresentar uma granulometria contínua ou descontínua.

A distribuição granulométrica, a forma dos grãos e a composição mineralógica determinam o índice de vazios e a área específica dos agregados miúdos. Estas duas propriedades, por sua vez, relacionam-se diretamente com o consumo de aglomerantes e água de amassamento das argamassas.

Quanto maior o índice de vazios e área específica do agregado miúdo, maior o consumo de aglomerantes e água de amassamento e, por conseqüência, maior a retração por secagem das argamassas.

Na fração mais fina de alguns agregados miúdos, têm-se às vezes os materiais pulverulentos e que correspondem aos grãos com diâmetro inferior a  $75 \mu\text{m}$ . Nesta fração, se houver uma proporção adequada de grãos de silte ( $> 5 \mu\text{m}$ ), estes podem melhorar a trabalhabilidade das argamassas, preenchendo os vazios entre os grãos, requerendo apenas um pequeno aumento do teor de água de amassamento. Mas, se esta fração for excessiva, é provável que também acarrete aumento do consumo de água e a retração das argamassas.



## 2.3 CAMADAS CONSTITUINTES DOS REVESTIMENTOS DE ARGAMASSA

O CB-02 (ABNT, 1994 – PN 02:102.17-04) conceitua revestimento de argamassa como sendo o cobrimento de uma superfície lisa com uma ou mais camadas superpostas de argamassa, apto a receber acabamento decorativo ou constituir-se em acabamento final.

As camadas que compõem um revestimento são denominadas de emboço e reboco, devendo-se, previamente, aplicar um suporte para o revestimento ou uma camada de chapisco.

O chapisco constitui-se de uma camada de preparo da base, aplicada de forma contínua ou descontínua, com a finalidade de uniformizar a superfície quanto à absorção, e melhorar a aderência do revestimento — CB-02 (ABNT, 1994 – PN 02:102.17-04).

O mesmo projeto de norma define, ainda, emboço como sendo uma camada de revestimento executada para cobrir e regularizar a superfície da base ou chapisco, proporcionando uma superfície que permita receber outra camada, de reboco ou de revestimento decorativo, ou se constitua no acabamento final, quando passa a se chamar revestimento de camada única.

O reboco é uma camada de revestimento utilizada para cobrimento do emboço, propiciando uma superfície que permita receber o revestimento decorativo ou que se constitua no acabamento final (CB-02 ABNT, 1994 – PN 02:102.17-04).

A Tabela 2.2 define de forma sucinta a designação e a espessura de cada camada dos revestimentos de argamassa, conforme preconizam diversas normas referentes ao assunto.

Tabela 2.2 Designações e espessuras recomendadas por diversas normas, para o chapisco e camadas dos revestimentos de argamassa (SELMO, 1989).

NBR 7200 ABNT 1982	ASTM C 926/86 (ASTM, 1987)	BS 5262 (BSI, 1976)	D.T.U. 26.1 (CSTB, 1978) <sup>(1)</sup>	DIN 18550 P2 (1985)
Chapisco	"Dash-bond coat"	"Spatterdash"  (3 a 5 mm)	"Gobetis" ou "Couche d'accrochage"  ( $\cong$ 3 mm)	"Spritzbewurf"
Emboço  (20 a 25 mm)	"Basecoats": Scratchcoat e "Brown coat"  (19 mm) <sup>(2)</sup>	"Undercoats": "First" e "Second"  (16 a 30 mm) <sup>(3)</sup>	"Deuxieme couche" ou "Corps d'enduit"  ( $\cong$ 15 a 20 mm)	"Unter-putz" <sup>(4)</sup>
Reboco  ( $\leq$ 5 mm)	"Finish coat"  (3 mm) <sup>(3)</sup>	"Final coat"  (6 a 10 mm)	"Troisieme couche" ou "Couche de finition"  (5 a 7 mm)	"Oberputz" <sup>(4)</sup>

- Obs.: 1. Revestimentos de aplicação manual. No caso de projeção mecânica, o CSTB (1978) propõe que o revestimento seja composto pela “couche d'accrochage” com 7 a 10 mm de espessura e por uma segunda camada, “couche de finition”, com 10 a 15 mm;
2. Cada camada do emboço (“basecoats”) deve ter 9,5 mm de espessura, sendo a segunda camada (“brown coat”) alternativa;
3. Espessura de 8 a 15 mm por camada do emboço (“undercoats”). A segunda camada é opcional se estiver previsto o reboco (“final coat”);
4. Espessuras individuais de emboço e reboco não são indicadas, apenas a espessura total do revestimento: 20 mm, na média, e 15 mm, a mínima. Para argamassas industrializadas com aditivos hidrófugos estes valores são de 15 e 10 mm, respectivamente.

## 2.4 FUNÇÕES DOS REVESTIMENTOS

O CSTB<sup>3</sup> (1980) considera, para fins de definição das propriedades mais importantes dos revestimentos externos, as exigências de uso, relativas à segurança e habitabilidade, bem como a exigência de compatibilidade geométrica e físico-química entre o revestimento e a sua base e o acabamento final previsto.

Considera-se que as funções de um revestimento externo de argamassa estão associadas à sua contribuição para a estanqueidade à água das fachadas (CSTB, 1990), para o conforto térmico e acústico do ambiente construído (BSI, 1976), para a segurança ao fogo da envoltória (CSTB, 1980) e para um bom aspecto da edificação, retificando defeitos mínimos de prumo e nível das fachadas.

A ênfase dada na revisão do estado da arte nesse item é para revestimentos externos, pois nestes os problemas patológicos de revestimentos de cimento e saibro são mais freqüentes.

---

<sup>3</sup> Doravante as citações da literatura assinaladas com asteriscos são transcrições feitas de SELMO (1989).

### 2.4.1 ESTANQUEIDADE À ÁGUA

Em geral e, principalmente, nas regiões com índice de precipitação pluviométrica elevada, a principal função dos revestimentos de argamassa é a proteção contra a umidade de infiltração nos edifícios (SELMO, 1989).

O IPT (1981, b) define estanqueidade à água como sendo a propriedade dos materiais, componentes ou elementos da edificação de não permitirem a infiltração de água, sendo definida, geralmente, para determinadas condições de exposição. Preferencialmente, o termo se aplica a elementos da edificação.

Segundo o CSTB (1982), a estanqueidade global da envoltória é assegurada a partir da baixa permeabilidade do revestimento, obtida com o uso de uma argamassa de baixa capilaridade e alta massa específica, através de um traço rico em aglomerantes e com forte energia de aplicação e, ainda, com a execução de camadas de pequena espessura.

A penetração da água pode ocorrer através dos poros e/ou fissuras no revestimento. A extensão da penetração através dos poros depende da permeabilidade das várias camadas (BSI, 1976).

O CSTB (1980) considera que é o emboço que, efetivamente, contribui para a estanqueidade das fachadas, enquanto o reboco atua mais como uma camada de proteção do emboço.

O CB-02 (ABNT, 1994 – PN 02:102.17-04) faz uma classificação genérica, com relação as características de permeabilidade dos revestimentos, que tanto se aplica para emboço, quanto para reboco:

a) revestimento comum: aquele que não apresenta propriedades diferenciadas quanto à água, ao calor ou a radiações;

b) revestimento hidrófugo: revestimento que, pela composição da argamassa, apresenta baixa ou nenhuma absorção de água por capilaridade, sem dificultar a difusão de vapor de água;

c) revestimento de permeabilidade reduzida: revestimento que reduz a passagem de água, por capilaridade ou sob pressão, seja pela composição da argamassa ou pelo número de camadas constituintes.

De acordo com a BS 5262 (BSI, 1976), a proteção à penetração de água na interface revestimento/base evita problemas como a perda de aderência, o aparecimento de mais fissuras (no caso de já haver), a completa desintegração de revestimento, por efeitos de gelividade (fenômeno que pode ser provocado por baixa temperatura e vento), e a dissolução de sulfatos presentes no material de revestimento ou como poluente da atmosfera.

## 2.4.2 CONFORTO TÉRMICO

Segundo a DIN 18550 – Part 1 (DIN, 1985), contribuem para o isolamento térmico de uma fachada os revestimentos de condutividade térmica ( $k$ ) com valor máximo de 0,2 W/mK. RIVERO (1986) considera que o valor de ( $k$ ) depende estritamente da massa específica do material, que segundo a mesma norma deve ser inferior a 600 kg/m<sup>3</sup>.

A BS 5262\* (BSI, 1976) indica que os revestimentos de argamassa têm pouco efeito sobre a transmitância térmica global de uma parede externa normal, porque sua condutibilidade térmica é relativamente alta e apenas uma fina camada de material é aplicada. Indica, entretanto, que o revestimento de argamassa pode manter seca uma parede leve isolante e, assim, contribuir para sua baixa condutividade térmica.

CARNEIRO (1993) conclui que o isolamento térmico deve ser assegurado simultaneamente pela base e pelo revestimento, através de uma baixa condutividade térmica de ambos e também pela garantia do seu não umedecimento.

## 2.4.3 ISOLAMENTO ACÚSTICO

Segundo D'HAVÉ (1977), o revestimento contribui para o isolamento de ruídos transmitidos pelo ar e provenientes de impactos.

RAES (1953) comenta que os revestimentos de argamassa dão bons resultados no isolamento acústico de paredes delgadas de alvenaria, sendo sua contribuição desprezível em paredes de maior espessura.

Finalmente, a BS 5262 (BSI, 1976) prescreve que os revestimentos aplicados sobre substratos de elevada porosidade aumentam o índice de redução sonora das respectivas paredes à transmissão de ruídos aéreos.

#### 2.4.4 REGULARIZAÇÃO E DECORAÇÃO DE FACHADAS

No Brasil, é comum a execução de revestimentos de fachada constituídos de emboço, de uma ou duas camadas, fazendo a regularização dos paramentos e ao mesmo tempo recebendo o acabamento final em pintura (SELMO, 1989).

D'HAVÉ (1977) considera que o conforto visual está diretamente relacionado com a aparência de uma fachada externa. Logo, esta deve apresentar-se sem manchas, sem irregularidades e com textura e cor uniformes e contínuas.

Assim, de acordo com SELMO (1989), nos revestimentos externos a regularização da base é uma finalidade precípua, porém deve ser feita com espessura o mais uniforme possível e sem ultrapassar os limites usualmente recomendados.

O D.T.U. 26.1\* (CSTB, 1978) recomenda alguns critérios que podem ser adotados na correção de eventuais falhas no revestimento, e que são os seguintes:

- a) falhas até 30 mm de profundidade podem ser preenchidas direto com argamassa;
- b) em falhas de 30 a 50 mm de profundidade as irregularidades da base devem ser preenchidas com argamassa armada por meio de tela metálica;
- c) nas falhas acima de 50 mm de profundidade deve-se fazer a reconstituição da alvenaria.

A base não deve apresentar desvios consideráveis de direção. A ASTM C 926/86\* (ASTM, 1987) estabelece como desvio máximo de direção o valor de 2,1 mm/m. De acordo com a extensão da base, esta tolerância pode resultar em espessura expressiva, devendo-se nesse caso, então, realizar um enchimento prévio, conforme já comentado.

Quanto ao acabamento, os revestimentos externos de argamassa, no caso de terem função decorativa, podem apresentar uma variedade muito grande de texturas e cores conforme o uso de pigmentos na argamassa e/ou tratamento superficial do emboço ou reboco fresco. A NBR 7200 (ABNT, 1979) classificava os revestimentos de argamassa quanto à textura e aparência da superfície em: liso, feltrado ou camurçado, raspado/vassourado, travertino e rústico ou chapiscado. A norma sucessora do CB-02 (ABNT, 1994 – PN 02:102.17-04) apresenta um conceito a mais, de acordo com a Tabela 2.3.

Tabela 2.3 Termos relativos ao acabamento da superfície de revestimentos de argamassas, conforme projeto de norma PN 02:102.17-04 do CB-02 (ABNT, 1994).

TIPO DE ACABAMENTO	DESCRIÇÃO
Camurçado (Feltrado)	Acabamento obtido quando a argamassa é sarrafeada, desempenada e, a seguir, alisada com esponja ou desempenadeira apropriada (de feltro ou similar).
Chapiscado <sup>1</sup>	Acabamento rústico obtido quando a argamassa é lançada sobre a base, através de peneira.
Desempenado	Acabamento liso obtido quando a argamassa é sarrafeada e alisada com desempenadeira.
Sarrafeado	Acabamento áspero obtido quando a argamassa é regularizada com régua.
Imitação Travertino	Acabamento com sulcos, imitando a textura do mármore travertino.
Lavado	Acabamento granulado, imitando rocha, obtido com argamassa de agregado apropriado e por processo de lavagem superficial adequada.
Raspado	Acabamento rústico obtido quando a argamassa é sarrafeada, desempenada e raspada com ferramenta denteada.

Obs: 1. Revestimento também conhecido pelo nome de salpicado.

## 2.5 FATORES QUE INFLUENCIAM O DESEMPENHO DOS REVESTIMENTOS EXTERNOS DE ARGAMASSA

De acordo com exposto no item 2.4 verifica-se que a durabilidade é um dos principais requisitos de desempenho dos revestimentos. Segundo a BS 5262\* (BSI, 1976), a durabilidade de um revestimento depende, principalmente, dos seguintes fatores:

- a) proteção dos revestimentos por detalhes arquitetônicos convenientes;
- b) penetração de umidade de infiltração;
- c) efeitos da poluição atmosférica;
- d) natureza da base de revestimento, por questões de capacidade de ancoragem e por problemas associados à reação de sulfatos e a movimentos de retração de secagem;
- e) tipo de revestimento, composição do traço da argamassa, que tem influência intrínseca nas suas propriedades e compatibilidade com as características da base;
- f) grau de umedecimento da base, visto sua influência na aderência e surgimento de eventuais eflorescências nos revestimentos;
- g) método de aplicação, principalmente em função da natureza da base;
- h) danos causados por abrasão ou impacto, e
- i) manutenção periódica.

SELMO (1989) afirma que na prática é inviável a ponderação de todos esses fatores para se definir as propriedades das argamassas e, por conseguinte, uma especificação empírica ou experimental de seus traços. No entanto, recomenda que no mínimo os seguintes aspectos devam ser considerados:

- a) condições de exposição às intempéries;
- b) poluição atmosférica;
- c) características da base a ser revestida;
- d) condições de execução e acabamento final previsto.

### 2.5.1 CONDIÇÕES DE EXPOSIÇÃO

Fatores como o clima local, as construções em torno da edificação, a posição relativa do revestimento na fachada e a presença de detalhes construtivos ou arquitetônicos de proteção são determinantes das condições de exposição às intempéries dos revestimentos de fachada.

CARNEIRO (1993) recomenda que se faça uma análise das condições de exposição às quais o revestimento estará sujeito de acordo com os critérios de diversas normas (Tabela 2.4). A classificação proposta pelo autor envolve aspectos mais amplos de exposição que estão relacionados com o macro clima da área onde está localizada a edificação.

Tabela 2.4 Classificação das condições de exposição dos revestimentos externos de fachada com base nas normas BS 8210 (BSI, 1986) e DIN 18550 – Part 1 (DIN, 1985) – (CARNEIRO, 1993).

CLASSIFICAÇÃO DAS CONDIÇÕES DE EXPOSIÇÃO		CONDIÇÃO DE EXPOSIÇÃO EXTERIOR DAS EDIFICAÇÕES
Branda		Edificações em área não industrializada e distante do mar mais de 10 km e precipitação anual <600 mm
Moderada	I	Edificações em área não industrializada e distante do mar entre 3 e 10 km e precipitação anual >600 e <800 mm
	II	Edificações em área urbana ou com índice de poluição branda e distante mais de 10 km do mar. Precipitação anual >600 e <800 mm
Severa		Edificações em áreas não industrializadas e distante no máximo 3 km do mar. Precipitação anual >800 mm ou em regiões de ventos fortes
Muito severa		Edificações próximas ao mar e em áreas industrializadas com considerável índice de poluição atmosférica

A acumulação de sujeira e outros materiais sobre a superfície dos revestimentos, provenientes da atmosfera, é inevitável em algumas circunstâncias e atenção especial deve ser dada para as áreas industriais (BSI, 1976).

A BS 5262 (BSI, 1976) afirma que a poluição atmosférica afeta o desempenho do revestimento em argamassa em dois aspectos:

a) durabilidade: com a introdução de substâncias destrutivas como óxido sulfoso, que podem atacar o cimento, provocando falhas no revestimento;

b) descoloração: patologia que pode não ser prejudicial à durabilidade do revestimento, mas causa efeitos adversos à aparência, particularmente quando a descoloração é irregular.

A mesma norma afirma ainda que o efeito da poluição atmosférica deva ser considerado juntamente com aquele da chuva incidente sobre as fachadas. Em áreas de poluição atmosférica severa, é muito difícil prevenir a descoloração da camada final do revestimento, por mais que seja adaptada àquela situação.

Finalmente, a BSI (1976) recomenda que seja feito estudo prévio do tipo de acabamento, do emprego de materiais especiais na composição da argamassa e do uso de detalhes arquitetônicos, de maneira que a água da chuva seja conduzida a locais preferenciais de fluxo. Assim, ainda que se forme uma má aparência, esta será de forma localizada, tornando mais racional a manutenção da fachada, e possibilitando, desta forma, maior durabilidade do revestimento.

## **2.5.2 CARACTERÍSTICAS DA BASE A SER REVESTIDA**

SELMO (1989) afirma que, embora a influência da base nas propriedades dos revestimentos seja comentada por várias normas e por diversos pesquisadores, ainda são restritas as investigações experimentais e o domínio tecnológico sobre o assunto.

Como a aderência da argamassa de revestimento depende dos cuidados de preparação da base (LEJEUNE, 1982), julga-se necessário conhecer suas características a fim de se determinar, em nível de projeto, qual procedimento de preparação deve ser adotado.

Carneiro (1993), com base na BS 5262 (BSI, 1976) descreve quatro tipos de base com suas respectivas características:



a) “base de material denso, resistente e uniforme, inclui tijolos ou blocos cerâmicos de alta densidade, ou concreto denso e impermeável. Estes materiais possuem baixa porosidade, baixa sucção e conseqüentemente oferecem pouca aderência aos revestimentos”;

b) “base de material poroso e de resistência moderada, inclui grande parte dos tijolos ou blocos cerâmicos e sílico-calcários. Estas bases usualmente oferecem alguma capacidade de sucção e aderência satisfatória. Se a sucção da base for irregular, o tratamento com chapisco é recomendado, pois evitará uma aderência irregular do revestimento à base”;

c) “base de material poroso e de baixa resistência, inclui os tijolos de baixa resistência que necessitam de maior cuidado na seleção do revestimento, do traço da argamassa e do tipo da preparação empregada. Particularmente, é importante que o traço da argamassa de revestimento não seja muito forte a fim de evitar uma excessiva retração, que seria responsável por uma movimentação diferencial entre a argamassa aplicada e a base”;

d) “base de concreto magro ou sem finos, caracteriza-se pelo concreto com grandes vazios que oferecem condições de aderência. É geralmente bastante resistente às forças de retração pelo revestimento. Possui poucos poros pequenos e disto resulta uma baixa capilaridade, evitando o transtorno de excessiva sucção da água das argamassas”.

SARETOK\* (1977), citando pesquisa realizada pela RILEM<sup>4</sup>, aponta os seguintes parâmetros a serem analisados sobre a base de aplicação dos revestimentos:

- a) movimentação higroscópica por retração de secagem;
- b) efeitos sobre a aderência e fissuração dos revestimentos;
- c) características da base que promovem a aderência;
- d) textura da superfície.

Com base nas instruções da BS 5262 (BSI, 1976), as características da base a serem consideradas para a definição da composição, do número de camadas e tipo de acabamento dos revestimentos são: resistência mecânica, absorção de água capilar e porosidade, textura superficial, grau de permeabilidade à água e proteção requerida. A identificação desses parâmetros para preparação da base contribui para a obtenção de aderência eficiente do revestimento.

---

<sup>4</sup> “International Union of Testing and Research Laboratories for Materials and Structures”, no âmbito do seu Comitê 13–MR, “Technical Committee on Mortars and Renderings”.

### 2.5.3 CONDIÇÕES DE EXECUÇÃO

As condições de execução que se recomenda considerar, previamente, a uma definição de propriedades e especificação de traços de argamassas de revestimento, sintetizando SELMO (1989), dizem respeito a:

a) tempo necessário para transporte da argamassa no canteiro de obras: deve-se garantir a execução do revestimento em, no máximo, 2,5 a 3 horas após o preparo da argamassa. Na inviabilidade de se atender ao tempo máximo prescrito, ou para se aperfeiçoar a execução dos serviços, pode-se optar pelo uso de aditivos retardadores de endurecimento, que devem, assim, já ser considerados na especificação dos traços;

b) técnica de aplicação do revestimento: se manual ou por equipamento mecânico, uma vez que as exigências de trabalhabilidade da argamassa fresca podem ser diferentes;

c) natureza do acabamento final e tempo previsto para início da sua aplicação: ponderar o grau de alcalinidade, a umidade e textura admissíveis para aplicação e desempenho adequado do acabamento previsto. As características de composição química e de permeabilidade do acabamento podem aumentar ou diminuir as exigências de dosagem da argamassa.

Além destes fatores, o treinamento da mão-de-obra é muito importante, pois etapas da execução dos revestimentos, tais como o prazo observado para corte e desempenho, podem interferir sobremaneira na fissuração inicial dos revestimentos (MEDEIROS & SABBATINI, 1994).

### III. REQUISITOS PARA ARGAMASSAS E REVESTIMENTOS

#### 3.1 INTRODUÇÃO

A busca pela qualidade tem sido objetivo de um número cada vez maior de empresas no país, e na indústria da construção civil não poderia ser diferente. A melhoria de projetos, “lay-out” dos canteiros de obra, qualificação da mão-de-obra e desenvolvimento de novas técnicas e materiais de construção são exemplos de objetos de estudo do setor para melhoria da qualidade e durabilidade das edificações.

A durabilidade das edificações é função, principalmente, do tipo de material e da adequação desse material ao seu uso. Nesse aspecto, o número de pesquisas sobre os materiais já tradicionais e o desenvolvimento e uso de novos materiais tem sido cada vez maior. De acordo com SELMO (1989), a transformação e o crescimento da indústria da construção têm exigido o desenvolvimento de materiais e componentes de alvenaria.

Segundo a mesma autora, a tecnologia das argamassas de revestimento tem evoluído sob três enfoques distintos de pesquisa:

- a) o estabelecimento de metodologia apropriada para a avaliação das propriedades das argamassas frescas e revestimentos endurecidos;
- b) o estudo da variação das propriedades das argamassas com a proporção dos constituintes, e,
- c) o estudo da variação das propriedades das argamassas em função dos materiais constituintes.

SARETOK (1977), apresentando o estágio de estudos do Comitê 13–MR da RILEM<sup>5</sup>, apresenta uma lista de propriedades a serem exigidas como requisitos de desempenho das argamassas de revestimento, de acordo com a Tabela 3.1.

---

<sup>5</sup> “Technical Committee on Mortars and Renderings”.

Tabela 3.1 Lista das propriedades indicadas pelo Comitê 13–MR da RILEM, como requisitos de desempenho.

PROPRIEDADES NO ESTADO FRESCO	PROPRIEDADES NO ESTADO ENDURECIDO
Trabalhabilidade	Textura e cor
Consistência	Fissuração
Coesão	Aderência (tração e cisalhamento)
Tixotropia	Resistência superficial
Exsudação de água	Retração de secagem, movimentos térmicos e higroscópicos
Retenção de água	Teor de umidade de equilíbrio e teor máximo de umidade
Endurecimento	Absorção de água
Retenção de consistência	Permeabilidade à umidade
Adesão inicial	Resistência ao congelamento
	Estabilidade
	Condutibilidade térmica
	Resistência ao fogo

Muito embora não se tenham pesquisas específicas sobre as exigências das argamassas com saibro, no estado fresco e no revestimento, essas argamassas devem obedecer, a priori, os mesmos requisitos das argamassas tradicionalmente empregadas na construção civil.

Nos itens que seguem são analisadas as principais propriedades das argamassas e revestimentos. Nesses itens, durante a revisão do estado da arte, são feitas incursões sobre a influência da proporção e natureza dos materiais constituintes nas propriedades consideradas.

### 3.2 PROPRIEDADES DAS ARGAMASSAS NO ESTADO FRESCO

As argamassas de revestimento no estado fresco devem ter diversas propriedades para que o revestimento apresente um bom desempenho. Dentre essas várias propriedades procurou-se colocar aqui as mais importantes, fazendo-se sempre comentários sobre a sua influência no desempenho do revestimento.

### 3.2.1 TRABALHABILIDADE

Para uma argamassa ser convenientemente utilizada e conseqüentemente apresentar todo o seu potencial de qualidade é necessário que ela seja trabalhável (OLIVEIRA, 1989). É consenso entre diversos autores que uma argamassa de revestimento tem boa trabalhabilidade quando se deixa penetrar com facilidade pela colher de pedreiro, sem ser fluida; se mantém coesa, sem aderir à colher, ao ser transportada para a desempenadeira e lançada contra a base; e permanece úmida o suficiente para ser espalhada, cortada (na operação de sarrafeamento) e ainda receber o tratamento superficial previsto (ROSELLO, 1976; SELMO, 1989).

ROSELLO (1976) considera que uma argamassa trabalhável significa:

- a) ter consistência apropriada de forma tal que apresenta fácil espalhamento, preenchendo todas as reentrâncias da base ao ser assentada;
- b) não endurecer em contato com as superfícies absorptivas, permanecendo plástica por tempo suficiente para que a operação seja completada;
- c) não segregar ao ser transportada, nem “agarrar” à colher de pedreiro quando está sendo aplicada, e
- d) não apresentar peso excessivo para evitar o cansaço do pedreiro com o tempo.

A trabalhabilidade das argamassas é uma propriedade complexa resultante da conjugação de diversas outras propriedades, tais como: consistência, plasticidade, retenção e exsudação de água, coesão interna, tixotropia, adesão, massa específica e retenção de consistência (KAMPF\*, 1961; RILEM\*, 1982).

Como se pode observar, a definição de trabalhabilidade envolve tanto conceitos físicos quanto subjetivos, ou seja, além de atender às especificações estabelecidas pela normalização vigente, uma argamassa deve ainda atender fatores como preferência pessoal do pedreiro e tradição construtiva.

A influência da natureza e dosagem dos materiais na trabalhabilidade das argamassas pode ser resumida no que segue:

- a) a água, sendo o componente líquido das argamassas, é o meio mais direto que o pedreiro dispõe para regular a trabalhabilidade, fazendo a sua adição em teor adequado até a obtenção da consistência desejada (RILEM\*, 1982). SHALON & SOROKA (1964) observaram que independente do traço, a quantidade de água adicionada pelo pedreiro para obter uma boa trabalhabilidade era tal que argamassas de traços distintos apresentavam praticamente a mesma consistência medida nos aparelhos “Flow Table” e Agulha de Vicat Modificada. Observaram ainda que essa “consistência ideal” variava de um pedreiro para outro. Isto não é

consenso como se analisa na página 28 e a metodologia estudada neste trabalho poderá ser utilizada para esclarecer dúvidas dessa natureza.

b) os aglomerantes, segundo JOISEL\* (1981), contribuem para a trabalhabilidade das argamassas na medida em que forem de finura elevada, para atuar como lubrificantes sólidos entre grãos do agregado;

c) o agregado miúdo contribui para a trabalhabilidade, na medida em que se apresenta bem graduado, com os vazios entre os grãos maiores preenchidos pelos grãos menores. Os finos de natureza siltosa ou argilosa são extremamente eficazes para aumentar a trabalhabilidade das argamassas (COWPER\*, 1950), mas devem ser controlados, em vista de outras propriedades a serem atendidas, tais como retração de secagem moderada e resistência mecânica do revestimento.

### 3.2.2 CONSISTÊNCIA E PLASTICIDADE

A consistência e a plasticidade parecem ser as principais propriedades que determinam a trabalhabilidade das argamassas (RILEM\*, 1992). Em função disto, o termo trabalhabilidade é, usualmente, utilizado como sinônimo destas propriedades (SELMO, 1989).

CARASEK & DJANIKIAN (1993) afirmam que, geralmente, o único meio direto do qual o pedreiro dispõe para corrigir a trabalhabilidade da argamassa é alterar a quantidade de água de amassamento, uma vez que as proporções dos componentes são pré-fixadas. Segundo os mesmos autores, quando o pedreiro faz o ajuste pela adição de mais ou menos água, primeiramente diz respeito à consistência, enquanto que, quando o pedreiro ajusta a argamassa para sua consistência preferida, ele pode fazer um novo julgamento, expressando isto em palavras como “áspera”, “pobre” ou “magra” (para as características negativas) e “plástica” ou “macia” (para as características positivas); ele então está falando de plasticidade.

Consistência é a propriedade pela qual a argamassa tende a resistir às deformações que lhe são impostas (RILEM\*, 1982), decrescendo conforme seja seca, plástica ou fluida. De acordo com SELMO (1989), nas argamassas de consistência plástica e fluida é comum manifestar-se a exsudação de água, que também interfere na trabalhabilidade, exigindo remisturas freqüentes para a homogeneização do material e podendo ainda prejudicar a capacidade de adesão da argamassa.

Geralmente, são definidas três consistências distintas: seca, plástica e fluida, determinadas pela película de pasta aglomerante que circunda os agregados. Na consistência seca os agregados estão em contato

entre si e a pasta apenas preenche os espaços entre eles. Se a consistência é plástica uma fina película de pasta “molha” a superfície dos agregados atuando como lubrificante, proporcionando argamassas trabalháveis.

Na consistência fluida as partículas do agregado estão imersas na pasta, sem coesão interna, e com tendência a depositarem-se por gravidade, produzindo a chamada segregação. Entre estas situações limites existem casos intermediários, sendo a zona ao redor da consistência plástica a de melhor trabalhabilidade para as argamassas de revestimento (ROSELLO, 1976).

Define-se plasticidade como a propriedade que permite à argamassa deformar-se sem ruptura, sob ação de forças superiores às que promovem a sua estabilidade, mantendo a deformação depois de cessado o esforço deformante (IBANEZ\*, 1986; RILEM\*, 1982).

IBANEZ\* (1986) explica, ainda, que a estabilidade plástica das argamassas se origina da coesão interna, das forças de tensão superficial dos materiais.

VARGAS & COMBA (1984) consideram que a plasticidade das argamassas é função do teor de finos com dimensão inferior a 0,075 mm, mas que também depende da consistência, e propõem a classificação que consta da Tabela 3.2.

Tabela 3.2 Classificação proposta por VARGAS & COMBA (1984) para a plasticidade das argamassas, com vistas, na época, à atualização da Norma Básica Espanhola MV 201, “Muros resistentes de fábrica de ladrilho”.

PLASTICIDADE DA ARGAMASSA	TEOR DE FINOS < 0,075 mm (AGREGADO(S) + AGLOMERANTE(S)), EM RELAÇÃO À MASSA SECA TOTAL DA ARGAMASSA (%)
“Grossa”	> 25
“Sograsa”	25 a 15
“Magra”	< 15

Obs.: • Em português, utilizam-se termos como “gorda”, “normal” e “magra”, respectivamente para aqueles apresentados na coluna 1;  
 • Para argamassas com aditivos, os autores propõem uma redução de 5% em todos os valores da segunda coluna.

São vários os métodos empregados para a medida da consistência, dando assim parâmetros para a avaliação da trabalhabilidade. Na Tabela 3.3 pode-se observar os métodos e equipamentos indicados pela RILEM (1982), para avaliação da consistência e plasticidade das argamassas.

Tabela 3.3 Métodos e equipamentos indicados pela RILEM (1982) para a avaliação da consistência e plasticidade das argamassas.

PROPRIEDADE	MÉTODO	EQUIPAMENTO
Plasticidade	RILEM MR-13	“Modified Wuerpel apparatus”
Consistência	ASTM C110	“Modified Vicat needle”
	ASTM C 780	Penetrômetro
Plasticidade e Consistência	RILEM MR-1	“Mo-meter”
	RILEM MR-2	“Dropping ball”
	RILEM MR-11	“Flow table”

Segundo Schimmelwitz, citado pelo documento MR-3 da RILEM (1982), os testes que empregam a penetração de um corpo no interior da argamassa, como por exemplo, o “cone penetration test”, avaliam a sua consistência. Já os métodos que impõem à argamassa uma deformação através de vibração ou choque medem ao mesmo tempo a consistência e a plasticidade, como é o caso do “flow table test”.

GOMES, NERO & APPLETON (1995) apresentam uma metodologia de ensaio objetivando determinar a consistência e a trabalhabilidade das argamassas, utilizando-se para tanto de um penetrômetro, denominado de “K Slump Tester”. Os ensaios realizados apresentaram boa correlação entre as medidas efetuadas através do penetrômetro e as do espalhamento (via “flow table”).

Aqui deve ser introduzido o cone de Abrams como um equipamento possível de investigação no campo das argamassas plásticas.

ROSELLO (1976) considera as relações água/aglomerante, agregado/aglomerante e a granulometria do agregado como fatores que interferem na trabalhabilidade das argamassas — medidas em termos de “consistência” em mesa do tipo “flow table”.

“Em termos práticos, a quantificação destas propriedades, em laboratório, serve como uma forma de se manter a trabalhabilidade aproximadamente constante quando se deseja analisar outras propriedades das argamassas ou para uma melhor caracterização dos trabalhos experimentais sobre o assunto” SELMO (1989).

Segundo a RILEM\* (1982), o operário experiente é muito mais eficiente para adicionar a água e definir a trabalhabilidade das argamassas do que se fazer o controle por qualquer um dos equipamentos citados na Tabela 3.3. O pedreiro primeiro ajusta a consistência da argamassa com a água para depois fazer o julgamento da sua plasticidade — que é, assim, avaliada em função de uma consistência ou teor ótimo de água, informação confirmada no estudo experimental, analisado no Capítulo IV, e que cabe aqui adiantar.



### 3.2.3 DENSIDADE DE MASSA E TEOR DE AR

A densidade de massa e o teor de ar são propriedades das argamassas que afetam a sua trabalhabilidade (ROSELLO\*, 1976).

A influência dessas propriedades na trabalhabilidade das argamassas pode ser atribuída ao fato de que essas propriedades são dependentes da natureza e da dosagem dos materiais constituintes de uma argamassa.

De acordo com KAMPF\* (1961), à medida que a densidade de massa das argamassas diminui, produz-se argamassas mais leves e com melhor trabalhabilidade. ROSELLO (1976) afirma que para argamassas com aditivo incorporador de ar esse conceito se aplica sem maiores restrições, no entanto, acrescenta que a dosagem desses aditivos deve ser controlada porque o teor de ar incorporado às argamassas afeta a resistência e a aderência dos revestimentos endurecidos.

A avaliação destas propriedades pode ser feita pelos métodos preconizados na NBR 13278 (ABNT, 1995).

### 3.2.4 ADESÃO INICIAL

Espera-se que no instante da aplicação da argamassa fresca contra a base de aplicação ocorra a adesão inicial. As argamassas são aplicadas, em estado plástico, sobre uma base sólida, previamente tratada ou não.

A aderência da argamassa fresca na base a revestir se deve, em princípio, às características reológicas da pasta aglomerante (ROSELLO\*, 1976). A autora explica que a baixa tensão superficial da pasta, sendo função inversa do consumo de aglomerantes, é o que propicia a sua adesão física ao substrato, assim como aos próprios grãos do agregado. Isto, provavelmente, só deve ocorrer para certos níveis de consumo muito elevado de aglomerantes.

O fenômeno da aderência se dá a partir do momento em que se aplica a argamassa sobre uma superfície absorvente. Desse instante em diante parte da água de amassamento, que contém em dissolução ou em estado coloidal os componentes do aglomerante, penetra nos poros e canais da base. No interior desses poros se produzem fenômenos de precipitação do hidróxido de cálcio ou dos géis de cimento, ou de ambos. Com

a pega, esses precipitados intra-capilares exercem uma ação de encunhamento da argamassa à base, conseguindo assim a aderência.

ADDLESON\* (1986) considera que a aderência dos revestimentos se dá muito mais pelo efeito da ancoragem mecânica da pasta e da argamassa do que devido às forças de atração entre as duas superfícies. Afirma, ainda, que na prática é difícil quantificar a parcela mecânica da aderência e que parcela se deve à atração superficial.

No entanto, essas duas parcelas podem ser beneficiadas se a extensão de aderência for contínua e uniforme ao longo da interface argamassa/substrato. A trabalhabilidade da argamassa fresca e características da base, como porosidade ou rugosidade, ou ainda todo o tratamento prévio que aumente a superfície de aderência da base podem contribuir para melhoria da adesão inicial das argamassas (BOYTON & GUTSCHIK\*, 1964).

Dessa forma, além da superfície adequada para ancoragem mecânica do revestimento, ADDLESON (1986) cita outros fatores que devem ser observados:

a) a argamassa deve ter capacidade de molhar a base, o que é função não só da natureza da base e do revestimento, mas também das condições de limpeza da base a ser revestida<sup>6</sup>;

b) a argamassa deve permanecer úmida durante a operação de aplicação e acabamento do revestimento, para permitir uma melhor extensão de aderência ao longo da interface de contato do revestimento com a base.

A bibliografia consultada não informa sobre nenhum método específico para avaliação da adesão inicial de argamassas de revestimento, em função da base a ser revestida. SELMO (1989) conclui que a avaliação de adesão inicial, bem como de outras propriedades afins com a reologia das argamassas frescas, carece de métodos de ensaios normalizados para misturas tradicionais, apenas à base de aglomerante minerais.

---

<sup>6</sup> O autor afirma que partículas soltas como grãos de areia, poeira ou películas anti-aderentes (óleo desmoldante ou graxa, por exemplo) resultam em pontos de fraca aderência do revestimento.

### 3.2.5 RETENÇÃO DE ÁGUA

Segundo DAVISON (1974), a água é um ingrediente essencial numa argamassa. Ela tem duas funções primárias:

a) é um líquido que contribui para a trabalhabilidade, uma propriedade essencial para a colocação da argamassa na parede;

b) ela se combina quimicamente com materiais aglomerantes ou determina condições para possibilitar reações de endurecimento, resultando no enrijecimento da argamassa.

A retenção de água está relacionada com a tensão superficial do aglomerante: uma argamassa tende a conservar a água necessária para molhar os grãos de aglomerantes e agregados, as bolhas de ar incorporado e as macromoléculas presentes em suspensão coloidal (ROSELLO, 1976).

SZILAG'YI\* (1977) explica a umidificação dos grãos minerais dizendo que na superfície destes se encontram íons, que causam uma polarização das moléculas da água ( $H^+$  e  $OH^-$ ). Forma uma ponte de moléculas de água ligada a cada íon da superfície dos grãos. A película de água que adere à superfície de um grão é assim constituída por múltiplas pontes idênticas cujas moléculas encontram-se menos atraídas, ou mais livres, conforme aumenta a sua distância à superfície do grão.

Dessa forma, quanto maior a área específica dos componentes da argamassa, maior será a capacidade de retenção de água.

A retenção de água é uma propriedade que confere à argamassa a capacidade de não enrijecer, em contato com superfícies absorventes (ROSELLO, 1976).

BOYTON & GUTSCHIK\* (1964) afirmam que as argamassas com elevada retenção de água resultam com extensão e resistência de aderência satisfatória, principalmente em substratos com absorção de água capilar elevada.

A RILEM\* (1982) afirma que as propriedades das argamassas dependem, em grande parte, da retenção de água adequada, para que as reações químicas de endurecimento dos aglomerantes se efetuem durante a cura. OLIVEIRA (1989) afirma, ainda, que a uma alta retenção de água conduz a uma boa resistência de aderência, particularmente com tijolos de absorção elevada.

A determinação da capacidade de retenção de água das argamassas é feita em relação a um “padrão de absorção”, podendo-se citar, como exemplo, a NBR 13277 (ABNT, 1995), que mede a retenção de água frente à absorção de doze discos de papel filtro padrão (85 g/m<sup>2</sup>), por um período de dois minutos<sup>7</sup>.

SELMO (1989), com base em trabalho de DAVISON (1961), afirma que embora o prazo de avaliação seja curto (1 a 2 minutos), este período parece ser suficiente uma vez que a perda substancial de água das argamassas para um substrato absorvente ocorre nos cinco primeiros minutos de contato e, principalmente, nos dois primeiros minutos.

### **3.3 PROPRIEDADES DOS REVESTIMENTOS ENDURECIDOS**

A seguir são apresentadas algumas propriedades, dentre as mais importantes, dos revestimentos de argamassas, fazendo-se sempre comentários a respeito da sua influência no desempenho dos revestimentos.

#### **3.3.1 CAPACIDADE DE ABSORVER DEFORMAÇÕES**

Os revestimentos devem apresentar capacidade de deformação, para se deformarem sem ruptura ou através de microfissuras que não comprometam a sua aderência, estanqueidade e durabilidade (SELMO, 1989).

Conforme visto no item 3.2.4, no instante de aplicação da argamassa inicia-se um processo de movimentação de nata e da água de amassamento da argamassa para o interior dos poros da base. Pode também ocorrer a perda de água por evaporação em função das condições de vento, temperatura e umidade relativa.

À medida que a argamassa vai secando, retrai-se e surgem tensões crescentes no revestimento e na camada suporte. As tensões de tração farão com que a argamassa sofra deformações de sentido contrário ao da retração durante a secagem bem maiores do que quando já endurecida, uma vez que seu módulo de

---

<sup>7</sup> Método semelhante é adotado pela BS 4551 (BSI, 1980), diferindo apenas na quantidade e na gramatura dos discos de papel: oito discos de papel filtro padrão (200g/m<sup>2</sup>).

elasticidade ( $E_A$ ) é inferior ao valor final (FIORITO, 1985). O revestimento pode ou não ter capacidade de resistir a essas deformações, o que regula o grau de fissuração nas primeiras idades.

Segundo JOISEL\* (1981), as fissuras, em geral, se formam em um revestimento quando a tensão de tração — provocada pela retração por secagem, térmica ou algum esforço de natureza externa — atinge o limite de resistência à tração da argamassa.

Assim, se um revestimento apresenta capacidade de deformação, as fissuras devem ser imperceptíveis, ou seja, devem ser microscópicas.

Os revestimentos de argamassas fracas (baixo valor de  $E_A$ ) apresentam vantagem sobre os mais ricos e de maior espessura, pois sua deformação lenta será maior. Esta tende a neutralizar os efeitos da retração e, conseqüentemente, as tensões tenderão a diminuir consideravelmente, não mais afetando a qualidade do revestimento (FIORITO, 1985).

Diversos fatores influem na amplitude da retração por secagem. Os principais são (OLIVEIRA, 1989):

a) granulometria do agregado miúdo. O agregado miúdo atua como um esqueleto sólido que evita, em parte, as variações volumétricas. Deve-se, então, empregar areia com granulometria que possibilite uma estrutura compacta e que tenha menor área específica, o que diminui o volume de pasta necessária para recobrir toda a superfície dos grãos inertes;

b) quantidade de água. Quanto menor a quantidade de água presente na argamassa, menor será a retração por secagem;

c) consumo de aglomerante. A retração química por hidratação do cimento está diretamente relacionada com seu consumo nas argamassas, mas é muito menor do que a retração por secagem;

d) condições de cura. A retração por evaporação de água é tanto maior quanto a temperatura e a velocidade de circulação do ar e quanto menor a umidade relativa do ar. Uma cura adequada diminui os efeitos da retração uma vez que com a progressão das reações químicas de endurecimento, obtém-se um esqueleto sólido que progressivamente torna-se mais resistente à retração por secagem.

Independente das propriedades intrínsecas das argamassas, as condições de produção, de aplicação e a exposição dos revestimentos em obra comprometem sua integridade superficial, podendo levar a um quadro intenso de fissuração mapeada (SIQUEIRA & SELMO, 1995).

JOISEL\* (1981) indica que a melhor composição das argamassas de revestimento é aquela que compatibiliza as propriedades de trabalhabilidade e retração de secagem com uma baixa resistência à tração. Em vista disso, o autor faz as seguintes recomendações:

a) proceder à escolha criteriosa do agregado, já que o mesmo é uma maneira eficaz de reduzir a retração por secagem das argamassas. A granulometria deve ser contínua, para que o volume de vazios a ser preenchido por pasta seja menor e, sendo menor o teor de pasta da argamassa, menor a retração potencial da mistura;

b) o aglomerante para argamassas de revestimento dever ser de elevada finura e ao mesmo tempo pouco reativo. A exigência da finura, prende-se às questões de boa trabalhabilidade e aderência adequada do revestimento; já o grau de reatividade do aglomerante se relaciona com o crescimento e valor final da resistência à tração da argamassa;

c) estabelecer a composição e traço de dosagem das argamassas, de modo a diminuir o módulo de deformação à tração da argamassa e, por conseguinte, o seu limite de resistência à tração.

SELMO (1989) conclui que o ideal é produzirem-se argamassas com trabalhabilidade adequada, baixo consumo de pasta aglomerante e com maior consumo possível de areia — o que, em princípio, se obtém com agregados bem graduados e com um estudo preliminar de trabalhabilidade visando-se maximizar o uso do agregado miúdo disponível.

A determinação da retração por secagem das argamassas pode ser feita segundo a NBR 8490 (ABNT, 1984), “Argamassas endurecidas para alvenaria estrutural – retração por secagem”.

### **3.3.2 ADERÊNCIA**

A aderência entre superfícies sólidas ou sólidas e líquidas será função de vários fatores, entre os quais (Rocha et all, apud SELMO & LICHTENSTEIN, 1986):

a) natureza dos materiais, pois dela dependerá a intensidade das forças atrativas;

b) área de contato real. De acordo com observações da EPUSP (1989), a extensão de aderência dos revestimentos não ocorre em caráter contínuo e homogêneo, pelo menos no caso de aplicação manual;

c) recuperação das deformações elásticas que surgem nos pontos de contato através da pressão de justaposição;

d) atrito, ou seja, o encaixe e a subsequente ancoragem mecânica das saliências de uma superfície sólida nas reentrâncias de outra e vice-versa. Muitas vezes o atrito é a única parcela responsável pela aderência entre sólidos e pode contribuir significativamente para incrementar o fenômeno de aderência entre eles, por favorecer o aumento da área de contato real.

No revestimento endurecido, conceitua-se a aderência como a propriedade que permite à argamassa absorver tensões normais ou tangenciais na superfície de interface com a base (ROSELLO, 1976).

Nestes, a aderência é um fenômeno predominantemente mecânico, que se processa por ação de encunhamento em uma superfície porosa e irregular de precipitados intra-capilares da pasta de argamassa, conforme exposto no item 3.2.4.

A aderência resulta da conjugação das seguintes características da interface revestimento/base de aplicação (SELMO, 1989):

- a) resistência à tração por aderência, comumente designada “resistência de aderência à tração”;
- b) resistência ao cisalhamento por aderência, comumente designada “resistência de aderência ao cisalhamento”;
- c) extensão de aderência, que se define pela relação entre a área de contato efetivo e a área total da base a ser revestida.

Os fatores que têm papel fundamental na aderência física são a tensão superficial do sólido e do revestimento e a rugosidade superficial da base.

A tensão superficial corresponde à energia livre por unidade de área superficial (RAABE & PETRUCCI, 1989). Este fenômeno decorre das tensões existentes na superfície dos líquidos e dos sólidos e que são responsáveis pela forma que possuem.

A área superficial real é, em geral, superior a 1,5 vezes<sup>8</sup> a área aparente, devido aos poros e rugosidade que toda superfície real possui. O efeito da rugosidade sobre a aderência depende dos raios de curvatura dos poros da base, da sua profundidade e do seu formato irregular. Para capilares menores em grandes quantidades, o teor de adesivo (pasta) que penetra é maior, proporcionando maior área de molhamento. O processo de penetração termina quando não se tem mais líquido disponível ou quando ocorre a diminuição da viscosidade pela solidificação da pasta (perda de umidade e/ou reação química) (Rocha et alli, apud SELMO & LICHTENSTEIN, 1986).

---

<sup>8</sup> Esse valor corresponde ao tipo de base utilizado pelo autor nos ensaios.

A rugosidade influi de maneira benéfica na aderência uma vez que proporciona uma maior adesão física, sendo que esta adesão física é máxima quando a pasta penetra em todos os capilares da superfície atingindo uma posição de equilíbrio (GEYER, 1994).

CARASEK (1991) afirma que a fim de não prejudicar a aderência pela fuga prematura da água necessária para as reações de hidratação do aglomerante, é necessário que a argamassa possua, enquanto fresca, adequada retenção da água de amassamento, que não seja aplicada em camadas muito finas, que o substrato não seja demasiadamente absorvente e que as condições atmosféricas durante a aplicação (temperatura, umidade relativa, vento, incidência de raios solares) não sejam tais que favoreçam a evaporação demasiadamente rápida dessa água.

A avaliação da aderência dos revestimentos se faz através de ensaios de arrancamento de corpos-de-prova cortados transversalmente nos revestimentos, obtendo-se então, os valores de resistência à tração ou ao cisalhamento. Os corpos-de-prova podem ser arrancados por tração ou por cisalhamento de acordo com o resultado que se deseja obter, resistência à tração ou ao cisalhamento. A fratura, no entanto, pode ocorrer na interface revestimento/base, no interior da argamassa ou na base, sendo que nesses dois últimos casos a resistência de aderência é superior à tensão de ruptura calculada pelo ensaio.

Para avaliação da resistência de aderência à tração da interface “revestimento/base de aplicação” existe o projeto de norma do CB-02 (ABNT, 1994 – PN 02:102.17-00). Os procedimentos preconizados por esse método estabelecem corpos-de-prova de seção circular (50 mm de diâmetro) cortados, preferencialmente, transversalmente ao revestimento. O método estabelece ainda, um mínimo de seis corpos-de-prova, para cada situação em estudo.

A avaliação da aderência de revestimentos pode ter finalidades diversas, que vão desde a comparação de diferentes composições ou traços de argamassa a trabalhos de campo, como por exemplo, diagnósticos de revestimentos com problemas patológicos.

No que diz respeito à influência do agregado na resistência de aderência, esta foi estudada por MURRAY (1983), tendo concluído que em substratos de baixa absorção de água capilar a resistência de aderência pode ser melhorada pela utilização de areia fina, mas o uso de aditivos retardadores de pega na argamassa foi ainda mais eficiente para aumentar a resistência de aderência.



### 3.3.3 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO, À ABRASÃO E DUREZA SUPERFICIAL

A resistência mecânica diz respeito à propriedade dos revestimentos de possuírem um estado de consolidação interna capaz de suportar esforços mecânicos das mais diversas origens e que se traduzem, em geral, por tensões simultâneas de tração, compressão e cisalhamento (SELMO, 1989).

Outros esforços, como cargas de impacto, abrasão superficial ou movimentos higroscópicos por umidade de infiltração, são exemplos de solicitações que exigem resistência mecânica dos revestimentos, pois geram tensões internas que tendem a desagregá-los.

SELMO (1989), afirma que a resistência mecânica dos revestimentos é uma propriedade que envolve solicitações de natureza distinta:

- a) resistência à tração e à compressão;
- b) resistência ao desgaste superficial;
- c) resistência ao impacto.

Para controle da resistência mecânica de revestimentos, há a norma nacional NBR 13279 (ABNT, 1995) que adota o ensaio de compressão simples de corpos-de-prova cilíndricos (10,0 x 5,0 cm) de argamassa.

Quanto à resistência superficial dos revestimentos externos, esta é de maior importância quando a localização do revestimento, na fachada, for em lugar sujeito a trânsito intenso de pessoas ou a choques e abrasões freqüentes.

Para avaliação estrita da resistência ao desgaste superficial, o LNEC (1980) recomenda o método Pa 28, "Revestimentos de paredes: Ensaio de abrasão", que utiliza o equipamento mostrado na Figura 3.1. O resultado deste ensaio exprime-se pelo valor numérico da massa mais elevada (inserida no braço de "martinet") a que o revestimento resiste.

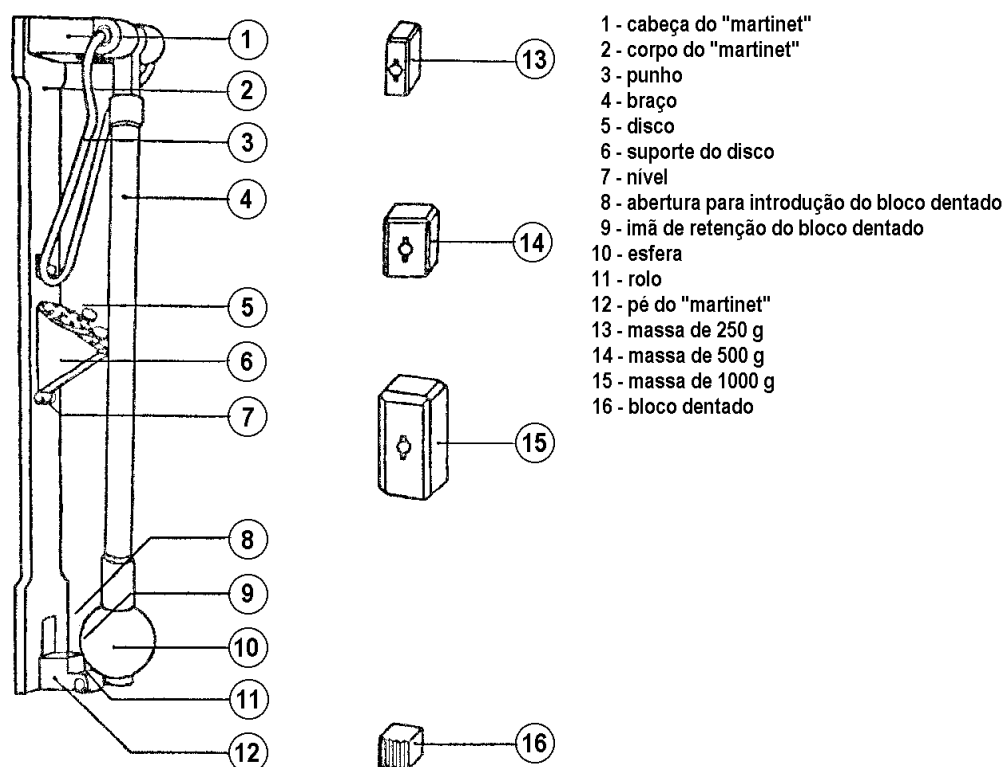


Figura 3.1 Aparelho "Martinet Baronnie" utilizado nos ensaios de resistência ao desgaste superficial, resistência mecânica da superfície e resistência ao impacto (LNEC, 1980).

A RILEM (1982) recomenda o método MR-9, "Characterization of the abrasion resistance of rendering by means of rotary brush", que utiliza uma escova elétrica rotativa para desgaste superficial do revestimento de argamassa. Os resultados desse ensaio são referentes à massa de material seco desgastado pelo equipamento, em um período de 90 segundos.

A resistência mecânica da superfície de revestimentos de acabamento liso também pode ser avaliada por outro ensaio do LNEC (1980): o Pa 27, "Revestimento de paredes: Ensaio de riscagem". A avaliação é feita através de um disco colocado no equipamento da Figura 3.1, mantendo-se este aparelho contra a superfície a ensaiar e puxando-se o mesmo de modo a fazer o disco deslizar ao longo do revestimento. O resultado é expresso pelo valor numérico da massa mais elevada a que o revestimento resiste, isto é, para a qual o disco, colocado junto ao revestimento ou não risca, ou, se risca, não lhe provoca qualquer arrancamento.

A RILEM (1982) apresenta ainda um método MR-18, "Assessment of the surface strength of renderings by means of the adhesive tape test". O resultado deste ensaio expressa o valor médio da massa de revestimento arrancada por três pedaços de fita adesiva normalizada.

Em estudo sobre revestimentos externos, SIQUEIRA & SELMO (1995) afirmam que o ensaio de resistência superficial pelo método da fita adesiva (RILEM, 1982), não foi sensível às variações de composição das argamassas dos revestimentos.

Para a avaliação da resistência ao impacto dos revestimentos, há o MR-19, da RILEM (1982), "Characterization of the surface strength of renderings by the pendulum ball test". Neste ensaio, se mede o diâmetro da impressão na superfície, deixado por uma esfera padrão, lançada contra o revestimento de posição e distância padronizadas, sendo o resultado expresso pela média de, no mínimo, três determinações.

O LNEC (1980) recomenda o Pa 26, "Revestimentos de paredes: Ensaio de quadriculagem". Neste ensaio verifica-se se ocorrem a escamadura ou descolamento de algum dos quadrados de uma malha feita através do impacto de uma determinada massa sobre um bloco denteado posicionado junto ao revestimento. A resultado exprime-se pelo valor numérico da massa mais elevada a que o revestimento resiste.

A dureza superficial dos revestimentos pode ainda ser avaliada fazendo-se uma analogia à NBR 7584 (ABNT, 1982), "Concreto endurecido – Avaliação da dureza superficial pelo esclerômetro de reflexão", utilizando-se para isso um esclerômetro de pêndulo com energia própria para avaliação de revestimentos de menor resistência. Trabalhos de campo de SIQUEIRA & SELMO (1995) mostram que o ensaio é sensível ao crescimento de resistência de revestimentos, inclusive por carbonatação.

Quanto à influência da natureza e dosagem dos materiais sobre a resistência mecânica dos revestimentos cabe salientar que:

a) os finos de natureza argilosa são prejudiciais ao endurecimento e consolidação dos revestimentos. Dessa forma quando se apresentam em teor excessivo no agregado, podem prejudicar a resistência do revestimento, principalmente, a esforços abrasivos SELMO\* (1989);

b) as argamassas de baixo consumo de aglomerante ou com excesso de areia fina podem diminuir a resistência à abrasão dos revestimentos SELMO\* (1989);

c) as argamassas com porosidade elevada podem diminuir a resistência à abrasão e ao impacto dos revestimentos.

De acordo com SELMO (1989), a resistência à compressão, em se tratando de revestimentos, deve ser interpretada com reservas, na medida em que para alta resistência à compressão, apenas a resistência ao desgaste superficial é favorecida — pois, havendo redução da capacidade de deformação, há prejuízo da resistência ao impacto e até da aderência, conforme o caso.

### 3.3.4 PERMEABILIDADE

A permeabilidade é a propriedade que identifica a possibilidade de passagem da água através de um dado material, componente ou elemento da construção, podendo a passagem ocorrer (SELMO, 1989):

a) por infiltração sob pressão;

b) por capilaridade. A absorção de água por capilaridade refere-se à água absorvida pelos materiais, quando em contato superficial com a água, sem pressão hidrostática significativa;

c) por difusão de vapor d'água através dos condutos capilares.

A autora afirma que a permeabilidade à umidade dos revestimentos de argamassa é uma propriedade que se relaciona tanto com o nível de proteção que podem oferecer à base contra a ação de intempéries, quanto com a ocorrência de umidade de condensação nas paredes. Contudo, esta propriedade pode não depender estritamente do revestimento, mas resultar da conjunção de suas características físicas com as da base e acabamento. São, principalmente, importantes as seguintes características finais do conjunto: permeabilidade ao vapor d'água, absorção de água capilar, absorção de água total e estanqueidade sob pressão.

Segundo SANDIN\* (1977), deve-se considerar que a permeabilidade ao vapor d'água dos revestimentos é importante para a secagem da base, após um período de chuva.

Também nos revestimentos permeáveis, a umidade de infiltração que penetre através de eventuais fissuras pode ser mais facilmente eliminada, o que diminui a possibilidade de descolamento dos revestimentos e outras patologias (ROSELLO\*, 1976).

“Quanto à capacidade de proteção às intempéries dos revestimentos, esta resulta controlada pela sua permeabilidade à água, já que a permeabilidade ao vapor d'água é sempre exigida” SELMO (1989). De acordo com GARDEN (1963) e DAVISON (1979), para que a água penetre no revestimento, é necessária a ocorrência simultânea de três condições:

a) existência de um filme de água;

b) aberturas que permitam a sua passagem;

c) forças que permitam a sua penetração.

A existência de um filme de água é proporcionada pela incidência de chuva sobre o revestimento. As gotas de chuva sofrem a ação da força da gravidade e são defletadas pelo vento, podendo, deste modo, atingir a superfície vertical do revestimento.

Dependendo da capacidade de absorção de água do revestimento, pode-se formar sobre este um filme substancial de água. O escoamento do filme irá depender da textura superficial, da força da gravidade e da incidência do vento sobre a superfície.

A penetração de água poderá ocorrer por aberturas na forma de poros, fissuras, ligações mal feitas entre interfaces, ou juntas de revestimentos.

Quando uma gota de chuva bate na superfície do revestimento e se divide, as gotículas resultantes podem penetrar em aberturas com diâmetro superior a 5 mm, devido à energia cinética da gota. Tal penetração depende da profundidade das aberturas, e tende a ser maior quando a velocidade do vento é mais elevada. Em aberturas com diâmetro menor do que 0,5 mm, ocorre a ação da sucção capilar. Se houver interligação entre os vasos capilares, poderá haver percolação de água por toda a espessura do revestimento. A diferença de pressão entre as superfícies externa e interna do revestimento atua sobre aberturas de pequeno diâmetro, entre 0,01 e 5 mm (KAZMIERCZAK, 1989).

A penetração, entretanto, só irá ocorrer se houver forças que conduzam a água incidente nos revestimentos pelas aberturas. Tais forças são divididas entre energia cinética das gotas de chuva, capilaridade, gravidade e pressão decorrente do vento (KAZMIERCZAK, 1989).

Pode haver a ação simultânea da pressão do vento e da capilaridade, uma vez que as aberturas que transportam água nos dois casos são as mesmas para a faixa de 0,01 a 0,5 mm.

A penetração da umidade, segundo os processos descritos, pode ocorrer pela argamassa, pelos componentes da alvenaria, por fissuras na argamassa, por juntas não preenchidas ou por fissuras capilares na interface entre o componente da alvenaria e a argamassa de assentamento. A utilização de argamassa de revestimento aumenta a resistência da alvenaria à penetração de água, preenchendo imperfeições da superfície da alvenaria não revestida, mas em muitos casos é insuficiente para tornar a parede estanque.

A permeabilidade à água de argamassas ou de sistemas de revestimento pode ser avaliada, direta ou indiretamente, por ensaios tecnológicos dos seguintes tipos SELMO\* (1989):

a) avaliação da absorção de água capilar, da absorção de água total (por imersão) ou da permeabilidade sob pressão de corpos-de-prova moldados em formas estanques ou obtidos pelo corte de revestimentos, previamente executados sobre uma determinada base;

b) avaliação da estanqueidade à água, sob determinadas condições de exposição, de corpos-de-prova constituídos por elementos de parede — com ou sem o revestimento e acabamento final — dependendo isto da finalidade do ensaio. Os resultados podem informar se o sistema resultou ou não estanque à água, como ainda precisar o teor total de água absorvida pelo mesmo ou a quantidade de água permeada, ao longo da duração do teste.

O ME-15 (IPT, 1981) é um dos diversos métodos disponíveis para a realização destes ensaios em laboratório. Para a avaliação da estanqueidade de elementos de paredes também se dispõe de métodos mais expeditos (de campo) como o de Permeabilidade “In situ” do IPT (IPT, 1981, b), bem como o “Método do Cachimbo” (CSTC, 1982), já estudado para revestimentos por POLISSENI (1985) e SELMO (1989).

No caso de medida direta da absorção de água capilar de corpos-de-prova de argamassas deve-se ter cautela para interpretação dos resultados, em sendo o estudo aplicado a revestimentos, devido à provável diferença de porosidade entre os corpos-de-prova de argamassa e o revestimento — a menos que se tenha critérios baseados em tal procedimento (SELMO, 1989).

CARASEK (1995), estudando misturas de cimento Portland e diversos tipos de saibro, observou que alguns revestimentos de saibro apresentaram comportamento semelhante àqueles executados com traços mistos contendo cal, mostrando índices de resistência de aderência à tração, fissuração, dureza superficial e pulverulência, próximos entre si e apresentando melhor comportamento quanto à absorção/permeabilidade.

## IV. AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES DE ARGAMASSAS E REVESTIMENTOS COM SAIBRO DE MACEIÓ (AL)

### 4.1 OBJETIVO

O saibro é um material amplamente empregado em argamassas de revestimento na região de Maceió (AL), No entanto, as propriedades dessas argamassas são pouco conhecidas, sendo restritas as pesquisas sobre sua avaliação.

Assim sendo, considerou-se relevante a realização desta pesquisa, cujo objetivo principal foi verificar a influência do saibro nas propriedades das argamassas. Como inexistem métodos de consagrados de controle de dosagem de saibros em argamassas, a pesquisa iniciou por um estudo de trabalhabilidade baseado em recente metodologia proposta por SELMO (1990), pela qual se pode correlacionar de forma satisfatória esta propriedade com a percentagem total de finos menores do que 0,076 mm presentes na argamassa<sup>9</sup>. Este estudo também propiciou uma avaliação prévia e comparativa dos consumos de materiais nas argamassas, para a definição dos traços para estudo posterior de revestimentos com proporções de argamassas bem distintas, mas equiparadas em trabalhabilidade.

Foram estudadas tanto as argamassas no estado fresco e endurecido, quanto painéis de revestimento de camada única, executado sobre painéis de alvenaria de blocos cerâmicos chapiscados.

Nas argamassas no estado fresco foram realizados ensaios de consistência, retenção de água e teor de ar incorporado. Foram ainda calculados parâmetros como consumo de materiais por metro cúbico de argamassa e densidade de massa.

Para os corpos-de-prova de argamassa endurecida foram feitos ensaios de resistência à compressão, absorção de água, massa específica e porosidade.

---

<sup>9</sup> A proposta original é de VARGAS & COMBA (1984), cujo trabalho foi analisado no item 3.2.2, sendo que a adaptação sugerida por SELMO (1990) é de que trata propriamente o item 4.2.2, deste capítulo.

Nos painéis de revestimento os ensaios realizados foram de resistência de aderência à tração e esclerometria, com baixa energia de impacto. Foi efetuado ainda um controle da fissuração apresentada pelos revestimentos.

## **4.2 Metodologia**

A metodologia de avaliação das argamassas consistiu das etapas abaixo discriminadas, onde são descritas as atividades e os ensaios realizados.

### **4.2.1 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS**

#### **4.2.1.1 CIMENTO**

Foi empregado na produção das argamassas em cimento tipo CPIIF-32, adquiridos no mercado local em sacos de 50 kg, provenientes de um mesmo lote de fabricação. A escolha do tipo de cimento deveu-se ao fato desse ser o tipo mais comercializado no estado.

A amostra de cimento foi submetida ao ensaio normal de cimento conforme as normas vigentes — NBR 6474 (ABNT, 1984), NBR 7215 (ABNT 1991), NBR 7224 (ABNT, 1984), NBR 9202 (ABNT, 1985), NBR 11579 (ABNT, 1991) e NBR 7251 (ABNT, 1982). As normas compreendem ensaios de determinação de finura, área específica, início de pega, resistência à compressão, massa específica e massa unitária; a amostra atendeu as especificações da NBR 5732 (ABNT, 1991).

Os valores obtidos e as especificações da estão apresentados na Tabela 4.1.



Tabela 4.1 Valores médios das propriedades físicas do cimento utilizado.

PROPRIEDADES	UNIDADE	VALORES MÉDIOS OBTIDOS	VALORES ESPECIFICADOS NBR 5732
Finura	%	2,0	< 15
Área Específica	m <sup>2</sup> /kg	439	> 260
Início de Pega	Min	113	100 – 120
Resistência à compressão (3 dias)	MPa	26,8	> 10
Resistência à compressão (7 dias)	MPa	30,6	> 20
Resistência à compressão (28 dias)	MPa	39,0	> 32
Massa específica	Kg/m <sup>3</sup>	3.100	–
Massa unitária	Kg/m <sup>3</sup>	1.430	–

#### 4.2.1.2 AGREGADO MIÚDO

O agregado miúdo, ou areia lavada como é comumente denominado, comercializado na região de Maceió, provém da extração no Rio Mundaú. Para realização dos ensaios foi adquirido cerca de 1,5 m<sup>3</sup> de areia lavada, do qual foi retirado, de acordo com a NBR 7216 (ABNT, 1987), uma amostra representativa para os ensaios de caracterização do material. Dessa forma, o agregado miúdo foi caracterizado quanto ao inchamento NBR 6467 (ABNT, 1987), composição granulométrica NBR 7217 (ABNT, 1987), teor de argila em torrões NBR 7218 (ABNT, 1987), teor de materiais pulverulentos NBR 7219 (ABNT, 1987), massa unitária NBR 7251 (ABNT, 1982) e massa específica NBR 9776 (ABNT, 1986). A média desses resultados consta da Tabela 4.2. No Anexo A estão os resultados dos ensaios de granulometria e inchamento, bem como sua apresentação gráfica.

Tabela 4.2 Valores médios obtidos nos ensaios de caracterização do agregado miúdo.

PROPRIEDADES	VALORES MÉDIOS OBTIDOS
Massa específica (kg/m <sup>3</sup> )	2.590
Massa unitária (kg/m <sup>3</sup> )	1.380
Torrões de argila (%)	1,48
Materiais pulverulentos (%)	0,60
Módulo de finura	2,11
Umidade crítica (%)	3,10
Coefficiente médio de inchamento	1,36

#### 4.2.1.3 SAIBRO

Embora se tenha um grande número de jazidas desse material na região, o saibro empregado no estudo foi o da Jazida Jacutinga (Figura 4.1). Essa jazida, durante a realização da pesquisa era a mais explorada comercialmente na região e, portanto, deveria abastecer a maioria dos canteiros de obra da cidade.

Para uma perfeita caracterização do material a ser empregado na pesquisa, o recomendável seria o mapeamento geomorfológico de toda a jazida, mas como o custo e o tempo requerido para isso seria demasiadamente elevado, em função do tamanho da área, a caracterização do material foi feita através de amostras retiradas da jazida durante a extração do material para comercialização no mercado interno, com o seguinte procedimento:

- a) Coleta de seis amostras de saibro extraídas ao longo de seis dias de produção normal da jazida. Cada amostra continha em 240 kg de material e era formada por duas amostras parciais coletadas uma pela manhã e outra à tarde, em um mesmo dia;
- b) A formação de cada amostra diária deu-se por homogeneização, quarteamento e redução das duas amostras diárias colhidas no mesmo dia;
- c) As seis amostras foram caracterizadas quanto à sua granulometria, pela NBR 7181 (ABNT, 1984), massa específica, conforme NBR 6508 (ABNT, 1984) e massa unitária no estado seco e solto pela NBR 7251 (ABNT, 1982).



Figura 4.1 Vista da Jazida Jacutinga – Maceió – AL.

Os ensaios realizados com as seis amostras diárias de saibro revelaram que, naquele período de produção, se tratava de um material homogêneo, não apresentando variações significativas de propriedades entre as diversas amostras. Dessa forma foi feita uma homogeneização seguida de peneiramento para utilização do material no preparo das argamassas. O peneiramento teve objetivo de eliminar eventuais impurezas e de destorroar o material. Esse procedimento é executado em peneiras com malha de abertura igual a 5,0 mm e constitui em prática comum nos canteiros de obra da região. Os resultados dos ensaios de cada amostra estão no Anexo A. Na Tabela 4.3 são apresentadas as médias desses valores.

Tabela 4.3 Valores médios obtidos nos ensaios de caracterização de seis (6) amostras diárias de saibro extraído da Jazida Jacutinga — Maceió/AL

PROPRIEDADES	VALORES MÉDIOS OBTIDOS					
	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 4	Amostra 5	Amostra 6
Massa específica (kg/m <sup>3</sup> )	2.590	2.591	2.598	2.591	2.593	2.590
Massa Unitária (kg/m <sup>3</sup> )	1.303	1.300	1.298	1.301	1.300	1.303
Teor de finos > 0,075mm (%)	69,78	69,77	69,77	70,63	69,77	70,37
Teor de finos < 0,075mm (%)	30,22	30,23	30,23	29,37	30,23	29,63

A análise mineralógica por difração de raio-X de uma amostra obtida da homogeneização das seis amostras diárias indicou que o saibro apresentava os seguintes minerais constituintes: caulinita (provavelmente predominante), quartzo e feldspato, conforme consta no Anexo A.

#### 4.2.2 ESTUDO PRELIMINAR DE TRABALHABILIDADE PARA DOSAGEM DO SAIBRO E DA ÁGUA

##### 4.2.2.1 PREMISSAS DA METODOLOGIA ADOTADA

Como visto na revisão do estado da arte (Capítulo II), não existe consenso nacional sobre métodos de dosagem de argamassa com saibro.

Assim, pela metodologia adotada, a adição plastificante (no caso, o saibro) teve sua dosagem controlada por um estudo visual preliminar de trabalhabilidade, auxiliado por um pedreiro profissional experiente no emprego de argamassas em obra. Este procedimento, aliás, é há muito adotado na tecnologia de concreto ao se proceder os estudos experimentais de dosagem de concreto estrutural (HELENE & TERZIAN, 1992), e não de vê objeções de porque ser diferente para as argamassas em questão, desde que efetuada a avaliação posterior de desempenho do revestimento.

Esta metodologia tem os seguintes objetivos principais:

a) estabelecer um teor mínimo de adição plastificante nas argamassas, com vistas à obtenção de traços de trabalhabilidade média, isto é, nem “magros” nem excessivamente “gordos”<sup>10</sup>, cuidando-se principalmente deste segundo limite, pelos efeitos que os finos podem causar na retração e fissuração de revestimentos.

b) estabelecer uma curva de ajuste da trabalhabilidade dessas argamassas e, que deve, de preferência, ser estabelecida por testes de repetibilidade para um mesmo pedreiro e de reprodutibilidade entre pedreiros. A pesquisa, no entanto, se ateve apenas ao teste de repetibilidade.

---

<sup>10</sup> Os termos “magro” e “gordo” referem-se às argamassas de pouca ou muita plasticidade, respectivamente, conforme a classificação proposta por VARGAS & COMBA (1984) apresentada na Tabela 3.2 do Capítulo III.

#### 4.2.2.2 PROPORÇÕES AGREGADO MIÚDO/CIMENTO PREESTABELECIDAS

Neste estudo, o parâmetro de dosagem inicialmente preestabelecido foi a relação “agregado miúdo úmido/aglomerante”, em volume, designada por “M”, conforme a Tabela 4.4. A conversão dos traços de cimento e agregado miúdo em volume para proporcionamento em massa foi feita através da expressão:

$$1: \frac{V_q \times \delta_q}{V_h / V_o \times \delta_h};$$

Onde:

$V_q \Rightarrow$  proporção do agregado miúdo no traço da argamassa em volume aparente;

$\delta_q \Rightarrow$  massa unitária do agregado miúdo, no estado seco e solto, em  $\text{kg/m}^3$ ;

$\delta_c \Rightarrow$  massa unitária do cimento, no estado solto, em  $\text{kg/m}^3$ ;

$V_h/V_o \Rightarrow$  Coeficiente médio de inchamento do agregado miúdo.

Tabela 4.4 Relações “cimento/agregado miúdo” preestabelecidas para a realização do estudo de trabalhabilidade das argamassas.

TRAÇOS	PROPORÇÃO “CIMENTO:AGREGADO MIÚDO ÚMIDO” NAS ARGAMASSAS					
	A	B	C	D	E	F
Em volume (úmido)	1:3	1:5	1:5	1:9	1:11	1:13
Em massa (seco)	1:2,14	1:3,56	1:5,70	1:6,41	1:7,83	1:9,26

#### 4.2.2.3 PROCEDIMENTOS DO ESTUDO DA TRABALHABILIDADE

Para o estudo da trabalhabilidade, teve-se o auxílio de um pedreiro de obra experiente em produção de argamassas, que efetuou a adição de água e saibro por um critério de ajuste visual e subjetivo. Com a finalidade de reproduzirem-se igualmente os traços, os materiais empregados foram medidos em massa, previamente secos. Ao pedreiro foi entregue o cimento e o agregado miúdo previamente misturados conforme os traços estabelecidos na Tabela 4.4. A mistura foi proporcionada sempre em relação a um quilo de agregado miúdo, variando-se apenas o teor de cimento presente. Esse traço proporcionado unitariamente em relação à quantidade de agregado miúdo foi denominado de traço “Base-AGRM” (Tabela 4.5).

Tabela 4.5 Relações “cimento/agregado miúdo” preestabelecidas e traço “Base-AGRM” utilizado no estudo de trabalhabilidade das argamassas.

TRAÇOS	PROPORÇÃO “CIMENTO:AGREGADO MIÚDO ÚMIDO” NAS ARGAMASSAS (“M”)					
	A	B	C	D	E	F
Em volume (úmido)	1:3	1:5	1:5	1:9	1:11	1:13
Em massa (seco)	1:2,14	1:3,56	1:5,70	1:6,41	1:7,83	1:9,26
Traço “Base-AGRM” (seco)	0,47:1	0,28:1	0,18:1	0,17:1	0,13:1	0,11:1

A dosagem das argamassas foi feita em bandejas metálicas onde, segundo o pedreiro, seria mais fácil verificar quando a argamassa estivesse “boa”<sup>11</sup>. Foram realizadas quatro dosagens de água e saibro para cada traço “Base-AGRM”.

Foram impostas duas restrições ao procedimento de dosagem, a primeira teve o objetivo de não “viciar” o pedreiro e consistiu na limitação do número de dosagens feitas por dia, para tanto se julgou adequado um máximo de quatro. A outra restrição foi de realizar a dosagem dos traços em ordem aleatória para que o pedreiro não pudesse fazer distinção dos diversos traços.

A partir da dosagem do saibro nos diversos traços foi plotada uma curva de ajuste desses traços em função da fração menor em maior do que 0,075mm do total de agregados presentes na argamassa. Adotou-se chamar fração fina (Fs) de agregado de uma argamassa aquela fração do agregado total (saibro + agregado miúdo) que passa na peneira 0,075mm e, por conseqüência, chamou-se de fração miúda (Fm) aquela que fica retida nessa mesma peneira. O limite superior de granulometria da fração miúda é o mesmo que deve obedecer os agregados miúdos na sua conceituação pela ABNT, ou seja, inferior a 4,8mm. Esses conceitos servirão de subsídio para análise da influência dos finos plastificantes presente no saibro e sobre a trabalhabilidade das argamassas.

Para alguns traços o número de dosagens foi ampliado de acordo com o coeficiente de variação de “Fs” obtido nas quatro primeiras dosagens, de modo a mantê-lo sempre abaixo de 15%.

Durante o trabalho com o pedreiro teria sido recomendável medir a consistência das argamassas, mas isto não foi possível e apenas a água adicionada foi controlada. Dessa forma, terminada as dosagens de saibro nos traços “Base-AGRM” foi feita a determinação do teor de água médio para avaliação do índice de consistência das argamassas, conforme a NBR 13276 (ABNT, 1995).

<sup>11</sup> A expressão “boa”, citada pelo pedreiro, foi usada como sinônimo de uma argamassa bem trabalhável.

#### 4.2.2.4 RESULTADOS OBTIDOS

As tabelas 4.6 e 4.7 mostram os resultados obtidos durante os ensaios de dosagens do saibro nos traços “Base-AGRM”. Na tabela 4.6 constam as adições de saibro feitas pelo pedreiro para cada traço “Base-AGRM” estudado. Essa adição foi feita de maneira visual e gradativa, com o auxílio de uma colher medida com capacidade de aproximadamente 50g.

Tabela 4.6 Quantidade de saibro adicionada pelo pedreiro às argamassas nas diferentes dosagens realizadas, em ordem aleatória e para um máximo de quatro argamassas por dia.

PROPORÇÃO “M”	QUANTIDADE DE SAIBRO ADICIONADA (kg)							
	D1	D2	D3	D4	D5	Média	Desvio	C.V. (%)
1:3	0,3135	0,4335	0,4055	0,3435	-	0,374	0,055	14,745
1:5	0,7475	0,7510	0,7843	0,7127	-	0,749	0,029	3,908
1:8	1,5199	1,1355	1,1130	1,3887	1,2879	1,289	0,198	15,369
1:9	1,7753	1,5660	1,4425	1,7282	-	1,628	0,153	9,382
1:11	1,7752	1,7930	1,8253	1,7305	-	1,781	0,040	2,220
1:13	1,8935	2,1103	2,1039	1,7163	-	1,956	0,189	9,657

A adição de água nas argamassas foi feita com o auxílio de proveta graduada de 500ml. O volume total de água acrescentado para a dosagem de cada traço consta da Tabela 4.7. A dosagem de água foi feita antes da dosagem do saibro, pois primeiro deve-se avaliar o aspecto da argamassa sem plastificante, efetuando-se depois pequenos ajustes à medida que se acrescenta a adição plastificante.

Tabela 4.7 Valores das adições de água efetuadas pelo pedreiro nos traços “Base-AGMR”.

PROPORÇÃO “M”	QUANTIDADE DE ÁGUA ADICIONADA (l)							
	D1	D2	D3	D4	D5	Média	Desvio	C.V. (%)
1:3	0,290	0,385	0,360	0,315	-	0,338	0,043	12,2715
1:5	0,420	0,415	0,435	0,390	-	0,415	0,019	4,508
1:8	0,605	0,460	0,465	0,560	0,515	0,521	0,062	11,937
1:9	0,665	0,595	0,550	0,645	-	0,614	0,052	8,424
1:11	0,670	0,675	0,685	0,645	-	0,669	0,017	2,545
1:13	0,675	0,750	0,750	0,660	-	0,709	0,048	6,776

As figuras 4.2 e 4.3 mostram de maneira mais ilustrativa os resultados apresentados nas tabelas 4.6 e 4.7.

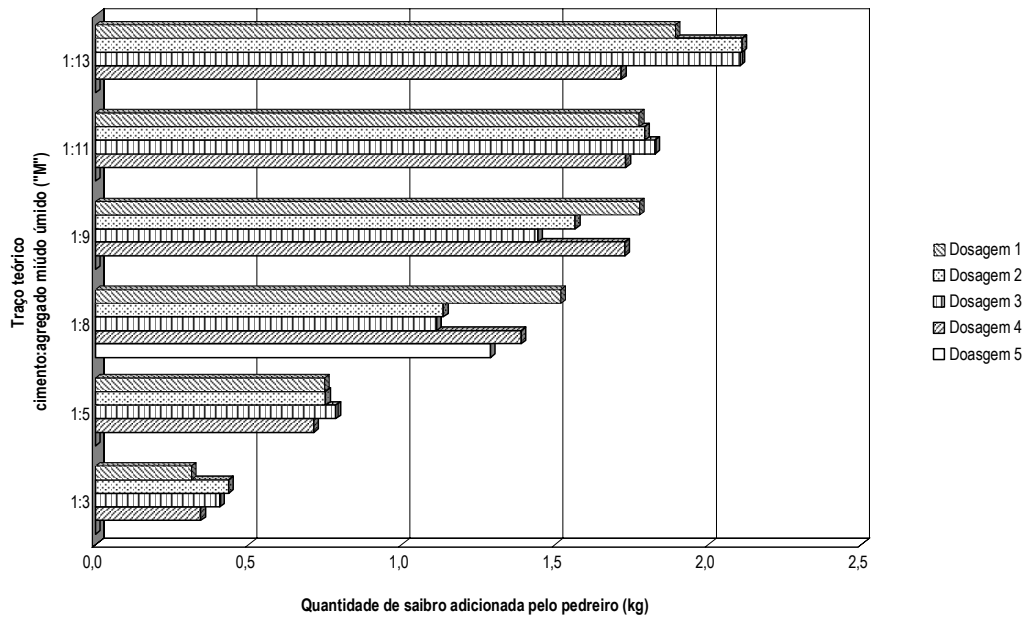


Figura 4.2 Quantidade total de saibro, em massa, adicionada pelo pedreiro conforme o valor prestabelecido da relação “agregado miúdo/cimento”, em volume.

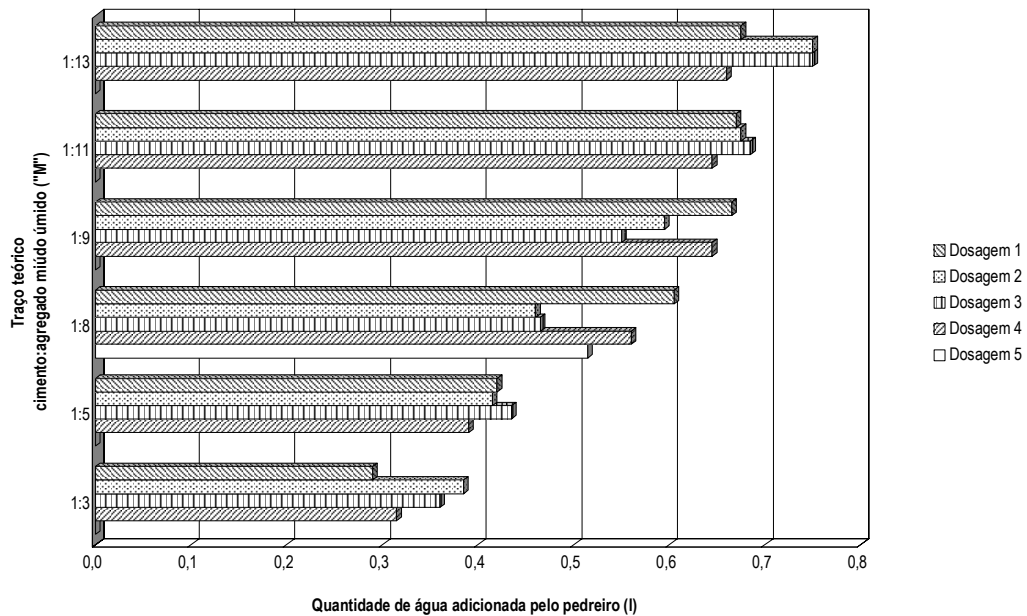


Figura 4.3 Quantidade total de água, em litros, adicionada pelo pedreiro conforme o valor prestabelecido da relação “agregado miúdo/cimento”, em volume.



Na Tabela 4.8 são apresentados os traços unitários médios finais das argamassas, determinados pelo estudo preliminar de trabalhabilidade. A quantidade de saibro presente em cada argamassa foi definida pela média dos valores obtidos das quatro dosagens feitas pelo pedreiro, de acordo com a Tabela 4.6.

Tabela 4.8 Relações “cimento:saibro:agregado miúdo” estabelecidas após a realização do estudo de trabalhabilidade das argamassas.

TRAÇOS	ARGAMASSAS					
	A	B	C	D	E	F
Em massa (seco)	1:0,80:2,14	1:2,67:3,56	1:7,34:5,70	1:10,43:6,41	1:13,95:7,83	1:18,11:9,26
Em volume (úmido) <sup>1</sup>	1:0,88:3	1:2,93:5	1:8,07:8	1:11,46:9	1:15,33:11	1:19,90:13

Obs.: 1. Desprezada as variações volumétricas do saibro úmido.

A conversão dos traços em massa para traço em volume, apresentados na tabela acima, foi feita com base na expressão apresentada no item 4.2.2.2. Para o saibro não foi considerado o efeito do inchamento uma vez que o trabalho se ateve ao laboratório, apenas como uso desse material seco. Pelas dimensões das suas partículas, pode ser que apresentasse fenômeno inverso, de coesão, e de fato para se avaliar as variações volumétricas desse material, o mesmo deveria ser submetido a um ensaio de inchamento pela NBR 6467 (ABNT, 1987), tal qual se procede para agregados miúdos.

A quantidade de finos apresentada na Tabela 4.9 refere-se à soma da fração granulométrica do saibro e do agregado miúdo que passam, ou que ficam retidas, na peneira de abertura igual a 0,075mm.

Tabela 4.9 Quantidade de finos resultantes (agregado miúdo + saibro) nas argamassas dosadas pelo pedreiro em relação à massa total de materiais secos.

FRAÇÃO GRANULOMÉTRICA			QUANTIDADE DE FINOS PRESENTES NAS ARGAMASSAS (%)					
Referência	Identificação	Notação	A	B	C	D	E	F
Finos > 0,075mm	Miúda	Fs	68,21	74,80	76,96	76,65	77,04	77,14
Finos < 0,075mm	Fina	Fm	6,41	11,37	15,92	17,75	18,57	19,34

De acordo com o critério de classificação proposto por VARGAS & COMBA (1984) apresentado na Tabela 3.2 do Capítulo 3, as argamassas dosadas pelo pedreiro apresentaram uma plasticidade “normal”, exceção feita à argamassa “A” que foi classificada como “gorda” (Tabela 4.10).

Tabela 4.10 Classificação das argamassas dosadas pelo pedreiro segundo critérios de VARGAS & COMBA (1984).

ARGAMASSA	TEOR DE FINOS < 0,075mm (AGREGADO(S) + AGLOMERANTE(S)), EM RELAÇÃO À MASSA SECA TOTAL DA ARGAMASSA (%)	CLASSIFICAÇÃO
A	30	Gorda
B	25	Normal
C	23	Normal
D	23	Normal
E	23	Normal
F	23	Normal

#### 4.2.3 AVALIAÇÃO DAS ARGAMASSAS E REVESTIMENTOS

Concluído o estudo preliminar de dosagem da água e do saibro nas argamassas, foram realizados os ensaios para sua caracterização no estado fresco e endurecido.

##### 4.2.3.1 PROPRIEDADES ESTUDADAS E MÉTODOS DE ENSAIOS ADOTADOS

As propriedades que podem descrever as qualidades de uma argamassa são as mais variadas possíveis. Embora não exista um consenso do meio técnico de quais são as propriedades mais importantes para conferir a uma argamassa boa qualidade, algumas como consistência, retenção de água, resistência e aderência ao substrato são sempre colocadas como fundamentais para o bom desempenho da argamassa e depois do revestimento. As propriedades estudadas e as normas adotadas nesta pesquisa constam da Tabela 4.11.

Isto posto, na definição dos métodos de avaliação das argamassas procurou-se abranger um amplo leque de propriedades a serem caracterizadas, com vistas a se determinar de forma mais precisa a influência do saibro no desempenho das argamassas. Na escolha destes métodos de avaliação foram considerados, ainda, fatores como as exigências atuais de normalização e disponibilidade de equipamentos necessários aos ensaios.

Dessa forma, importantes propriedades das argamassas como a retração por secagem e outras relacionadas à permeabilidade e durabilidade (como choque térmico) não puderam ser medidas por falta de

equipamentos no Núcleo de Pesquisas Tecnológicas da Universidade Federal de Alagoas, onde foram realizados os ensaios deste trabalho.

Tabela 4.11 Propriedades caracterizadas, métodos de avaliação e número de determinações ou corpos-de-prova.

OBJETO DA CARACTERIZAÇÃO	PROPRIEDADE ANALISADA	MÉTODO DE AVALIAÇÃO	NÚMERO DE DETERMINAÇÕES
Argamassa Fresca	Consistência	NBR 13276 (ABNT, 1995)	1 Determinação
	Abatimento pelo tronco de cone	NBR 7223 (ABNT, 1992)	1 Determinação
	Retenção de água	NBR 13277 (ABNT, 1995)	1 Determinação
	Densidade de massa	NBR 13278 (ABNT, 1995)	1 Determinação
	Teor de ar incorporado	NBR 13278 (ABNT, 1995)	1 Determinação
Argamassa Endurecida	Densidade de massa	NBR 13280 (ABNT, 1995)	4 Determinações
	Porosidade	NBR 9778 (ABNT, 1987)	4 Determinações
	Absorção de água	NBR 9778 (ABNT, 1987)	4 Determinações
	Resistência à compressão	NBR 13279 (ABNT, 1995)	4 Corpos-de-prova
Painel de Revestimento sobre Alvenaria Cerâmica – 1,50 m <sup>2</sup>	Resistência de aderência à tração	Método CB-02 (ABNT, 1995)	12 Corpos-de-prova
	Dureza superficial – esclerometria	NBR 7584 (ABNT, 1982)	2 Determinações
	Contagem de fissuras visíveis	–	–

#### 4.2.3.2 PROCEDIMENTOS DE PRODUÇÃO DAS ARGAMASSAS E DOS PAINÉIS DE REVESTIMENTO

As argamassas foram caracterizadas nessa fase da pesquisa pelos ensaios no estado fresco, endurecido e por aqueles realizados nos painéis de revestimento conforme a Tabela 4.11. Os traços utilizados foram os que constam na Tabela 4.8.

Todos os traços foram proporcionados em massa com a finalidade de se garantir repetibilidade de argamassas iguais, em diferentes misturas no laboratório.

As argamassas foram produzidas em betoneiras de eixo inclinado, com um tempo de mistura não superior a 5 minutos<sup>12</sup>. Na saída da betoneira, foi reservada quantidade suficiente de argamassa para a

<sup>12</sup> De fato, a BSI 4551 (1980) recomenda um tempo mínimo de 10 minutos, mas teve-se problema com a manutenção da consistência das argamassas e por isso fixou-se o prazo máximo. Talvez isto pudesse ter sido contornado pelo uso dos materiais úmidos ou repouso prévio do saibro com água.

realização dos ensaios em argamassa fresca e moldagem dos corpos-de-prova para ensaios das argamassas endurecidas. O restante da argamassa foi utilizado para a execução dos painéis de revestimento.

O intervalo de tempo decorrido desde a mistura até o início da realização dos ensaios das argamassas no estado fresco e moldagem dos corpos-de-prova, para a realização dos ensaios no estado endurecido, não excedeu a 5 minutos.

Os ensaios dos corpos-de-prova das argamassas endurecidas foram todos realizados aos 28 dias de idade, tendo a cura sido feita ao ar do laboratório, até a idade do ensaio.

Para execução dos painéis de revestimento foram construídos painéis de alvenaria de 1,00x1,50m, conforme Figura 4.4, em blocos cerâmicos e chapiscados com argamassa de cimento e agregado miúdo, traço 1:3, em volume úmido. Para cada tipo de traço de argamassa em estudo foi feito um painel de revestimento, totalizando assim 6 painéis.

O número de determinações ou de corpos-de-prova de cada ensaio foi estabelecido conforme critério das normas adotadas nesse estudo. No ensaio de resistência de aderência à tração o Método do CB-02 (ABNT, 1994 – PN 02:102.17-00) recomenda um mínimo de seis corpos-de-prova. A NBR 7584 (1982) não especifica a quantidade de áreas de ensaio que devem ser adotadas no ensaio de esclerometria, mas recomenda que em cada área devam ser efetuadas no mínimo cinco e no máximo 16 impactos. Dessa forma foram adotadas duas áreas de ensaio com nove impactos em cada uma e o valor médio de cada área consignado como índice esclerométrico.

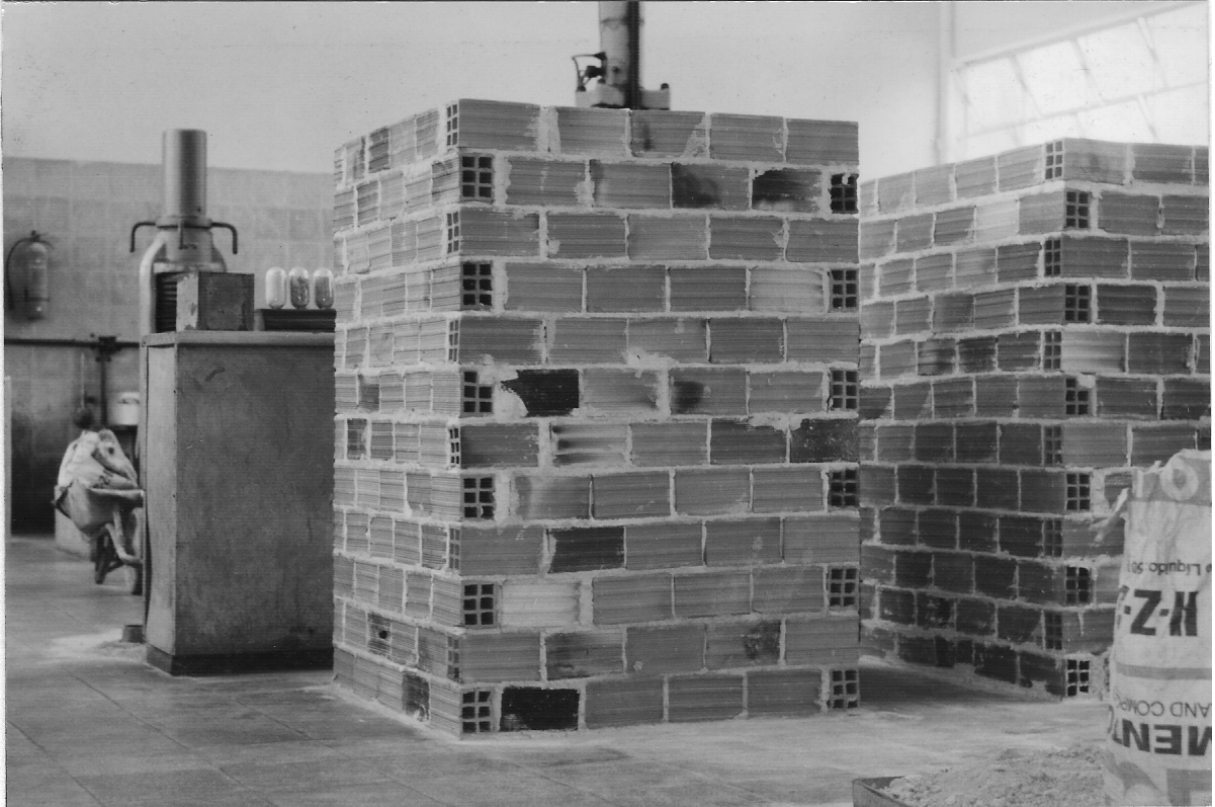


Figura 4.4 Painel de alvenaria de blocos cerâmicos chapiscados utilizado como base dos revestimentos estudados.

A fim de se conseguir uma uniformidade na espessura dos painéis de revestimento foram utilizadas duas régua de madeira de 25 mm de espessura presas às laterais dos painéis por grampos metálicos. O revestimento foi aplicado com colher de pedreiro, sarrafeado, desempenado e feltrado com desempenadeira de esponja umedecida. Durante a execução dos painéis de revestimento, o intervalo de tempo entre a aplicação da argamassa e o sarrafeamento para que a base pudesse “puxar a umidade da argamassa”, para então dar o acabamento final desempenado de revestimento, não foi definido de forma criteriosa, ficando, dessa forma, a cargo do pedreiro. Esse procedimento tem dois objetivos: dar uma maior aderência da argamassa ao substrato para o sarrafeamento e eliminar parte das fissuras provocadas pela retração plástica, quando a base absorve parte da água de amassamento da argamassa.

Todos os painéis de revestimento foram curados em laboratório, a temperatura ambiente, durante um período de 28 dias.

Os revestimentos foram submetidos aos ensaios de resistência de aderência à tração e dureza superficial por esclerometria. O ensaio de resistência de aderência foi realizado conforme método do CB-02 (ABNT, 1994 – PN 02:102.17-00), para um total de 12 corpos-de-prova por revestimento ensaiado. A dureza superficial dos revestimentos foi avaliada aos 28 dias de idade dos diversos painéis através de esclerômetro de pêndulo da marca E. O. Schmidt Basel, tipo P com energia de impacto de 0,9 Joules, conforme o manual do fabricante. Em cada painel foram determinados dois índices esclerométricos, aproximadamente nos terços médios da altura do painel, sendo cada índice definido pelo valor médio de 9 (nove) impactos em uma malha (Figura 4.5), em analogia ao que preconiza a NBR 7584 (ABNT, 1982).

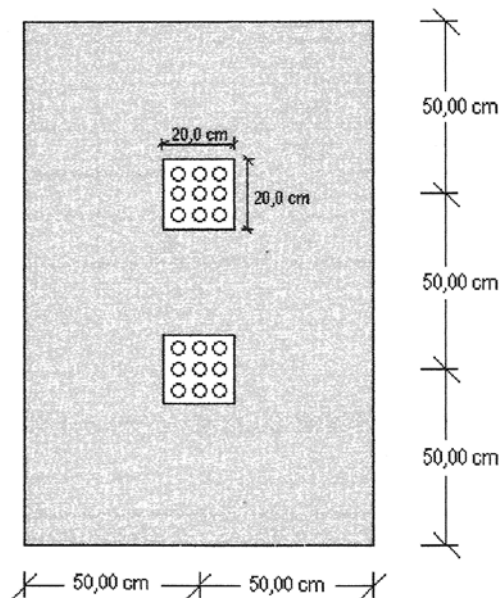


Figura 4.5 Posição das áreas de esclerometria no painel de revestimento, caracterizadas por malha para nove impactos.

#### 4.2.3.3 RESULTADOS OBTIDOS

Os resultados da caracterização das argamassas e dos painéis de revestimento, pelos ensaios que constam na Tabela 4.11, estão apresentados nas tabelas 4.12, 4.13 e 4.14.

Tabela 4.12 Resultados obtidos para as argamassas no estado fresco.

CARACTERÍSTICAS NO ESTADO FRESCO		ARGAMASSAS					
		A	B	C	D	E	F
Traço em volume (agregado úmido)		1:0,88:3	1:2,93:5	1:8,07:8	1:11,46:9	1:15,33:11	1:19,90:13
Traço em massa (materiais secos)		1:0,80:2,14	1:2,67:3,56	1:7,34:5,70	1:10,43:6,41	1:13,95:7,83	1:18,11:9,26
Índice de consistência (mm)		246	247	254	251	254	253
Abatimento pelo tronco de cone (mm)		41	42	46	43	43	47
Consumos	cimento (kg/m <sup>3</sup> )	442	227	116	91	71	57
	agr. miúdo seco (kg/m <sup>3</sup> )	947	809	662	582	556	528
	agr. miúdo úmido (m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> )	0,93	0,80	0,65	0,57	0,55	0,52
	saibro (kg/m <sup>3</sup> )	354	607	852	948	990	1032
	água (kg/m <sup>3</sup> )	305	320	338	350	360	359
Relação água/cimento (kg/kg)		0,69	1,41	2,91	3,85	5,07	6,30
Relação água/materiais secos (kg/kg)		0,175	0,195	0,207	0,216	0,223	0,222
Densidade de massa (kg/m <sup>3</sup> )		2060	1970	1930	1940	1930	1940
Teor de ar incorporado (%)		5	6	4	3	2	2
Retenção de água (%)		98	97	96	97	96	97

Tabela 4.13 Resultados obtidos nos corpos-de-prova cilíndricos de argamassa, de 5x10 cm e a 28 dias de idade de cura ao ar.

PROPRIEDADES NO ESTADO ENDURECIDO		ARGAMASSA					
		A	B	C	D	E	F
Densidade de massa (kg/m <sup>3</sup> )	Média	1811	1711	1686	1669	1628	1631
	Desvio Padrão	69,1	4,5	14,4	10,7	16,5	61,8
	Coef. Variação (%)	3,8	0,3	0,9	0,6	1,0	3,8
Absorção de água por imersão (%)	Média	13	17	18	18	19	19
	Desvio Padrão	0,15	0,07	0,07	0,11	0,15	0,04
	Coef. Variação (%)	1,15	0,44	0,41	0,59	0,76	0,22
Porosidade aparente (%)	Média	23	29	30	31	32	31
	Desvio Padrão	0,26	0,07	0,13	0,27	0,29	0,10
	Coef. Variação (%)	1,12	0,23	0,41	0,88	0,93	0,31
Resistência à compressão (MPa)	Média	18,9	5,7	2,1	1,6	1,0	0,8
	Desvio Padrão	1,07	0,55	0,12	0,07	0,05	0,02
	Coef. Variação (%)	5,63	9,55	5,66	4,23	5,13	2,33

Tabela 4.14 Resultados obtidos nos ensaios dos painéis de revestimento de 1,5x1,0 m, executados sobre alvenaria de blocos cerâmicos, chapiscados com argamassa de cimento e areia no traço 1:3 (agregado úmido).

PROPRIEDADES DO REVESTIMENTO		ARGAMASSA					
		A	B	C	D	E	F
Res. Média de Aderência à Tração aos 28 dias (MPa)		0,25	0,29	0,17	0,12	0,08	0,05
Desvio Padrão		0,10	0,18	0,06	0,03	0,02	0,01
Coeficiente de Variação (%)		39,64	62,89	34,57	28,87	30,11	24,85
Maior Valor (MPa)		0,44	0,75	0,25	0,15	0,10	0,07
Menor Valor (MPa)		0,12	0,10	0,07	0,04	0,04	0,04
Forma Predominante de Ruptura		A	A-C	B	B	B	B
Dureza Superficial	l <sub>1</sub> (cm)	5,1	4,3	2,9	3,2	2,5	2,5
	l <sub>2</sub> (cm)	4,9	4,2	3,3	–	2,8	2,7
	Média (cm)	5,0	4,3	3,1	3,2	2,7	2,6
Número de fissuras	No painel	36	41	58	86	117	139
	Por m <sup>2</sup>	24	27	39	57	78	93

Obs.: • Dureza superficial avaliada com esclerômetro de pêndulo, aos 28 dias de idade. Valores de recuo do pêndulo em centímetros (Índice Esclerométrico).

- l<sub>1</sub> e l<sub>2</sub> referem-se aos valores médios de recuo do pêndulo no ensaio de esclerometria obtidos nas duas áreas ensaiadas no revestimento.
- Formas de ruptura:
  - A ⇒ Ruptura na interface revestimento/substrato
  - B ⇒ Ruptura na argamassa de revestimento
  - C ⇒ Ruptura no substrato

### 4.3 ANÁLISE DOS RESULTADOS

#### 4.3.1 SOBRE O ESTUDO PRELIMINAR DE TRABALHABILIDADE DAS ARGAMASSAS

Cabe, a priori, salientar que a metodologia permitiu comprovar que a demanda de saibro e de água é diretamente proporcional à relação “agregado miúdo/cimento” da argamassa (ver gráficos 4.9 e 4.10).



Utilizando-se a metodologia descrita no item 4.2.2.3 foram traçadas as curvas de trabalhabilidade, que correlacionaram as relações “agregado miúdo/cimento” e “saibro/cimento”, para os traços dosados (Figura 4.6). Essas correlações abrangem os traços que vão desde os mais pobres até os mais ricos, trazendo sempre, em cada caso, o teor ótimo de saibro em função da trabalhabilidade das argamassas. O ajuste linear das diferentes dosagens realizadas revelou que o procedimento adotado, de se utilizar um profissional experiente para dosagem das argamassas, mostrou-se bastante eficiente.

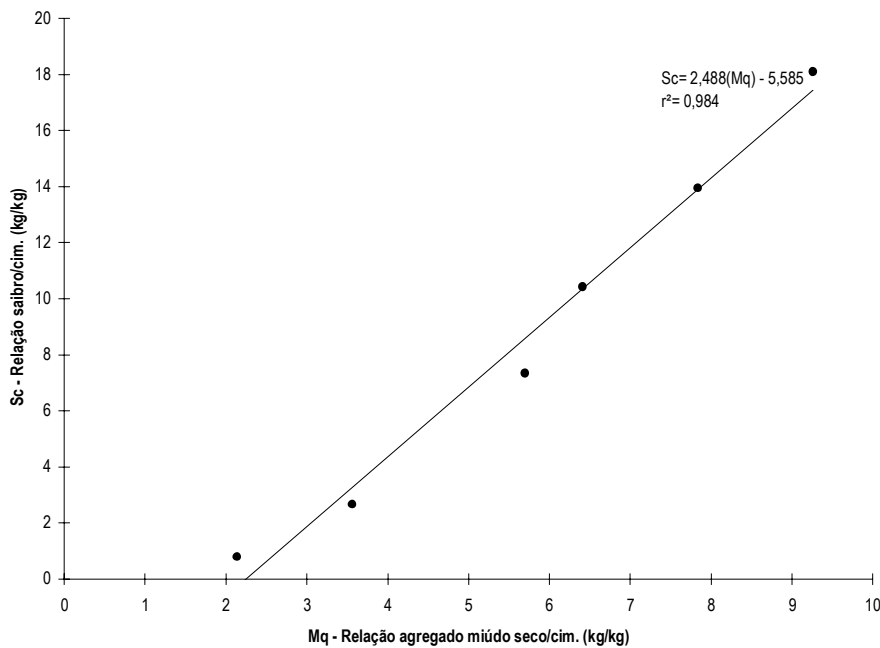


Figura 4.6 Variação da relação “saibro/cim.” (Sc) em função da relação “agregado miúdo úmido/cim.” (Mq), ambas em massa.

Partindo-se da mesma metodologia descrita no item 4.2.2.3 foi traçada uma curva de trabalhabilidade correlacionando a “fração fina” e a “fração miúda” (Figura 4.7) do agregado total. Essa curva mostra, para cada argamassa, o teor ótimo de finos plastificantes, isto é, a quantidade de finos presente no agregado total (saibro + agregado miúdo), que é responsável pela plastificação da argamassa.

As curvas de trabalhabilidade permitem não só o ajuste de traços, mas também uma dosagem mais racional do saibro em uma argamassa, partindo-se apenas de relações preestabelecidas entre cimento e agregado miúdo, por exemplo, em volume e para agregado úmido que é a usual em obras.

Assim, a escolha de uma argamassa para uma dada aplicação fica condicionada à fixação de um intervalo “agregado miúdo/cimento”, da Figura 4.6, em que as argamassas correspondentes possam apresentar as características necessárias para o fim a que se destinam.

Verifica-se que este tipo de gráfico em estudo também serve para se constatar a eficiência de um saibro em plastificar uma argamassa. No caso do saibro em estudo, por possuir uma baixa fração de finos plastificantes (em torno de 30%), acarretou consumos impraticáveis de material inerte nas argamassas, para a maioria dos traços preestabelecidos.

Por ora, não se desenvolveram critérios de desempenho de fato representativos para as diversas condições de exposição das argamassas e revestimentos. Tem-se que a fixação de intervalos da relação “agregado miúdo/cimento” deve em princípio se basear nas proporções já consagradas para argamassas mistas de cimento e cal.

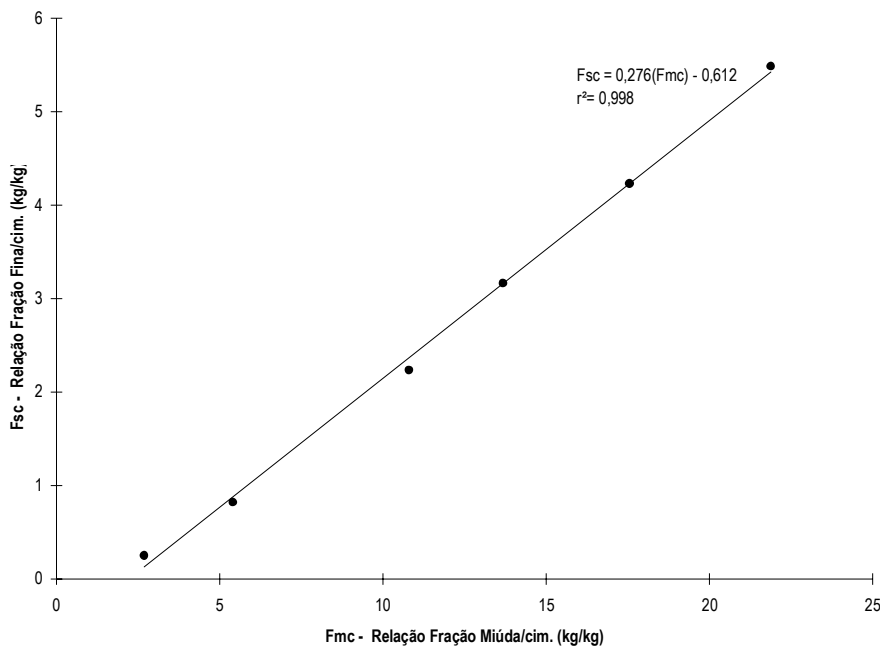


Figura 4.7 Variação da relação “Fração fina/cim.” (Fsc) em função da relação “Fração miúda/cim.” (Fmc), em massa.

Uma outra avaliação que deve ser efetuada para as argamassas é quanto ao consumo de água, conforme a Figura 4.8. Essa figura mostra que a quantidade de água adicionada pelo pedreiro para chegar a uma trabalhabilidade adequada não foi muito diferente daquela necessária para obtenção do índice de

consistência padrão ( $255\pm 10$  mm) medido na mesa para índice de consistência. A boa correlação dos dados mostra que a dosagem do pedreiro foi bastante coerente, isto é, o pedreiro não usou mais saibro ou mais água em um determinado traço ou dosagem para manter a mesma trabalhabilidade da argamassa; ao contrário, as argamassas foram dosadas criteriosamente de modo a manter uma boa trabalhabilidade sem perda de consistência.

Isso também explica o fato de a maioria das argamassas, com exceção do traço “A”, terem apresentado o conceito de “normal”, ou seja, argamassas de plasticidade norma segundo o critério de classificação proposto por VARGAS & COMBA (1984), conforme Tabela 4.10.

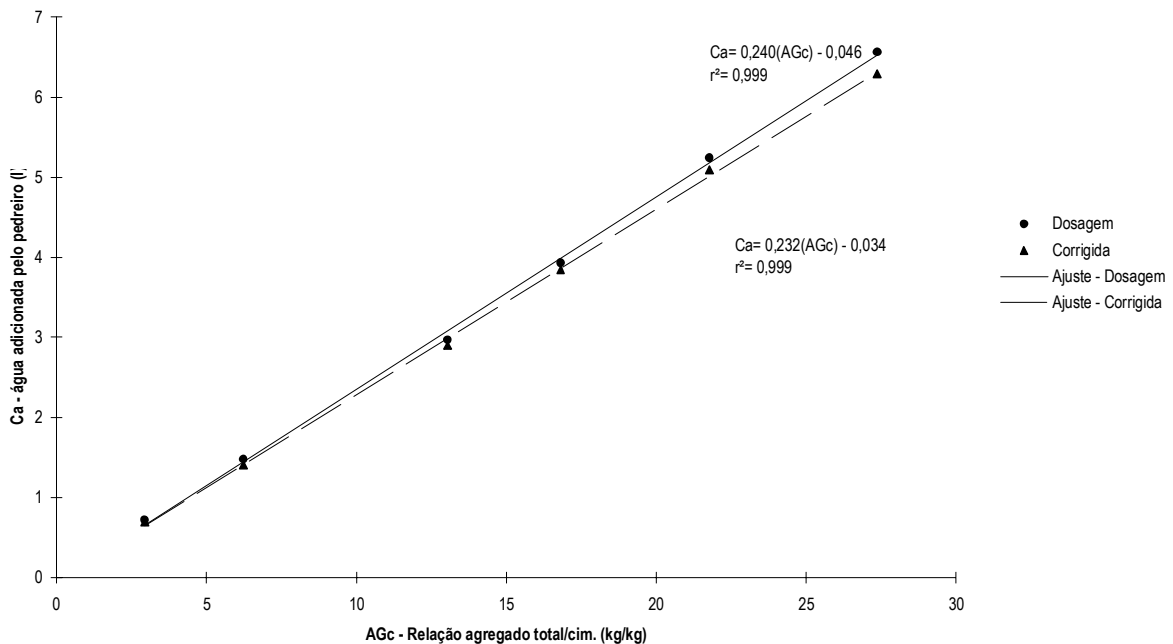


Figura 4.8 Consumo de água das argamassas para os seis traços “Base–AGRM”, em função da relação “agregado total” (agregado miúdo seco + saibro/cimento) (AGc).

- Obs.:
- Os dados de “dosagem” representam a média do consumo de água estipulado pelo pedreiro nas dosagens para cada traço “Base–AGRM”, conforme a Tabela 4.5.
  - Os dados de “corrigida” são os consumos de água de cada traço para obtenção do índice de consistência padrão ( $255\pm 10$  mm).

## 4.3.2 SOBRE O ESTUDO DAS ARGAMASSAS

### 4.3.2.1 NO ESTADO FRESCO

O ensaio de consistência pelo abatimento do tronco de cone apresentou ótima relação com os índices obtidos na mesa para índice de consistência, ou seja, para um índice de consistência padrão de  $255 \pm 10$  mm correspondeu um abatimento em torno de 42 mm.

A Figura 4.9 mostra que a retenção de água das argamassas apresentou resultados praticamente semelhantes, independente da relação “agregado miúdo/cimento”, já que esta relação define tanto o consumo de cimento quanto o de saibro. A capacidade de retenção de água das argamassas certamente foi compensada pelo aumento da quantidade de finos oriundos do saibro presente nas argamassas. Desse modo, a retenção de água das argamassas manteve-se praticamente constante com a redução do consumo de cimento. Assim pode-se concluir que para as argamassas com saibro a retenção de água é praticamente constante, independentemente da dosagem de cimento e muito pouco pode informar sobre o desempenho de revestimentos.

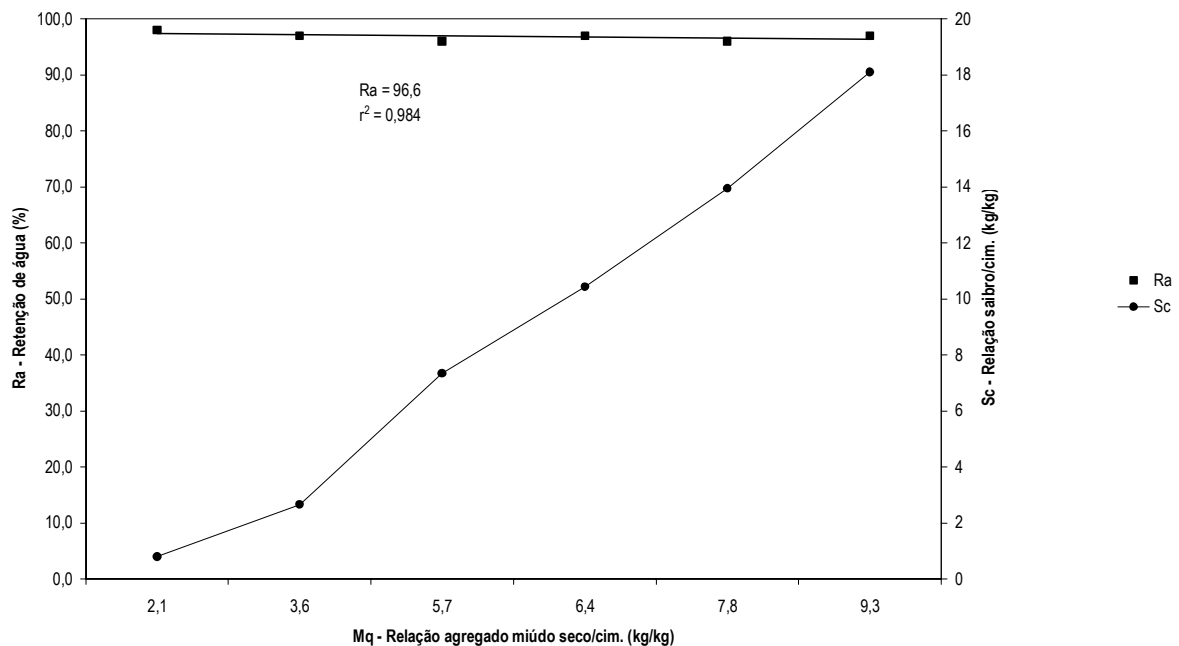


Figura 4.9 Variação da retenção de água das argamassas (Ra) e da relação “saibro/cim.” (Sc) em função da relação “agregado miúdo seco/cim.” (Mq), em massa.

Na análise da variação do teor de ar incorporado (Figura 4.10) verifica-se que esta propriedade apresentou uma redução significativa em função do aumento da relação “agregado miúdo seco/cimento” (Mq) e da relação “água/cimento” (a/c). Essa redução foi causada principalmente pelo aumento no consumo de saibro e de água nos traços, independente do aumento do volume de vazios de agregado miúdo, à medida em que se aumenta a sua proporção no traço.

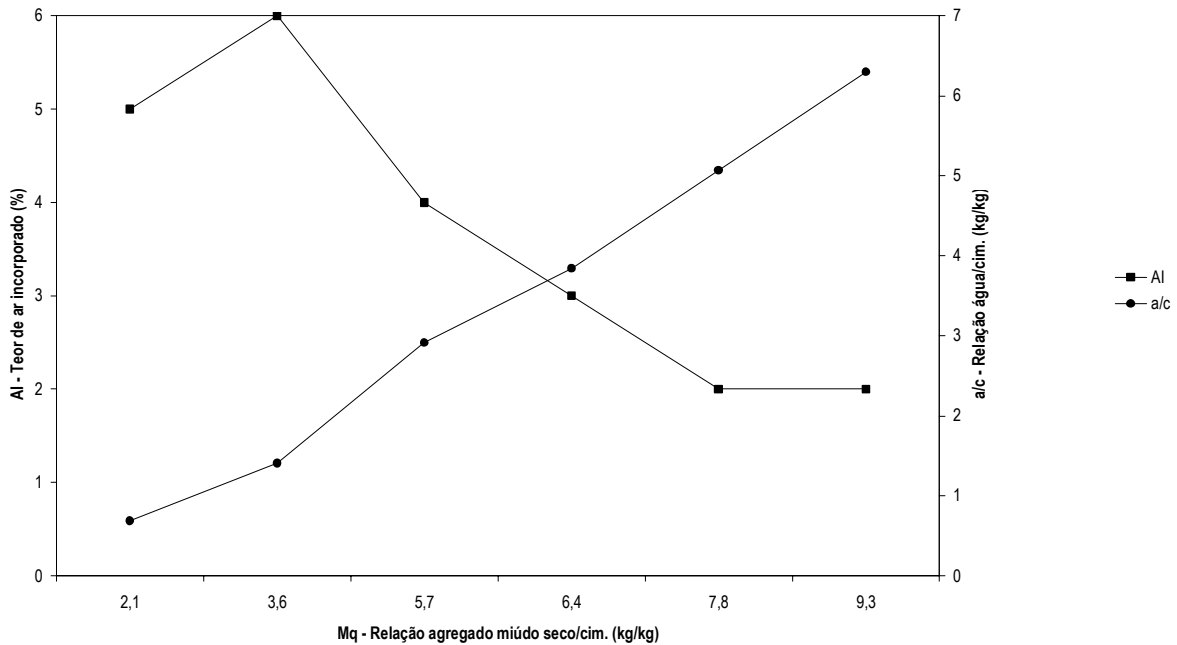


Figura 4.10 Variação do teor médio de ar incorporado (AI) e aumento da relação “água/cimento” (a/c) das argamassas, em função da relação “agregado miúdo seco/cimento” (Mq), em massa.

A densidade de massa das argamassas, segundo a Figura 4.11, mostrou-se uma função da relação “agregado miúdo/cimento”, em massa. Embora o aumento do consumo de agregado corresponda inicialmente a uma diminuição da densidade de massa, a partir de um determinado valor, marcado pela interseção das duas curvas, essa propriedade apresenta uma variação pouco significativa, mantendo-se praticamente constante, o que se atribui à diminuição do consumo de cimento e a maior massa específica desse material. Como a redução de cimento a partir do traço “D” é muito pequena e a percentagem desse material no consumo total de materiais é baixa, a densidade de massa tende a se estabilizar uma vez que o saibro e a areia têm praticamente a mesma massa específica e o consumo de água, em litros por metro cúbico de argamassa, varia muito pouco.

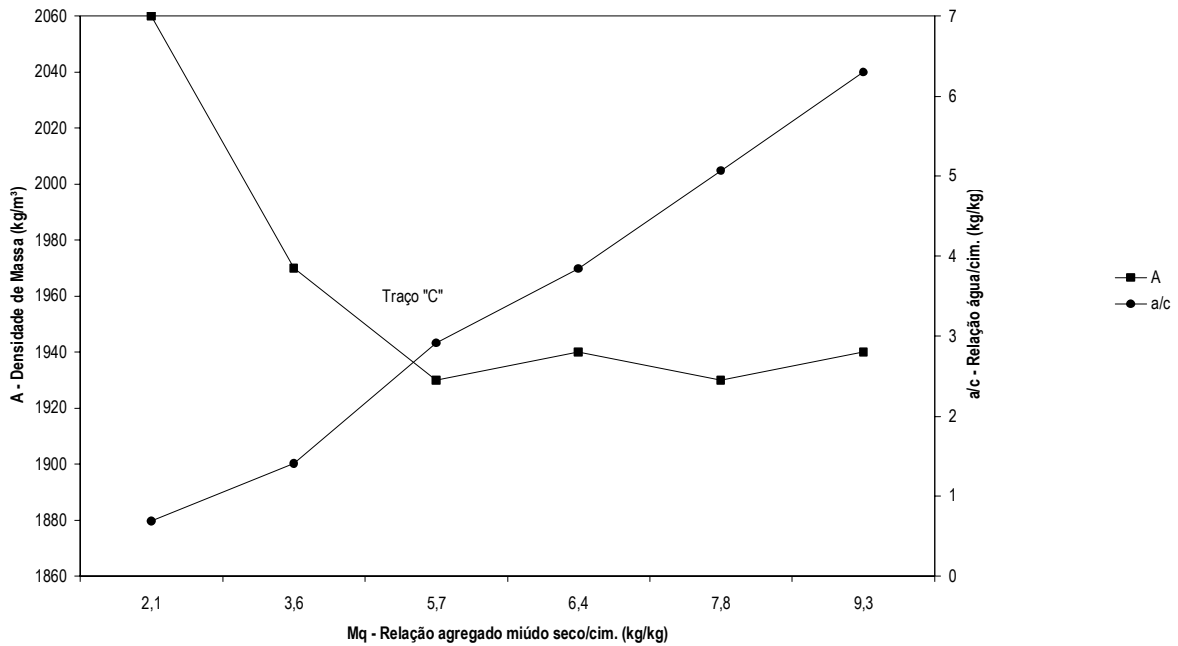


Figura 4.11 Variação da densidade de massa no estado fresco (A) das argamassas e aumento da relação “água/cimento” (a/c) em função da relação “agregado miúdo seco/cimento” (Mq), em massa.

#### 4.3.2.2 NO ESTADO ENDURECIDO

Como o único aglomerante presente foi o cimento, na análise da resistência à compressão axial das argamassas estudadas verificou-se o efeito da relação “água/cimento”, em massa, como fator preponderante sobre essa propriedade (Figura 4.12). Este fato pode ser observado pelo ajuste da Curva de Abrams com coeficiente de correlação ( $r^2$ ) próximo a 1. É importante observar ainda que para valores muito baixo de resistência, tem-se um consumo de cimento inferior a  $150 \text{ kg/m}^3$  com relações “água/cimento” superiores a 2.

O tipo de diagrama ilustrado na Figura 4.12 poderia ser usado para se definir o consumo de cimento e o desdobramento do traço, caso o critério de resistência à compressão fosse um requisito prioritário de desempenho. Este, aliás, é um dos critérios sempre adotados por normas de argamassa de revestimento e se fosse aqui aplicado reprovaria apenas a argamassa “F”, por normas como a DIN 18550 – Part 2 (1985). Vê-se, portanto, que não é uma propriedade que possa ser avaliada de forma isolada.

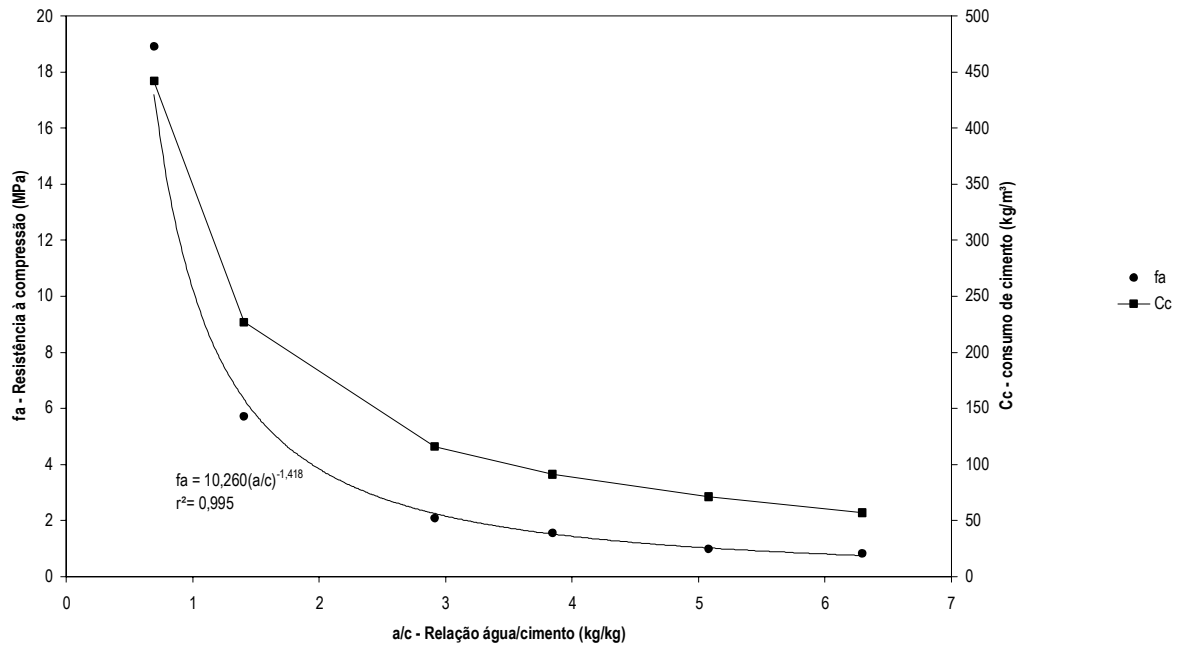


Figura 4.12 Variação da resistência média à compressão ( $f_a$ ) e do consumo de cimento ( $C_c$ ) em função da relação “água cimento” ( $a/c$ ), em massa.

Apesar de não ter sido avaliada por ensaios específicos, a análise dos corpos-de-prova de argamassas rompidos durante o ensaio de compressão axial revelou que a capacidade de deformação foi maior para as argamassas com menor consumo de cimento. Essa constatação foi baseada na forma com que se rompiam os corpos-de-prova, isto é, aqueles que apresentaram uma resistência maior se rompiam totalmente chegando até mesmo a quebrar, esse mesmo comportamento não foi verificado nos corpos-de-prova onde a resistência à compressão foi menor.

A porosidade aparente e a absorção de água dos corpos-de-prova de argamassa aumentaram com o valor da relação “água/cimento”, em massa.

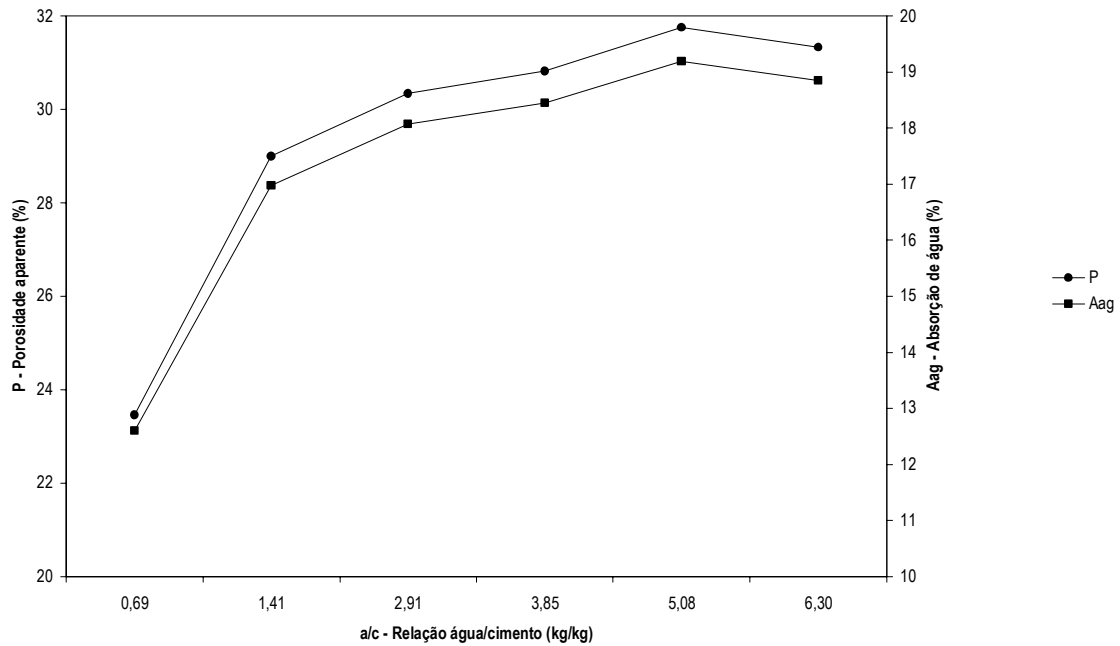


Figura 4.13 Variação da porosidade aparente (P) e absorção de água das argamassas (Aag) em função da relação “água/cimento” (a/c), em massa.

A redução da porosidade provocou em aumento na resistência à compressão dos corpos-de-prova de argamassa, conforme ilustra a Figura 4.14.

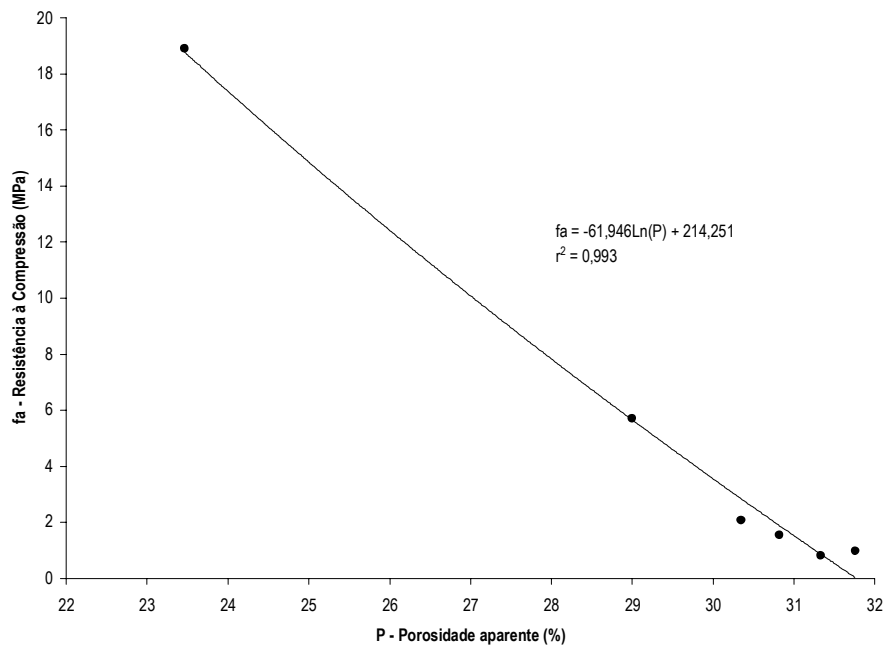


Figura 4.14 Variação da resistência à compressão axial ( $f_a$ ) em função da porosidade aparente (P) dos corpos-de-prova de argamassa



### 4.3.3 SOBRE OS REVESTIMENTOS

Pela avaliação da resistência média de aderência à tração dos corpos-de-prova de revestimento (Figura 4.15), em função da relação “água/cimento”, verifica-se que esta variável pode ser tomada como determinante desta propriedade, assim como é para a resistência à compressão dos corpos-de-prova cilíndricos. Mas, não se observou o mesmo incremento de resistência de aderência com a diminuição da relação “água/cimento”, como ocorreu com a resistência à compressão dos corpos-de-prova cilíndricos.

Durante a realização dos ensaios observou-se que a aderência dos corpos-de-prova de revestimento, e por consequência o revestimento, não apresentou um contato uniforme com a base de aplicação.

A maioria dos corpos-de-prova estava localizada em pontos sobre as juntas de assentamento dos componentes de alvenaria. Nesses pontos os resultados obtidos foram sempre inferiores àqueles em que o corpo-de-prova estava situado sobre o próprio componente. Associado a esse fato, verificou-se que a resistência à tração dos blocos não foi suficiente para resistir aos esforços de tração impostos durante o ensaio, o que gerou, em alguns casos, a ruptura do componente cerâmico. Como consequência obteve-se um alto coeficiente de variação entre os resultados obtidos nesse ensaio (ver Tabela 4.14).

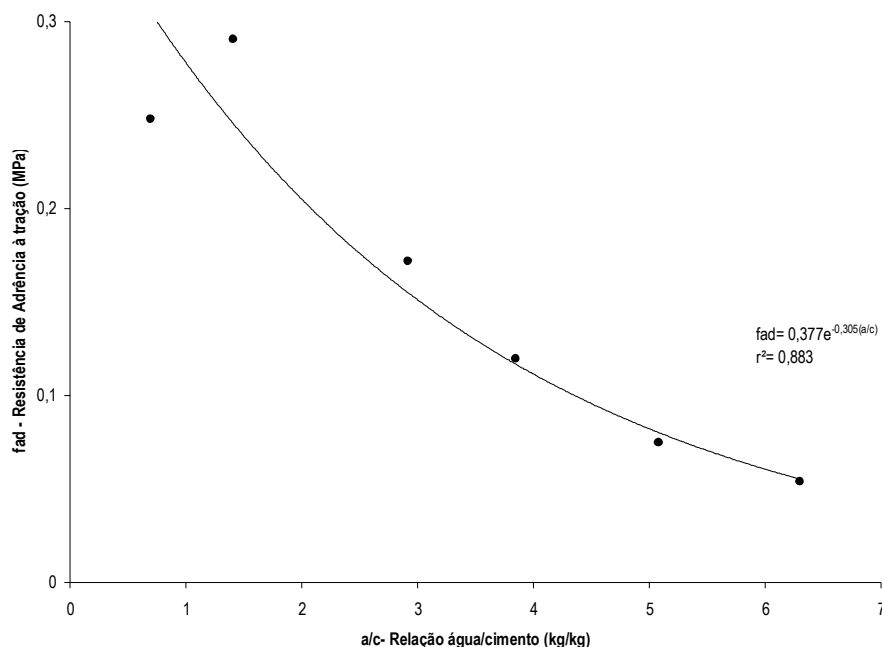


Figura 4.15 Variação da resistência média de aderência à tração (fad) dos corpos-de-prova de revestimento com a relação “água/cimento” (a/c), em massa.

A baixa resistência mecânica de alguns traços também foi determinante no resultados de alguns ensaios, principalmente nos traços “D”, “E” e “F”, onde a ruptura se deu na argamassa e não na interface revestimento/substrato, conforme consta na Tabela 4.14 e mais detalhado no Anexo B. Para esses casos, os resultados dos ensaios serviram apenas para se avaliar a resistência à tração das argamassas, e não a de aderência do revestimento ao substrato. Pela análise da Tabela 4.14, verifica-se que o coeficiente de variação dos ensaios para a ruptura dentro das argamassas foi menor do que em relação aos corpos-de-prova que romperam na interface ou na base, mas são todos valores bastante elevados. Também é importante acrescentar que devido à baixa resistência desses traços, o corte do revestimento para obtenção dos corpos-de-prova que foram ensaiados ficou bastante prejudicado, resultando na redução da seção transversal e, algumas vezes, na quebra do corpo-de-prova durante o corte.

Na análise da Figura 4.16 pode-se dizer que os revestimentos apresentaram diferença significativa de dureza superficial em função da relação “água/cimento”. Esse acréscimo de dureza pode ser atribuído a maior quantidade de cimento e um menor volume de vazios nas argamassas onde a relação “água/cimento” foi menor.

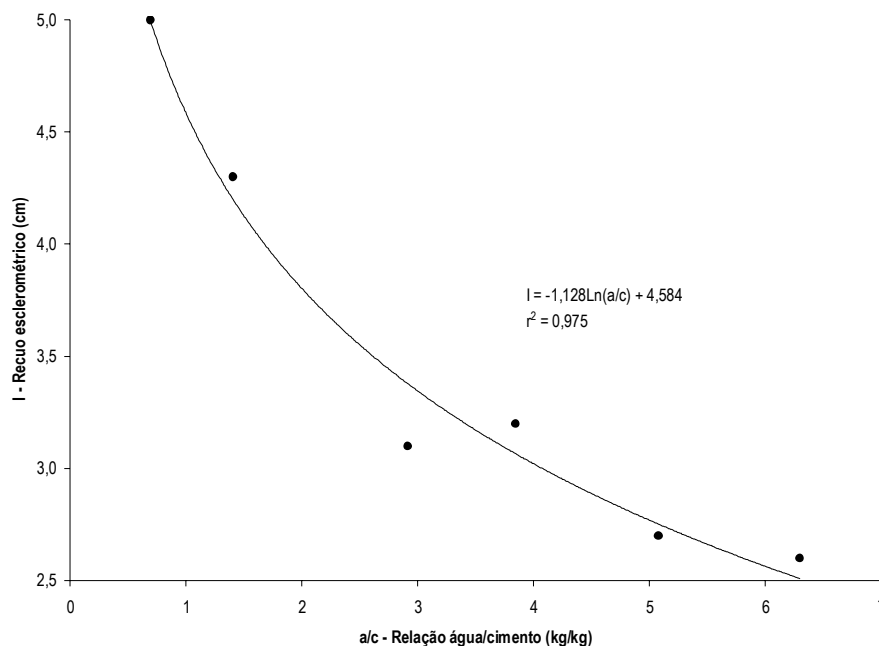


Figura 4.16 Variação da dureza superficial dos revestimentos, medida pelo recuo esclerométrico (I), em centímetros, em função da relação “água/cimento” (a/c), em massa.

Na observação feita nos painéis após a realização dos ensaios, notou-se que os revestimentos “E” e “F”, onde a dureza superficial foi menor, apresentavam as marcas dos impactos do martelo de esclerômetro em sua superfície. Nas demais argamassas a redução da porosidade resultou em uma argamassa mais compacta, mais resistente e menos deformável.

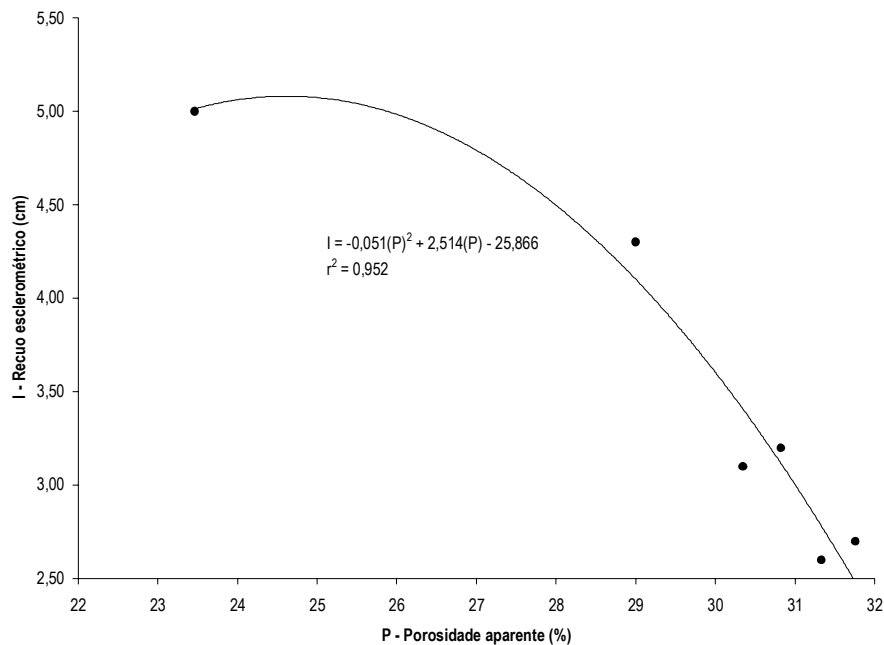


Figura 4.17 Variação da dureza superficial dos revestimentos, medida pelo recuo esclerométrico (I), em centímetros, em relação à porosidade aparente (P) dos corpos-de-prova de argamassa.

No gráfico da Figura 4.18 verifica-se a boa correlação apresentada entre a dureza superficial dos revestimentos e a resistência à compressão dos corpos-de-prova de argamassa, muito embora o esclerômetro utilizado no ensaio não fosse indicado para todo o intervalo de resistência à compressão apresentado pelas argamassas.

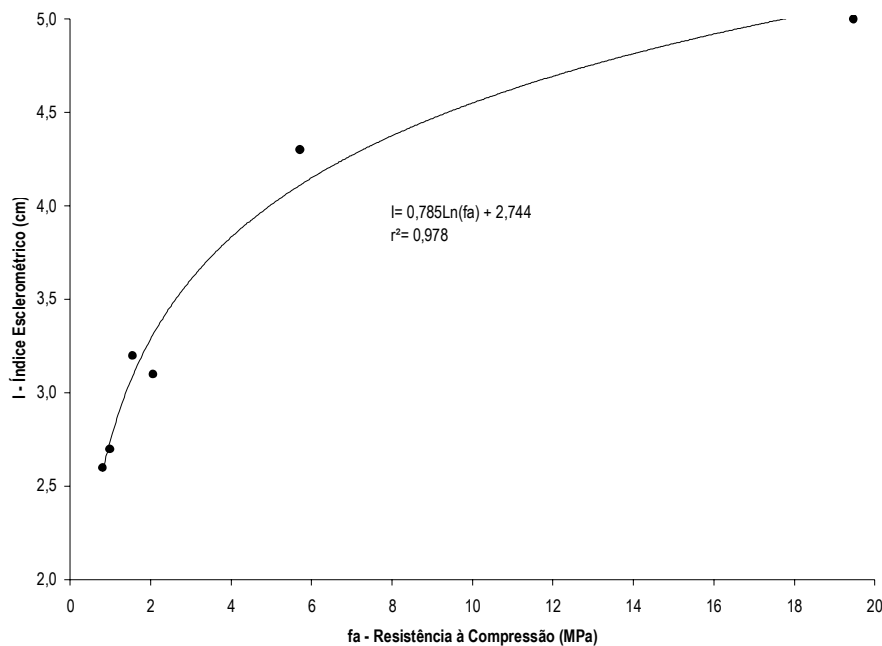


Figura 4.18 Variação da dureza superficial dos revestimentos, medida pelo recuo esclerométrico (I), em centímetros, em função do aumento da resistência à compressão (fa) dos corpos-de-prova de argamassa.

A figura 4.19 mostra o aspecto de fissuração dos painéis de revestimento testados, sendo que a maior parte das fissuras ocorreu nas primeiras 24 horas. De maneira geral, os traços com menor quantidade de aglomerante apresentaram mais fissuras do que os traços onde a quantidade de aglomerante presente foi maior. Isto é contraditório com o que foi visto no item 3.3.1 sobre deformação dos revestimentos, entretanto, no caso deste trabalho tiveram-se outros intervenientes e que não foram analisados como: tempo de desempenamento<sup>13</sup>, uso do saibro seco e sucção capilar da base. De qualquer forma, também a natureza e a quantidade de finos plastificantes presente nas argamassas podem ter contribuído para esse comportamento. Um outro motivo que pode ter levado ao aumento do número de fissuras seria o agregado miúdo muito fino. Os traços “D”, “E” e “F” apresentaram os piores desempenhos dentre os seis painéis, não só pelo número, mas também pelo maior comprimento e abertura das fissuras.

<sup>13</sup> Nos revestimento onde a relação “água/cimento” foi menor é possível que o tempo de desempenamento tenha sido determinante na quantidade de fissuras, já que um painel foi feito previamente com espessura de 20 mm e tempo de desempenamento na ordem de 2 horas ou mais e, praticamente, resultou isento de fissuras.

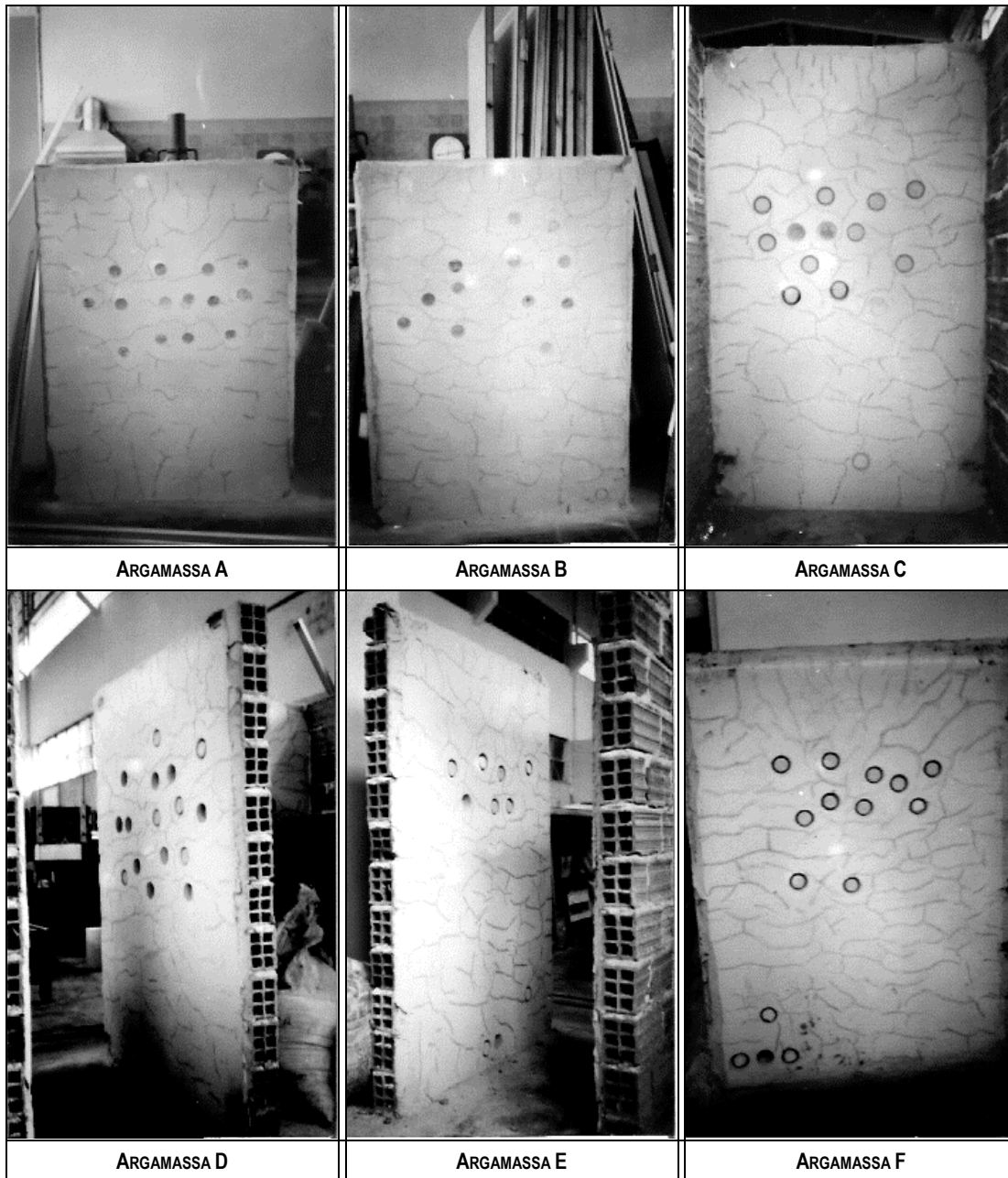


Figura 4.19 Aspecto de fissuração dos painéis de revestimento ensaiados.

#### 4.4 ANÁLISES FINAIS

O estudo de repetibilidade segundo a metodologia experimental utilizada mostrou-se muito eficiente para a definição da trabalhabilidade das argamassas plásticas, baseadas no teor de finos menor do que 0,075mm. Embora o pedreiro tenha feito a adição do saibro e da água por um critério visual de controle da

trabalhabilidade da argamassa, o coeficiente de variação obtido para as quatro dosagens foi relativamente baixo para este tipo de ensaio expedito.

Como consequência, as curvas de trabalhabilidade obtidas a partir da dosagem do saibro pelo pedreiro apresentaram coeficientes de correlação ( $r^2$ ) muito elevados, sendo que a curva tomada a partir das frações granulométricas de agregado total (Figura 4.7) apresentou melhor ajuste do que a curva feita a partir do consumo individual de cada agregado (figura 4.6). Para fins de controle da trabalhabilidade e de algumas propriedades das argamassas (por exemplo, retração por secagem) é melhor que se tenha um controle sobre a quantidade total de finos menores do que 0,075mm na argamassa, como a apresentada na Figura 4.7.

De maneira geral, todas as argamassas estudadas apresentaram-se trabalháveis. Foi confirmado que a adição de saibro aumenta a plasticidade e, conseqüentemente, melhora a trabalhabilidade das argamassas. Verificou-se, ainda, que enquanto a adição de saibro confere trabalhabilidade às argamassas pobres, com o tempo essa adição é responsável pelo enrijecimento prematuro das mesmas.

O ensaio de consistência pelo abatimento do tronco de cone realizado nesse estudo teve como objetivo determinar o intervalo de abatimento correspondente à consistência padrão pela mesa de consistência, com vistas a sua utilização em canteiros de obras. No entanto, o número de determinações não foi suficiente para que se pudesse estabelecer uma correlação segura.

Analisando os resultados obtidos nos ensaios com as argamassas frescas verificou-se que houve uma redução de quase todas as propriedades em função do aumento no consumo de agregado miúdo, exceção feita à retenção de água que se manteve praticamente constante. Essa diminuição foi causada, possivelmente, pela redução no consumo de cimento e conseqüente aumento no consumo do saibro e da água para manter a mesma trabalhabilidade, o que também provoca um aumento considerável na quantidade de finos presentes no traço das argamassas, e a redução do teor de ar incorporado e densidade de massa.

Quanto à resistência à compressão dos corpos-de-prova cilíndricos de argamassa, verificou-se que a relação “água/cimento” foi determinante nessa propriedade e por sua vez definida pela relação “agregado miúdo úmido/cimento” preestabelecida para a argamassa (Figura 4.8). A diminuição da densidade de massa e da resistência dos corpos-de-prova cilíndricos de argamassa foi provocada, principalmente, pelo aumento do consumo de água e que gerou um incremento na porosidade dessas argamassas e também na sua capacidade de absorção de água.

Os resultados da resistência de aderência à tração dos revestimentos foram bastante prejudicados em função da aderência descontínua onde estavam situados a grande parte dos corpos-de-prova. É importante colocar ainda que, para este tipo de ensaio, a metodologia empregada, de se analisar a resistência de aderência em painéis de alvenaria não mostrou muito eficiente, não só pelos pontos de má aderência, localizados nas juntas de assentamento da alvenaria, mas também porque a extensão de aderência entre a argamassa e a base

de aplicação fica bastante prejudicada em função do método de aplicação da argamassa, ainda que represente a condição real de execução de revestimentos.

Os baixos valores obtidos para a resistência de aderência à tração, associados aos elevados coeficientes de variação, pouco podem informar a respeito da influência do saibro nessa propriedade. Verificou-se apenas que existe uma correlação entre a resistência de aderência à tração e relação “água/cimento” e que, empregando-se um método de aplicação da argamassa mais eficiente, pode-se chegar a valores que expressem de maneira mais significativa a influência da relação “água/cimento” nessa propriedade.

Na análise da dureza superficial dos revestimentos, o aumento na porosidade e a redução no consumo de aglomerante foram determinantes na redução dessa propriedade. Verificou-se que o coeficiente de variação dos ensaios não apresentou valores muito elevados quando foram computados todos os valores para ponto ensaiado (Anexo B – Tabelas B.5 e B.6). Apesar da boa correlação entre a dureza superficial e a resistência à compressão dos corpos-de-prova de argamassa (Figura 4.17), não se pode tomar essa curva como representativa, uma vez que o equipamento utilizado, apesar de ser específico para revestimentos, não era indicado para todas as faixas de resistência à compressão que apresentaram os corpos-de-prova cilíndricos de argamassa.

Muito embora não se tenha feito um ensaio específico para determinação da retração por secagem das argamassas, a análise visual dos painéis de revestimento indica que o aumento na quantidade de fino, na quantidade de água e a redução no consumo de aglomerante no traço das argamassas, provocaram um incremento no número de fissuras nos revestimentos.

Cabe salientar que nos revestimentos em que o número de fissuras foi maior (“E” e “F”), o consumo de aglomerante representou menos de 5% da quantidade total de materiais secos nos traços dessas argamassas, ou seja, para esses traços a influência do aglomerante na retração das argamassas foi praticamente nenhuma, e os responsáveis, portanto, seriam o saibro e/ou o agregado miúdo. Mas como essa propriedade não foi avaliada através de ensaios específicos, qualquer inferência a respeito da influência dos materiais na retração das argamassas não passa de mera especulação.

A capacidade de absorção de água dos componentes de alvenaria, mesmo não tendo sido determinada, pode também ter influenciado na retração das argamassas, pois o ensaio de retenção de água pode não ter sido representativo da sua força na sucção capilar. Também outros aspectos muito importantes e influentes na fissuração de revestimentos, como o tempo de desempenamento e a espessura de aplicação da argamassa não foram objetos deste estudo, mas podem ter influenciado na fissuração.

Como esta propriedade é crítica para o desempenho de revestimentos, principalmente externos, e seu controle é fundamental, isto precisaria ser equacionado e resolvido pela troca de materiais (por exemplo, uso

de agregado miúdo mais grosso, de saibro mais plastificante) ou ainda pelo uso de redutores de água nas argamassas, mas isto já fugiria ao escopo principal deste trabalho e por essa razão não foi feito.

Assim pode-se concluir que em estudos de dosagem de argamassas com saibro, feito um estudo preliminar de trabalhabilidade de argamassas para definição dos teores mínimos de água e saibro a serem adicionados, em função da relação “agregado miúdo/cimento”, o próximo passo mais importante seria a aplicação dessas argamassas em painéis, tal como feito neste trabalho e sua inspeção visual. Em ocorrendo fissuras em todos os traços e descartados outros aspectos influentes como sucção elevada da base, espessura e tempo de desempenamento do revestimento, conclui-se que o agregado miúdo e o saibro ou a sua combinação, a priori, são impróprios para argamassas e as seguintes possibilidades restariam:

- a) Estudar o efeito de aditivo plastificante redutor de água nas argamassas;
- b) Estudar a produção de argamassas mais magras, com exigência de menor teor de saibro;
- c) Estudar a troca de um ou de ambos os agregados.

Uma vez resolvido o desempenho dos revestimentos quanto à fissuração, poder-se-ia prosseguir na sua qualificação quanto aos demais requisitos considerados prioritários para sua utilização.



## V. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O saibro há muito tempo é utilizado como adição plastificante em argamassas, tanto de assentamento quanto de revestimento. Essa adição do material nas argamassas, baseada quase que totalmente na experiência de pedreiros, carece ainda de critérios técnicos de dosagem para determinação de proporções mais adequadas da sua dosagem, sendo este o assunto tratado no escopo desse trabalho.

A metodologia de se empregar um profissional experiente para dosagem do saibro e da água em um estudo preliminar de trabalhabilidade das argamassas apresentou resultados bastante satisfatórios. Da dosagem resultaram argamassas bem trabalháveis e, praticamente, com o mesmo índice de plasticidade, de acordo com o critério proposto por VARGAS & COMBA (1984), muito embora as relações “agregado miúdo úmido/aglomerante” tenham sido preestabelecidas sem nenhum critério específico, por se tratar de um estudo genérico, sem visar a aplicação objetiva como revestimento interno ou externo.

Neste estudo, verificou-se que o teor de finos menor do que 0,075 mm influenciou de maneira significativa a trabalhabilidade das argamassas, principalmente no que se refere à plasticidade, e dessa forma, deve ser considerado como uma importante variável para a formulação de traços de argamassas simples de cimento e saibro.

Apesar de influenciar na trabalhabilidade, a quantidade de finos presentes nas argamassas deve ter sua dosagem controlada pelo efeito que pode causar em diversas propriedades das argamassas e revestimentos, principalmente no que se refere à retração das argamassas e fissuração dos revestimentos.

É importante observar, contudo, que a retração das argamassas não foi analisada neste estudo, por limitações do laboratório local, em Maceió/AL. Dessa forma, a recomendação feita visa, tão somente, que a adição de saibro não seja excessiva, na medida em que consome mais água de amassamento e diminui o consumo de cimento, causando aumento da relação “água/cimento” e da retração por secagem. No estudo de trabalhabilidade, uma forma de sempre minimizar a adição de saibro, é primeiro ajustar a água e depois o mínimo necessário dessa adição plastificante.

Também se faz necessário salientar que a aplicação da metodologia não pode prescindir da ponderação simultânea de outros aspectos importantes e muito influentes na fissuração inicial de revestimentos,

como é o caso do tempo de desempenamento e que não foi estudado neste trabalho, mas tiveram-se indícios evidentes de que a sua consideração seria importante, conforme item 4.3.3.

Por outro lado, o trabalho realizado mostrou que os estudos experimentais de dosagem, trabalhabilidade e avaliação das propriedades das argamassas simples de cimento e saibro para revestimento podem, em princípio, levar a traços de argamassas com uma maior racionalização do ponto de vista técnico, do que a usualmente adotada nos canteiros de obra. Além da racionalização do ponto de vista técnico, pode-se obter também uma maior economia de material, uma vez que as argamassas utilizadas em canteiro são dosadas sem nenhum critério e não se dispõe de traços empíricos consagrados para argamassas de cimento e saibro, em função das aplicações específicas. Isto é mesmo quase impossível de se estabelecer, dada a variabilidade regional de materiais e por isto mesmo se torna importante evoluir em métodos de dosagem.

Deve-se, dessa forma, considerar que a conveniência ou não de se fazer um estudo de dosagem de argamassas com base nos critérios adotados nesse trabalho depende das necessidades do construtor ou produtor, quanto aos seguintes aspectos:

- a) o volume de argamassa a produzir e,
- b) garantia de qualidade e durabilidade dos revestimentos, por controle simultâneo de aspectos de projeto e execução.

Com base nas análises realizadas ao longo do Capítulo IV pode-se indicar que a relação “água/cimento”, em massa, das argamassas frescas é uma variável também adequada para o controle de propriedades dos revestimentos de argamassas simples de cimento e saibro, tais como resistência de aderência à tração e dureza superficial, pela boa correlação que essas propriedades apresentaram com aquela variável.

Deve-se ressaltar que a relação “água/cimento” é decisiva inclusive para definir a retração por secagem de argamassas como ilustra os gráficos de SELMO & BUCHER (1990), discutidos no item 2.2.2 do Capítulo II.

Conclui-se, assim, que os parâmetros “fração fina/cimento” e “água/cimento”, em massa, ambos decorrentes da relação “agregado miúdo/cimento” são os mais adequados para os estudos de dosagem experimental, especificação e controle de produção de argamassas, com o objetivo de uma racionalização técnica ou economia de material. A relação “fração fina/cimento” deve se prestar mais para previsões de trabalhabilidade e de argamassas potencialmente fissuráveis conforme variem as partidas e a granulometria dos materiais em obra. A relação “água/cimento” é uma variável para estudos tecnológicos mais aprofundados ou para diferenciar o desempenho de diferentes materiais. Na prática e até que se evolua em critérios de desempenho, esta variável deve ser indiretamente controlada pela fixação de um valor ou intervalo adequado

para a relação “agregado miúdo/cimento”, em função da utilização da argamassa e conforme se deseja, apenas um traço empírico ou efetuar um estudo de dosagem.

Atualmente as normas existentes preferem especificar proporções empíricas de dosagem dos materiais a indicar uma metodologia racional para especificação de traços de argamassa, e essa recomendação tem sido seguida não só por projetistas, mas também pelos engenheiros de obra. No que se refere às argamassas com saibro verifica-se um agravante ainda maior que é a inexistência de traços empíricos tradicionais de dosagem, face à grande variação na composição granulométrica desse material nas diversas jazidas de onde é extraído.

O trabalho teve como objetivo contribuir para o desenvolvimento de metodologia de dosagem mais racional das argamassas de cimento e saibro, evidenciando que é possível equacionar gráficos de dosagem do saibro e de propriedades dos revestimentos, com vistas à racionalização do consumo dos materiais e até de previsão de aspectos relacionados à durabilidade, como por exemplo, aptidão à fissuração. Cabe ainda colocar a extensão que se pretende para este trabalho, com as seguintes considerações:

a) que a proposta feita e os resultados obtidos nos ensaios experimentais despertem o meio técnico sobre a possibilidade de se chegar a uma metodologia eficiente de dosagem com vistas a uma maior durabilidade e melhor desempenho dessas argamassas, uma vez que existe certa restrição em relação ao uso do saibro em argamassas, pois são comuns as patologias em revestimentos com essas argamassas;

b) espera-se ainda que o trabalho possa auxiliar na determinação de uma estratégia de pesquisa sobre o uso do saibro em argamassas, principalmente no que se refere à dosagem e à influência desse material nas propriedades das argamassas, além da investigação de patologias decorrentes da composição mineralógica desse material.

O trabalho não pretende esgotar o assunto sobre a dosagem e influência do saibro nas argamassas, muito pelo contrário, serve apenas como um início de investigação, devendo-se indicar a pesquisa de outros aspectos como:

a) estabelecer testes de repetibilidade de dosagem para agregados miúdos e saibros procedentes de outras jazidas da região, uma vez que nesse trabalho foi empregado apenas um tipo de saibro e agregado. As curvas de trabalhabilidade obtidas a partir da dosagem dos traços realizadas pelo pedreiro deverão apresentar uma inclinação diferente devido à variação na composição granulométrica de amostra dos materiais, conforme já avaliado pela EPUSP (1989) restando verificar se as curvas serão significativamente diferentes;

b) estabelecer testes de reprodutividade entre pedreiros para saibros de mesma jazida, já que o trabalho se ateve apenas ao teste de repetibilidade de dosagem. É possível que nesses testes se chegue a curvas de trabalhabilidade paralelas, uma vez que cada pedreiro fará a adição de saibro de acordo com o seu

juízo de trabalhabilidade e não haverá variação na composição granulométrica do saibro utilizado, podendo-se obter retas extremas de limitação do intervalo de trabalhabilidade e sempre optar pelo limite inferior de consumo de saibro e de água;

c) verificar a influência da relação “fração fina/cimento” e relação “água/cimento” na retração de secagem e na absorção de água das argamassas, associadas a bases com diferentes capacidades de absorção de água capilar, no sentido de definir qual é a mais importante;

d) limites para desconsideração do resíduo do agregado miúdo na peneira ABNT 0,075 mm na relação “fração fina/cimento”;

e) pesquisas sobre a influência do tempo de desempenamento na fissuração inicial de revestimentos;

f) desenvolvimento de critérios de desempenho de fato representativos para as diversas condições de exposição dos revestimentos.

A partir da investigação desses fatores pode-se chegar a uma metodologia racional de dosagem do saibro em argamassas baseada em critérios como as relações “fração fina/cimento” e “água/cimento”. Essas relações são necessárias para a determinação das curvas de trabalhabilidade das argamassas que permitem não só o ajuste de traços, mas também uma dosagem mais racional do saibro em uma argamassa, partindo-se apenas de relações preestabelecidas entre cimento e agregado miúdo, que sejam as mais utilizadas em canteiros de obra por construtoras experientes e conceituadas no mercado, enquanto não se dispôr de critérios de desempenho representativos.

É importante colocar que toda metodologia é ineficiente se não houver critérios de desempenho nos quais o projetista possa se basear para determinar qual traço de dosagem de argamassa é o mais adequado para determinada finalidade ou aplicação, como ocorre na tecnologia de dosagem de concretos onde, para cada condição de exposição ou aplicação corresponde um determinado intervalo de resistência à compressão, que irá garantir um bom desempenho do material.

Enquanto não houver uma evolução expressiva dos mesmos, o controle visual de fissuração é um recurso indispensável em estudos de dosagem de revestimentos.

Assim a escolha de uma argamassa, para uma dada aplicação, ficaria condicionada à fixação de um intervalo da relação “agregado miúdo/cimento” na curva de trabalhabilidade em que as argamassas e revestimentos correspondentes possam apresentar as características necessárias para o fim a que se destinam. A partir então da determinação do intervalo na curva de trabalhabilidade, poderia ser feito apenas um ajuste em determinado traço já existente, como também a determinação de um novo traço.

Entretanto, existe ainda uma grande lacuna entre os estudos desenvolvidos e a possibilidade de se avaliar corretamente as argamassas com saibro. A verificação da adequabilidade das argamassas com saibro necessita ainda de muitos estudos, principalmente no que se refere à durabilidade. A continuidade desse trabalho poderá diminuir as incertezas decorrentes da falta de conhecimentos sobre a utilização e influência do saibro em argamassas.

Por fim, cabe aqui colocar a consideração feita por SABBATINI (1985): “A tecnologia de uso das argamassas em geral ressentem-se, no Brasil, da inexistência de pesquisas tecnológicas consistentes, abrangentes e profundas. Carece ainda de normalização adequada e de controle de qualidade”.

Neste sentido, considera-se que o trabalho realizado foi uma efetiva contribuição.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADDLESON, L. **Fallos en los edificios**. Madrid, Hermann Blume, 1986. (Série Manuales AJ, dir. Luiz Fernandez Galliano)
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM C 926-86 – Specification for application of portland cement-based plaster. In: **Annual book of ASTM Standards**. Easton, ASTM, v.04.01, p.567-77, 1987.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT – COMITÊ BRASILEIRO DE CONSTRUÇÃO CIVIL — CB-02. **PN 02:102.17-00 – Revestimentos de paredes e tetos de argamassas inorgânicas — Determinação da resistência de aderência à tração**. Rio de Janeiro, ABNT, 1994.
- . **PN 02:102.17-04 – Revestimentos de paredes e tetos de argamassas inorgânicas — Terminologia**. Rio de Janeiro, ABNT, 1994.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 5732 – Cimento portland comum – Especificação**. Rio de Janeiro, ABNT, 1982.
- . **NBR 6474 – Cimento portland e outros materiais em pó – Determinação da massa específica**. Rio de Janeiro, ABNT, 1984.
- . **NBR 6467 – Agregados – Determinação do inchamento de agregado miúdo**. Rio de Janeiro, ABNT, 1987.
- . **NBR 6508 - Grãos de solo que passam na peneira de 4,8 mm - Determinação da massa específica**. Rio de Janeiro, ABNT, 1984.
- . **NBR 7181 – Análise granulométrica de solos**. Rio de Janeiro, ABNT, 1984.
- . **NBR 7200 – Revestimentos de paredes e tetos com argamassas – Materiais – Preparo, aplicação e manutenção**. Rio de Janeiro, ABNT, 1979.
- . **NBR 7215 – Ensaio de cimento portland – Método de ensaio**. Rio de Janeiro, ABNT, 1982.
- . **NBR 7217 – Agregado – Determinação da composição granulométrica dos agregados – Método de ensaio**. Rio de Janeiro, ABNT, 1987.

- **NBR 7218 – Agregado – Determinação do teor de argila em torrões e materiais friáveis.** Rio de Janeiro, ABNT, 1987.
- **NBR 7219 – Agregados – Determinação do teor de materiais pulverulentos.** Rio de Janeiro, ABNT, 1982.
- **NBR 7223 – Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone.** Rio de Janeiro, ABNT, 1992.
- **NBR 7223 – Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone.** Rio de Janeiro, ABNT, 1992.
- **NBR 7224 – Cimento portland e outros materiais em pó – Determinação da área específica.** Rio de Janeiro, ABNT, 1984.
- **NBR 7251 – Agregado no estado solto – Determinação da massa unitária – Método de ensaio.** Rio de Janeiro, ABNT, 1982.
- **NBR 7584 – Concreto endurecido – Avaliação da dureza superficial pelo esclerômetro de reflexão.** Rio de Janeiro, ABNT, 1982.
- **NBR 9202 – Cimento portland e outros materiais em pó – Determinação da finura por meio da peneira 0,044 mm (Número 325).** Rio de Janeiro, ABNT, 1985.
- **NBR 9778 – Argamassas e concretos endurecidos – Determinação da absorção de água por imersão – Índice de vazios e massa específica.** Rio de Janeiro, ABNT, 1986.
- **NBR 9833 – Concreto fresco – Determinação da massa específica e do teor de ar pelo método gravimétrico.** Rio de Janeiro, ABNT, 1987.
- **NBR 11579 – Cimento portland – Determinação da finura por meio da peneira número 200.** Rio de Janeiro, ABNT, 1991.
- **NBR 13276 – Argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos – Determinação do teor de água para obtenção do índice de consistência-padrão para ensaios – Método de Ensaio.** Rio de Janeiro, ABNT, 1995.
- **NBR 13277 – Argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos – Determinação da retenção de água – Método de Ensaio.** Rio de Janeiro, ABNT, 1995.
- **NBR 13278 – Argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos – Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado – Método de Ensaio.** Rio de Janeiro, ABNT, 1995.

- **NBR 13279 – Argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos – Determinação da resistência à compressão – Método de Ensaio.** Rio de Janeiro, ABNT, 1995.
- **NBR 13280 – Argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos – Determinação da densidade aparente no estado endurecido – Método de Ensaio.** Rio de Janeiro, ABNT, 1995.
- BOYTON, R. S. & GUTSCHIK, K. A. **Aderência de argamassa a elementos de alvenaria – fatores que influenciam a resistência, extensão e durabilidade da aderência.** Tradução IPT-ABPC. São Paulo, 1964.
- BRITISH STANDARDS INSTITUTION. **BS 4721 – Specification for ready-mixed building mortars.** London, BSI, 1981.
- **BS 4551 – Methods of testing mortars, screeds and plasters.** London, BSI, 31p., 1980.
- **BS 5262 External rendered finishes.** London, BSI, 21p., 1976. (Code of practice 221).
- CARASEK, H.; DJANIKIAN, J. G. Avaliação da trabalhabilidade para argamassas de assentamento e revestimento. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIMENTO, 3., São Paulo, 1993. **Anais.** São Paulo, ABCP, 1993. v.2, p.407–26.
- CARASEK, H. Ensaio de aderência para revestimentos de argamassa. In: JORNADAS SUL-AMERICANAS DE ENGENHARIA ESTRUTURAL, 25., Porto Alegre. **Anais.** Porto Alegre, CPGEC/UFRGS, 1991. v.4, p.265–274.
- CARASEK, H.; CASCUDO, O.; SANTOS, P. F. Avaliação de revestimentos em argamassas contendo saibros. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 1., Goiânia, 1995. **Anais.** Goiânia, ANTAC, 1995. v.1, p.247–60.
- CARASEK, H.; CASCUDO, O. O saibro nas argamassas de assentamento – Estudo de trabalhabilidade e comportamento no estado endurecido – Parte 1. In: INTERNATIONAL SEMINAR ON STRUCTURAL MASONRY FOR DEVELOPING COUNTRIES, Florianópolis, 1994. **Proceedings.** Florianópolis, ANTAC, 1994. 1v., p.84–93.
- CARNEIRO, A. **Revestimento externo em argamassa de cimento, cal e areia – Sistemática das empresas de construção civil de Porto Alegre.** Porto Alegre, 1993. Dissertação de Mestrado
- CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DU BATIMENT. Classification des caractéristiques des enduits d'imperméabilisation de façade. **Cahiers du CSTB.** Paris, n° 307, cahier 2401, 4p. mars 1990.
- Conditions générales d'emploi et de mise en oeuvre des enduits d'imperméabilisation de murá base de liants hydrauliques faisant l'objet d'un avis technique. **Cahiers du CSTB,** Paris, n° 230, cahier 1777, 7p. juin 1982.



- . Définition et classification des ouvrages de revêtement extérieur de façades en maçonnerie ou en béton. **Cahiers du CSTB**, Paris, n° 206, cahier 1633, 5p. jan./fev. 1980.
- . **D.T.U. 26.1 – Travaux d'enduits aux mortiers de liant hydrauliques – cahiers des charges**. Paris, CSTB, sept., 28p., 1978.
- CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DE LA CONSTRUCTION. Transport de l'humidité dans les matériaux poreux-bases théoriques. **CSTC Revue**. Bruxelles, A. Legros, v.1., p.7–12, mars 1982 a.
- CINCOTTO, M. A. **Patologia das argamassas de revestimento – análise e recomendações**. São Paulo: IPT, 1983. (Monografias, 8 – Publicação n. 1252).
- COWPER, A. D. **Sands for plasters, mortars and external renderings**. London, BRS, 1950. 19p. (National Building Studies – Bulletin 7)
- DAVISON, J. I. **Masonry Mortar**. Ottawa, National research Council of Canada, 1974.
- . **Rain penetration and masonry wall systems**. Ottawa, National Research Council of Canada, 1979. (Building Practice Note, 12)
- D'HAVÉ, R. Session 2. Factors affecting external vertical surfaces. General Report. In: RILEM/ASTM/CIB **Symposium on Evolution of the Performance of External Vertical Surfaces of Buildings**. Helsinki, RILEM/ASTM/CIB, 1977.
- DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG. **DIN 18550 – Part 1 – Plasters: Terminology and requirements**. Berlin, DIN, Jan. 1985.
- . **DIN 18550 – Part 2 – Plaster, Plasters made of mortars containing mineral binders application**. Berlin, DIN, Jan. 1985.
- ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO – EPUSP. **Diretrizes para a produção e controle de dosagem das argamassas de assentamento e revestimento**. São Paulo, EPUSP/PCC, 1989. Doc. 1CeE do Projeto EP/EN-1.
- . **Argamassas de assentamento e revestimento**. São Paulo, EPUSP/PCC, 1987. Relatório final do Projeto BNH/CEF.
- FILOMENO, O. L. Estudo comparativo entre argamassas de assentamento de cimento-cal e cimento-saibro. In: **AVANÇOS EM TECNOLOGIA E GESTÃO DA PRODUÇÃO DE EDIFICAÇÕES**, São Paulo, 1993. **Anais**. São Paulo, ANTAC, 1993. v1., p.297-306.

- FIORITO, A. J. S. I. Retração das argamassas. **A Construção**, São Paulo, nº 1929, p.21–2, jan. 1985.
- FONSECA, A. C. Argamassas de cimento. **Revista Municipal de Engenharia**, Rio de Janeiro, jul. 1938. p.447–57.
- GARDEN, G. K. **Rain penetration and its control**. Ottawa, National Research Council of Canada, 1963. (Canadian Digest, 40)
- GEYER, R. M. T. **Influência do choque térmico na aderência de azulejos ao substrato**. Porto Alegre, CPGEC/UFRGS, 1994.
- GOMES, A. M.; NERO, J. M. G.; APPLETON, J. A. S. Novo método para avaliação da trabalhabilidade e consistência das argamassas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 1., Goiânia, 1995. **Anais**. Goiânia, ANTAC, 1995. 1v., p.83–91.
- GUERRA, A. T. **Dicionário geológico–geomorfológico**. 6.ed. Rio de Janeiro, IBGE, 1980.
- HELENE, P. R. L.; TERZIAN, P. **Manual de dosagem e controle de concreto**. Brasília, Pini, 1992.
- IBANEZ, S. R. La trabajabilidad de morteros. Universidad de Valparaiso – Centro Tecnológico del Hormigon. **IV Jornadas Chilenas del Hormigon**. Valparaiso, Universidad del Valparaiso, oct., 1986.
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO – IPT. **Características tecnológicas das areias do Estado de São Paulo – Regiões Administrativas 1 e 3**. São Paulo, 1982. Relatório nº 17736 para SICCT – Programa de desenvolvimento de recursos minerais.
- . **Estanqueidade**. São Paulo, IPT, 1981 b. (Série Avaliação de Desempenho de Habitações Térreas Unifamiliares, v.3, p.23–5)
- . **ME–15 – Determinação da estanqueidade à água de paredes externas – Método de ensaio**. São Paulo, IPT, 1981.
- . Divisórias internas de edificações: terminologia. In: **Normalização de interesse da construção de habitações**. São Paulo, IPT, 1981 a, v.2.
- . **Estanqueidade**. São Paulo, IPT, 1981 b. Série de avaliação de desempenho de habitações térreas unifamiliares, 8v., v.3, p.23-5.
- INTERNATIONAL UNION OF TESTING AND RESEARCH LABORATORIES FOR MATERIALS AND STRUCTURE — RILEM. **Rilem recommendations MR1–21 — Testing methods of mortars and renderings**. France, RILEM, 1982.
- JOISEL, A. **Fissuras y grietas en morteros y hormigones: sus causas y remedios**. 5ª ed. Barcelona, Editores Técnicos Asociados, 1981. p. 15–65, p.92–4, p. 145–55.

- KAMPF, L. Workability of masonry mortars. **Materials Research & Standards**, Easton, n.1, v.1, p.7–8, jan. 1961.
- KAZMIERCKZAK, C. S. **Desempenho de alvenarias de materiais cerâmicos à penetração de água da chuva – Uma análise de fatores condicionantes**. Porto Alegre, UFRGS/CPCEG, 1989.
- LEJEUNE, C. Les enduits D'imperméabilisation a base de liants hydrauliques. **CSTB – Magazine**, nº 8, p.2-14, Juil - Août 1982.
- LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL – LNEC – Departamento de Edifícios – Núcleo de Comportamento das Construções. **Pa 26 – Revestimentos de paredes: Ensaio de quadriculagem**. Lisboa, LNEC, nov., 1980.
- . **Pa 27 – Revestimentos de paredes: Ensaio de riscagem**. Lisboa, LNEC, nov., 1980.
- . **Pa 28 – Revestimentos de paredes: Ensaio de abrasão**. Lisboa, LNEC, nov., 1980.
- MEDEIROS, J. S.; SABBATINI, F. H.. Estudos sobre a técnica executiva de revestimentos de argamassa sobre paredes de alvenaria. In: INTERNATIONAL SEMINAR ON STRUCTURAL MASONRY FOR DEVELOPING COUNTRIES, Florianópolis, 1994. **Proceedings**. Florianópolis, ANTAC, 1994. 1v., p.594–607.
- MURRAY, I. H. **The adhesion of cementitious render to a brick bakground**. Garston, Building Research Establishment, aug. 1983.
- OLIVEIRA, M. B. **Verificação de algumas propriedades de argamassas com saibro da região de uberlândia para assentamento de tijolos cerâmicos**. São Paulo, EPUSP, 1989. Dissertação de mestrado.
- OLIVEIRA, H. P. **Uma introdução para o emprego racional das argamassas nos edifícios**. Salvador, Universidade da Bahia, 1959.
- PIANCA, J. B. **Manual do construtor**. Porto Alegre: Globo, 1967, v.1 p.43, p.198, p.214, p.635.
- PETRUCCI, E. G. R. **Concreto de cimento portland**. 9.ed. Porto Alegre, Globo, 1982.
- RAABE, A. L., PETRUCCI, J. L. F. **Mecanismo de aderência e tipos de adesivos**. Porto Alegre, CPGEC/UFRGS, 1989. 77p.
- RAES, A. C. **Acustica arquitectonica**. Buenos Aires, Víctor Leru, 1953. 217p.
- RIVERO, R. **Arquitetura e clima, acondicionamento térmico natural**. Porto Alegre: D. C. Luzzatto, 1986 p. 33-50, p. 207-8.
- ROSELLO, M. T. V. **Morteros de cemento para albanileria**. Madrid, Instituto Eduardo Torroja, 1976.

- SABBATINI, F. H. Patologia das argamassas – aspectos físicos. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE TECNOLOGIA DA CONSTRUÇÃO, São Paulo, 1986. **Anais**. São Paulo, 1986. p.69–76.
- . O uso da cal em argamassas de assentamento. In: REUNIÃO ABERTA DA INDÚSTRIA DA CAL – O USO DA CAL NA ENGENHARIA CIVIL, 5., São Paulo 1985. **Anais**. São Paulo, EPUSP, 1985.
- SANDIN, K.. The influence of renderings and surface coatings on moisture in the underlayer during onslaught of driving rain. In: SYMPOSIUM ON EVALUATION OF THE PERFORMANCE OF EXTERNAL VERTICAL SURFACES OF BUILDINGS, Helsinki, 1977. **Anais**. Helsinki, RILEM/ASTM/CIB, 1977. v.2, p. 261–67.
- SARETOK, V. Testing methods concerning rendered external surface (From RILEM Committee 13–MR "Performance of mortars and renderings"). In: **Symposium on evaluation of the performance of external vertical surfaces of buildings**. Helsinki, RILEM/ASTM/CIB. 1977. 3v., v.2., p.272-83.
- SELMO, S. M. S. **Dosagem de argamassas de cimento portland e cal para revestimento externo de fachada de edifícios**. São Paulo, EPUSP, 1989. Dissertação de Mestrado.
- . Agregados miúdos para argamassas de revestimento. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE AGREGADOS, 1., São Paulo, 1986. **Anais**. São Paulo, EPUSP, 1986. p. 27-43.
- SELMO, S. M. S.; BUCHER, H. R. E. O saibro na formulação de argamassas de assentamento e revestimento – Contribuição ao estabelecimento de critérios para dosagem. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIMENTO, 2., 1990, São Paulo. **Anais**. São Paulo, ABCP, 1990. v.2, p.477-96.
- SELMO, S. M. S.; LICHTENSTEIN, N. B. **Aderência no assentamento de azulejos: princípios teóricos e verificação experimental**. São Paulo, EPUSP, 1986. 75p.
- SIQUEIRA, N.; SELMO, S. M. S. Estudo de caso de revestimentos externos de argamassas mistas e de cimento com solo fino beneficiado. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 1., Goiânia, 1995. **Anais**. Goiânia, ANTAC, 1995. 1v., p.83–91.
- SHALON, R. and SOROKA, I. Consistency of cement–lime mortars. **Materials Research Standards**, Easton, v.4, nº 9, p. 465–71, sept. 1964.
- SLATER, A. C. **Geologia para engenheiros**. São Paulo, Manuais Técnicos LEP, 1v., 282p., 1961.
- . **Geologia para engenheiros**. São Paulo, Manuais Técnicos LEP, 2v., 160p., 1963.
- SZILAG'YI, I. Les effects de la composition et de la mise em oeuvre du mortier sur la durabiliti des enduits. **Symposium on Evaluation of the Performance of External Vertical Surfaces of Buildings**. Helsinki, RILEM/ASTM/CIB, 1977. v.3, p.358–65.

UNIKOWSKI, Z. R. **Influence des argiles sur les propriétés des mortiers de ciment**. Paris, LCPC, 1982.

VARGAS, J. L.; COMBA, G. J. M. Estudio teórico y experimental sobre los morteros para muros resistentes de fábrica de ladrillo para la actualización de la Norma Básica MV201-1972 – 1ª Parte: Memoria del estudio.

**Materiales de Construcción**, Madrid, v.34, nº 196, p.3-41, 1984.

## **ANEXOS**

# ANEXO A

## RESULTADOS DOS ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS EMPREGADOS NO ESTUDO EXPERIMENTAL

### A.1. ENSAIO DE CARACTERIZAÇÃO DO AGREGADO MIÚDO

Tabela A1 Análise Granulométrica do agregado miúdo por peneiramento — NBR 7217.

PENEIRA ABERTURA (mm)	MASSA (g)	PERCENTAGEM RETIDA	PERCENTAGEM RETIDA ACUMULADA
9,5	–	–	–
4,8	5,7	0,57	0,57
2,4	17,6	1,76	2,33
1,2	43,1	4,31	6,64
0,6	147,9	14,79	21,43
0,3	609,4	60,94	82,37
0,15	153,8	15,38	97,75
0,075	20,2	2,02	–
Resíduo	2,3	0,23	–
Soma	1000	100	211,09

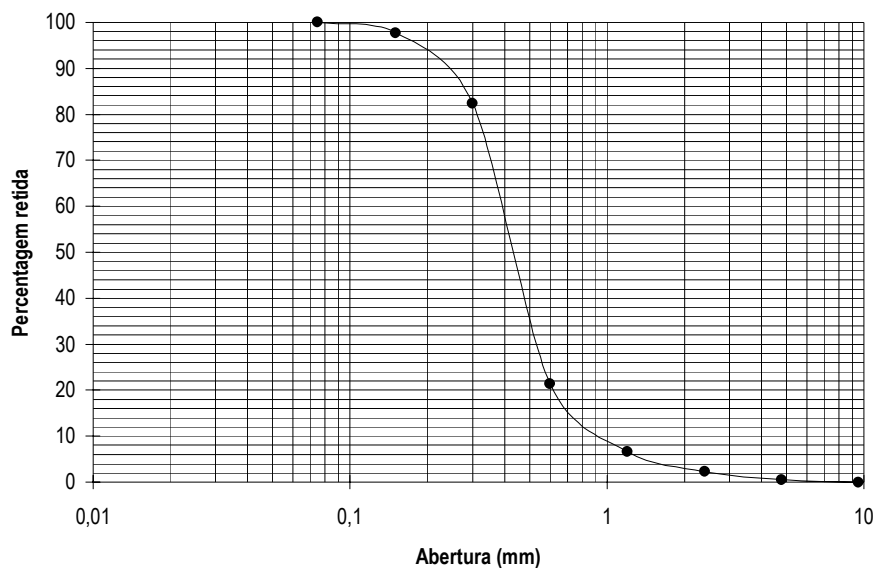


Figura A.1 Curva granulométrica do agregado miúdo.

Tabela A.2 Ensaio do Inchamento do agregado miúdo.

Método de Ensaio: NBR 6467					$\frac{Vh}{Vo} = \frac{\gamma_o}{\gamma_h} * \frac{(100 + h)}{100}$	
Tara: 397,5g						
Umidade (%)	Água (ml)	Peso + Tara (kg)	Peso líquido (kg)	Massa Unitária (kg/m³)	$\gamma_o/\gamma_h$	Vh/Vo
0,0	0	1.813,0	1.415,5	1.415,0	1,000	1,000
0,5	15,0	1.797,0	1.399,5	1.399,0	1,011	1,016
1,0	15,0	1.666,0	1.268,5	1.268,0	1,116	1,127
2,0	30,0	1.529,0	1.131,5	1.131,0	1,251	1,276
3,0	30,0	1.481,0	1.083,5	1.083,0	1,306	1,345
4,0	30,0	1.461,0	1.063,5	1.063,0	1,331	1,384
5,0	30,0	1.512,0	1.114,5	1.114,0	1,270	1,333
7,0	60,0	1.504,0	1.106,5	1.106,0	1,279	1,368
9,0	60,0	1.530,0	1.132,5	1.132,0	1,250	1,362
12,0	90,0	1.545,0	1.147,5	1.147,0	1,233	1,308

Tabela A.3 Valores médios obtidos nos ensaios de caracterização do agregado miúdo.

PROPRIEDADES	MÉTODO DE ENSAIO	VALORES MÉDIOS OBTIDOS
Massa específica (kg/m³)	NBR 9776	2590
Massa unitária (kg/m³)	NBR 7251	1380
Torrões de argila (%)	NBR 7218	1,48
Materiais pulverulentos (%)	NBR 7219	0,60
Módulo de finura	NBR 7217	2,11
Umidade crítica (%)	NBR 6467	3,10
Coefficiente médio de inchamento	NBR 6467	1,36



## A.2. ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO DAS AMOSTRAS DE SAIBRO POR GRANULOMETRIA

Tabela A.4 Análise Granulométrica da amostra de saibro nº. 1.

Método de Ensaio: NBR 7181		Mt: 1500g	
Umidade			
h <sub>1</sub> : 0,8%	h <sub>2</sub> : 0,8%	h <sub>3</sub> : 0,8%	Umidade média: 0,8%
Peneiramento			
Peneiramento Grosso			
Mg: 16,04g	Ms: 1.499,88g		
Abertura (mm)	Peso retido (g)	Mi (g)	Qg (%)
50	–	–	–
38	–	–	–
25	–	–	–
19	–	–	–
9,5	–	–	–
4,8	5,45	5,45	99,64
2	10,59	16,04	98,93
Peneiramento fino			
Mh: 120g	N: 98,93%		
Abertura (mm)	Peso Retido (g)	Mi (g)	Qf (%)
1,2	2,71	2,71	96,70
0,6	17,86	20,57	81,97
0,42	10,29	30,86	73,49
0,25	15,90	46,76	60,38
0,15	16,38	63,14	46,87
0,075	20,20	83,34	30,22

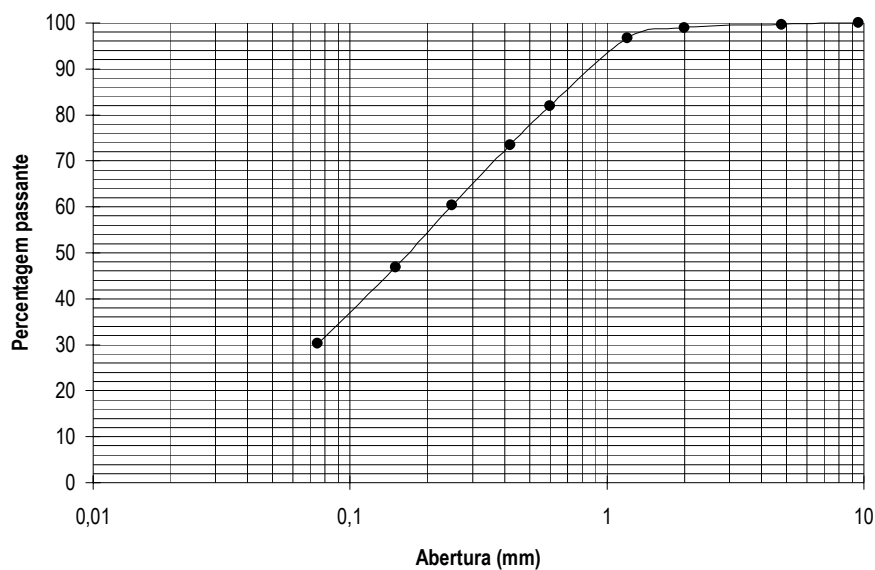


Figura A.2 Curva granulométrica da amostra de saibro nº. 1.

Tabela A.5 Análise Granulométrica da amostra de saibro nº. 2.

Método de Ensaio: NBR 7181		Mt: 1500g	
Umidade			
h <sub>1</sub> : 0,4%	h <sub>2</sub> : 0,4%	h <sub>3</sub> : 0,4%	Umidade média: 0,4%
Peneiramento			
Peneiramento Grosso			
Mg: 10,14g	Ms: 1.499,94g		
Abertura (mm)	Peso retido (g)	Mi (g)	Qg (%)
50	-	-	-
38	-	-	-
25	-	-	-
19	-	-	-
9,5	-	-	-
4,8	-	-	-
2	10,14	10,14	99,32
Peneiramento fino			
Mh: 120g	N: 99,32%		
Abertura (mm)	Peso Retido (g)	Mi (g)	Qf (%)
1,2	2,22	2,22	97,48
0,6	13,45	15,67	86,35
0,42	13,43	29,10	75,23
0,25	16,09	45,19	61,29
0,15	18,24	63,43	46,82
0,075	20,04	83,47	30,23

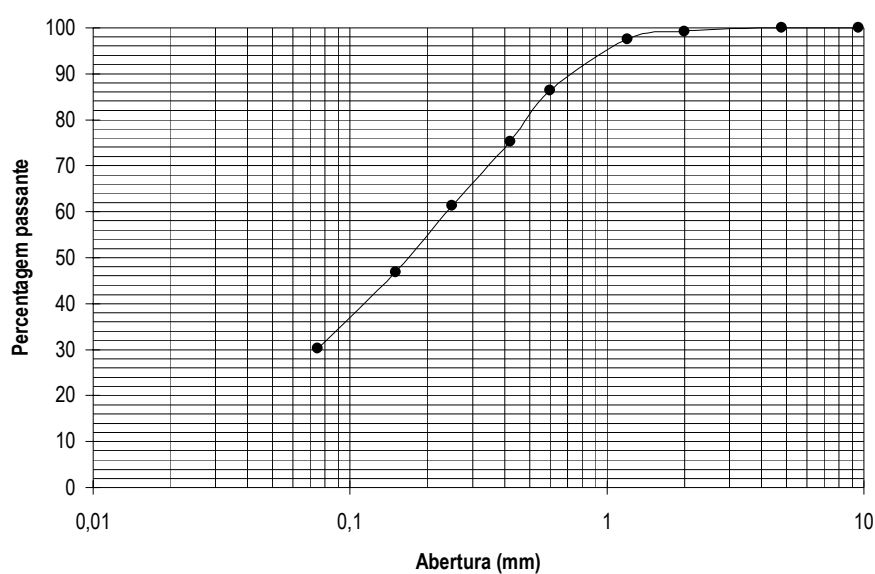


Figura A.3 Curva granulométrica da amostra de saibro nº 2.

Tabela A.6 Análise Granulométrica da amostra de saibro nº 3.

Método de Ensaio: NBR 7181		Mt: 1500g	
Umidade			
h <sub>1</sub> : 0,4%	h <sub>2</sub> : 0,6%	h <sub>3</sub> : 0,5%	Umidade média: 0,5%
Peneiramento			
Peneiramento Grosso			
Mg: 10,47g		Ms: 1.499,93g	
Abertura (mm)	Peso retido (g)	Mi (g)	Qg (%)
50	-	-	-
38	-	-	-
25	-	-	-
19	-	-	-
9,5	-	-	-
4,8	-	-	-
2	10,47	10,47	99,30
Peneiramento fino			
Mh: 120g		N: 99,30%	
Abertura (mm)	Peso Retido (g)	Mi (g)	Qf (%)
1,2	2,60	2,60	97,15
0,6	14,17	16,77	85,42
0,42	12,76	29,53	74,86
0,25	15,72	45,25	61,85
0,15	18,35	63,60	46,67
0,075	19,86	83,46	30,23

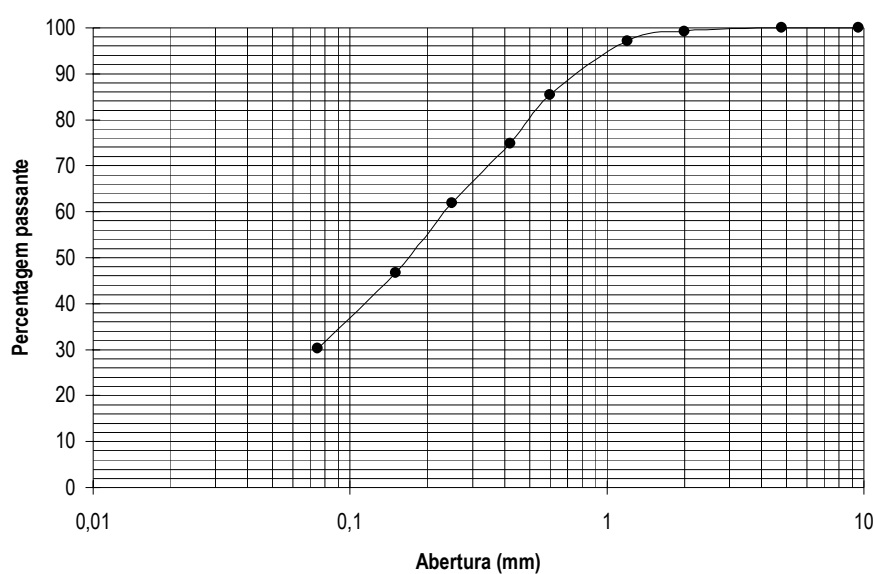


Figura A.4 Curva granulométrica da amostra de saibro nº 3.

Tabela A.7 Análise Granulométrica da amostra de saibro nº 4.

Método de Ensaio: NBR 7181		Mt: 1500g	
Umidade			
h <sub>1</sub> : 0,4%	h <sub>2</sub> : 0,5%	h <sub>3</sub> : 0,2%	Umidade média: 0,4%
Peneiramento			
Peneiramento Grosso			
Mg: 12,03g	Ms: 1.499,94g		
Abertura (mm)	Peso retido (g)	Mi (g)	Qg (%)
50	-	-	-
38	-	-	-
25	-	-	-
19	-	-	-
9,5	-	-	-
4,8	-	-	-
2	12,03	12,03	99,20
Peneiramento fino			
Mh: 120g	N: 99,20%		
Abertura (mm)	Peso Retido (g)	Mi (g)	Qf (%)
1,2	3,25	3,25	96,51
0,6	15,51	18,76	83,69
0,42	13,52	32,28	72,51
0,25	15,91	48,19	59,36
0,15	17,55	65,74	44,85
0,075	18,73	84,47	29,37

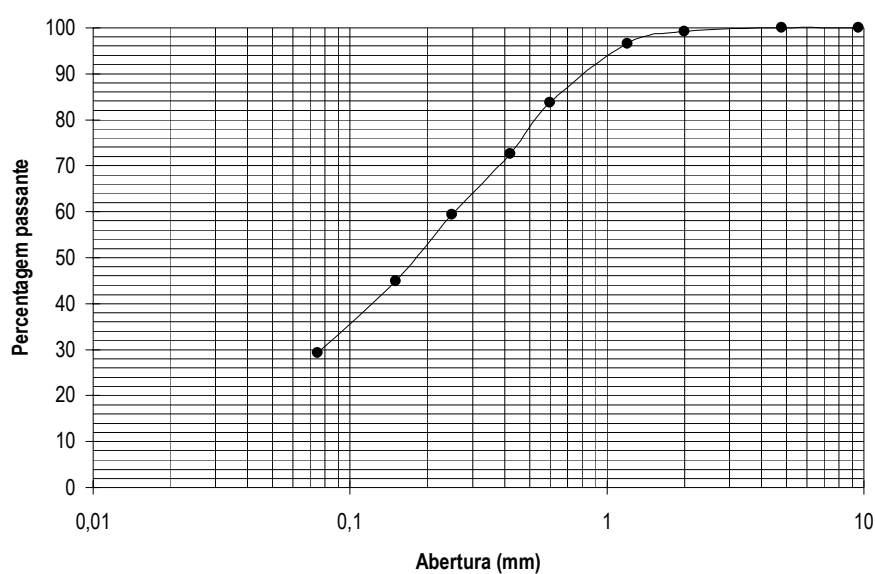


Figura A.5 Curva granulométrica da amostra de saibro nº 4.

Tabela A.8 Análise Granulométrica da amostra de saibro nº 5.

Método de Ensaio: NBR 7181		Mt: 1500g	
Umidade			
h <sub>1</sub> : 0,4%	h <sub>2</sub> : 0,4%	h <sub>3</sub> : 0,4%	Umidade média: 0,4%
Peneiramento			
Peneiramento Grosso			
Mg: 12,53g	Ms: 1.499,94g		
Abertura (mm)	Peso retido (g)	Mi (g)	Qg (%)
50	-	-	-
38	-	-	-
25	-	-	-
19	-	-	-
9,5	-	-	-
4,8	-	-	-
2	12,53	12,53	99,16
Peneiramento fino			
Mh: 120g	N: 99,16%		
Abertura (mm)	Peso Retido (g)	Mi (g)	Qf (%)
1,2	3,29	3,29	96,44
0,6	15,23	18,52	83,86
0,42	14,00	32,52	72,29
0,25	15,80	48,32	59,23
0,15	16,99	65,31	45,19
0,075	18,10	83,41	30,23

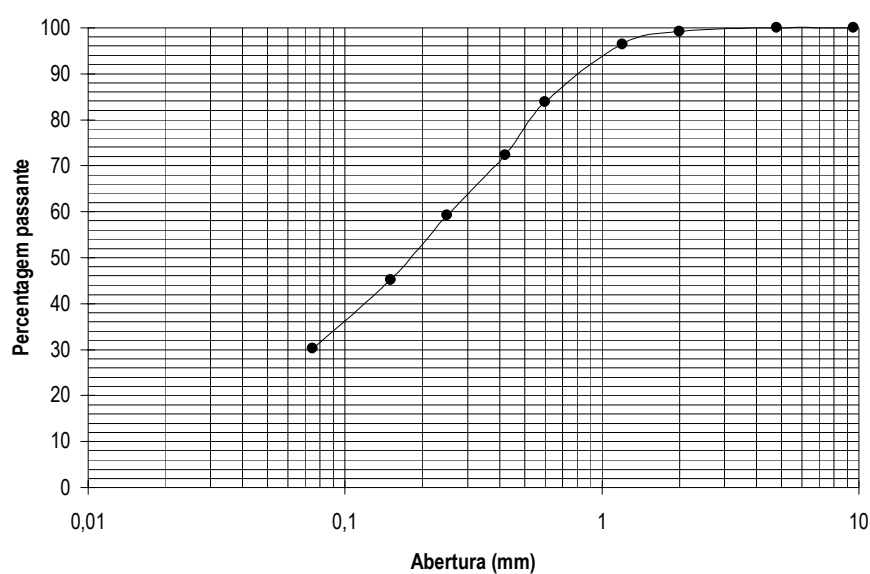


Figura A.6 Curva granulométrica da amostra de saibro nº 5.

Tabela A.9 Análise Granulométrica da amostra de saibro nº 6.

Método de Ensaio: NBR 7181		Mt: 1500g	
Umidade			
h <sub>1</sub> : 0,3%	h <sub>2</sub> : 0,4%	h <sub>3</sub> : 0,2%	Umidade média: 0,3%
Peneiramento			
Peneiramento Grosso			
Mg: 14,86g		Ms: 1.499,96g	
Abertura (mm)	Peso retido (g)	Mi (g)	Qg (%)
50	-	-	-
38	-	-	-
25	-	-	-
19	-	-	-
9,5	-	-	-
4,8	-	-	-
2	14,86	14,86	99,01
Peneiramento fino			
Mh: 120g		N: 99,01%	
Abertura (mm)	Peso Retido (g)	Mi (g)	Qf (%)
1,2	3,46	3,46	96,16
0,6	15,68	19,14	83,22
0,42	13,36	32,50	72,19
0,25	15,74	48,24	59,21
0,15	16,98	65,22	45,20
0,075	18,86	84,08	29,63

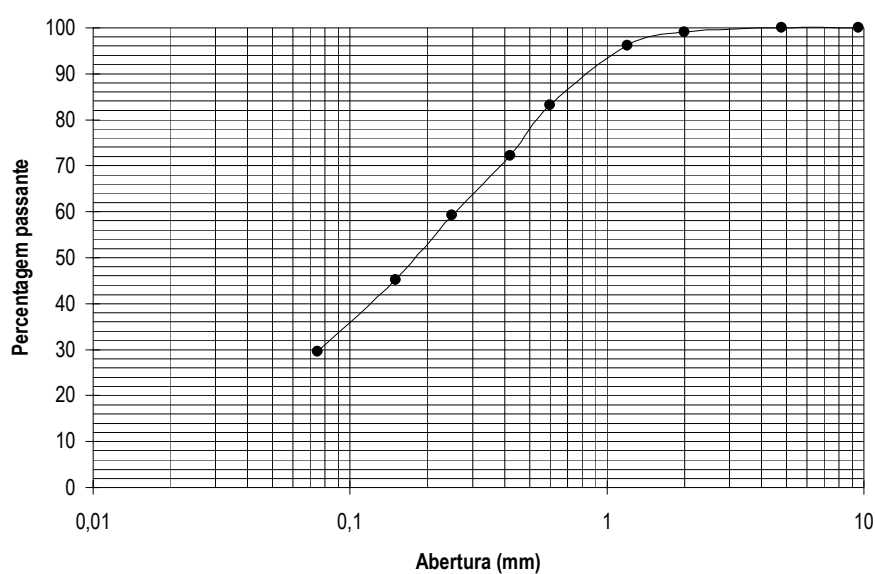


Figura A.7 Curva granulométrica da amostra de saibro nº 6.

Tabela A.10 Valores médios obtidos nos ensaios de caracterização do saibro.

PROPRIEDADES	MÉTODO DE ENSAIO	VALORES MÉDIOS OBTIDOS					
		AMOSTRA 1	AMOSTRA 2	AMOSTRA 3	AMOSTRA 4	AMOSTRA 5	AMOSTRA 6
Massa específica (kg/m <sup>3</sup> )	NBR 6508	2590	2591	2589	2591	2593	2590
Massa unitária (kg/m <sup>3</sup> )	NBR 7251	1303	1300	1298	1301	1300	1303
Teor de finos > 0,075mm (%)	–	69,78	69,77	69,77	70,63	69,77	70,37
Teor de finos < 0,075mm (%)	–	30,22	30,23	30,23	29,37	30,23	29,63

### A.3. ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO DAS AMOSTRAS DE SAIBRO POR DIFRAÇÃO DE RAIOS-X

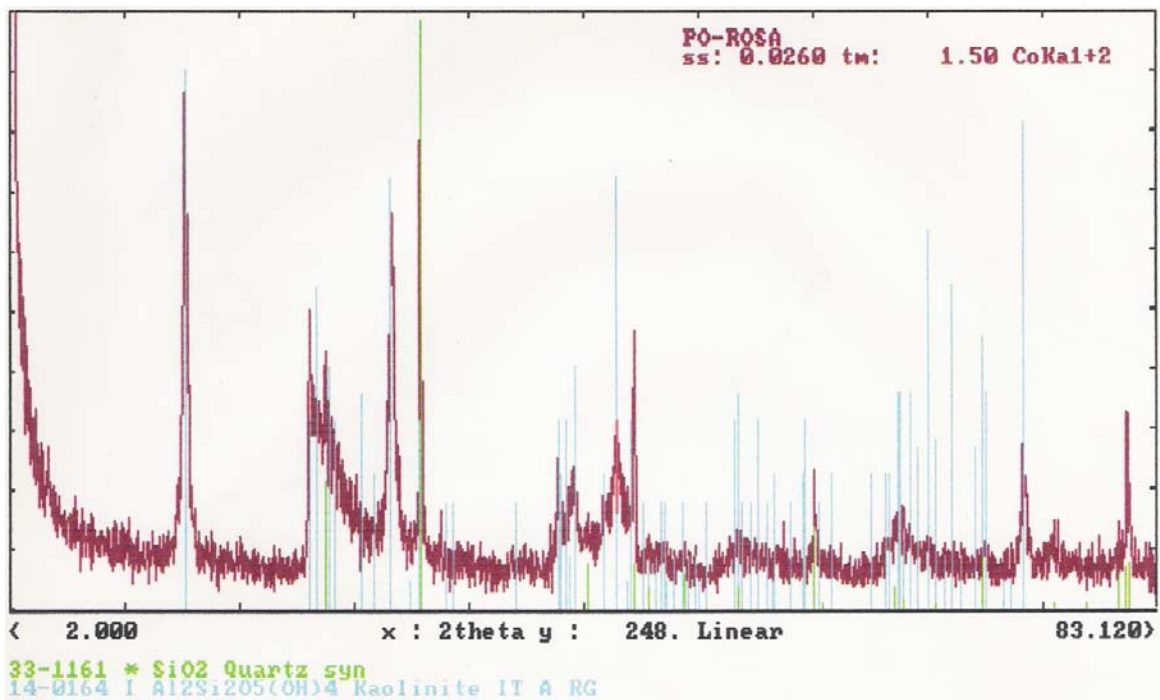


Figura A.8 Difratograma de identificação dos minerais, via difração de raios-X, existentes em quantidades superiores a aproximadamente 5% na amostra.

## ANEXO B

### RESULTADOS DOS ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO DAS ARGAMASSAS

#### B.1. ENSAIOS REALIZADOS COM ARGAMASSAS NO ESTADO FRESCO

Tabela B.1 Resultados dos ensaios com as argamassas no estado fresco.

CARACTERÍSTICAS NO ESTADO FRESCO		MÉTODO DE ENSAIO	ARGAMASSAS					
			A	B	C	D	E	F
Traço em volume (agregado úmido)		–	1:0,88:3	1:2,93:5	1:8,07:8	1:11,46:9	1:15,33:11	1:19,90:13
Traço em massa (agregado seco)		–	1:0,80:2,14	1:2,67:3,56	1:7,34:5,70	1:10,43:6,41	1:13,95:7,83	1:18,11:9,26
Índice de Consistência (mm)		NBR 13276	246	247	254	251	254	253
Abat. pelo tronco de cone (mm)		NBR 7223	41	42	46	43	43	47
Consumos:	cimento (kg/m <sup>3</sup> )	–	442	227	116	91	71	57
	agr. seco (kg/m <sup>3</sup> )	–	947	809	662	582	556	528
	agr. úmido (m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> )	–	0,93	0,80	0,65	0,57	0,55	0,52
	saibro (kg/m <sup>3</sup> )	–	354	607	852	948	990	1032
	água (kg/m <sup>3</sup> )	–	305	320	338	350	360	359
Relação água/cimento (kg/kg)		–	0,69	1,41	2,91	3,85	5,07	6,30
Relação água/mat. secos (%)		–	17,5	19,5	20,7	21,6	22,3	22,2
Densidade de massa (kg/m <sup>3</sup> )		NBR 13278	2060	1970	1930	1940	1930	1940
Teor de Ar Incorporado (%)		NBR 13278	5	6	4	3	2	2
Retenção de Água (%)		NBR 13277	98	97	96	97	96	97



## B.2. ENSAIOS REALIZADOS COM CORPOS-DE-PROVA DE ARGAMASSA NO ESTADO ENDURECIDO

Tabela B.2 Resultados individuais obtidos nos corpos-de-prova das argamassas A, B e C de acordo com a NBR 9778 (INMETRO, 1987) e NBR 13279 (INMETRO, 1995).

PROPRIEDADE	A				B				C			
	A1	A2	A3	A4	B1	B2	B3	B4	C1	C2	C3	C4
Densidade de massa (kg/m <sup>3</sup> )	1866	1791	1722	1865	1711	1708	1717	1707	1674	1683	1680	1706
Absorção de água por imersão (%)	13	13	13	12	17	17	17	17	18	18	18	18
Índice de vazios (%)	24	23	24	23	29	29	29	29	30	30	30	30
Resistência à compressão (MPa)	19,71	18,36	17,70	19,91	4,99	5,60	6,16	6,11	2,24	2,09	2,04	1,96

Tabela B.3 Resultados individuais obtidos nos corpos-de-prova das argamassas D, E e F de acordo com a NBR 9778 (INMETRO, 1987) e NBR 13279 (INMETRO, 1995).

PROPRIEDADE	D				E				F			
	D1	D2	D3	D4	E1	E2	E3	E4	F1	F2	F3	F4
Densidade de massa (kg/m <sup>3</sup> )	1677	1661	1659	1680	1610	1623	1627	1650	1650	1696	1629	1548
Absorção de água por imersão (%)	18	18	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19
Índice de Vazios (%)	30	31	31	31	31	32	32	32	31	31	31	31
Resistência à compressão (MPa)	1,48	1,58	1,53	1,63	0,97	0,97	0,97	1,07	0,81	0,85	0,81	0,85

Tabela B.4 Média dos valores obtidos nos corpos-de-prova de argamassa.

PROPRIEDADES NO ESTADO ENDURECIDO		ARGAMASSA					
		A	B	C	D	E	F
Densidade de massa (kg/m <sup>3</sup> )	Média	1811	1711	1686	1669	1628	1631
	Desvio Padrão	69,1	4,5	14,4	10,7	16,5	61,8
	Coef. Variação (%)	3,8	0,3	0,9	0,6	1,0	3,8
Absorção de água por imersão (%)	Média	13	17	18	18	19	19
	Desvio Padrão	0,15	0,07	0,07	0,11	0,15	0,04
	Coef. Variação (%)	1,15	0,44	0,41	0,59	0,76	0,22
Índice de vazios (%)	Média	23	29	30	31	32	31
	Desvio Padrão	0,26	0,07	0,13	0,27	0,29	0,10
	Coef. Variação (%)	1,12	0,23	0,41	0,88	0,93	0,31
Resistência à compressão (MPa)	Média	18,92	5,72	2,08	1,55	0,99	0,83
	Desvio Padrão	1,07	0,55	0,12	0,07	0,05	0,02
	Coef. Variação (%)	5,63	9,55	5,66	4,23	5,13	2,33

### B.3. ENSAIOS REALIZADOS COM CORPOS DE PROVA DE REVESTIMENTO

Tabela B.5 Índices esclerométricos medidos em cada painel de revestimento — NBR 7584 (ABNT, 1982).

ÍNDICES (mm)	TRAÇOS											
	A		B		C		D		E		F	
	P1	P2	P1	P2	P1	P2	P1	P2	P1	P2	P1	P2
l <sub>1</sub>	49	43	37	31	25	27	24	26	20	24	21	20
l <sub>2</sub>	50	46	40	35	26	30	29	27	22	25	23	24
l <sub>3</sub>	51	46	41	38	27	30	29	27	23	26	23	25
l <sub>4</sub>	51	49	41	39	28	32	32	30	25	27	24	26
l <sub>5</sub>	51	49	44	40	29	32	32	33	25	28	25	27
l <sub>6</sub>	51	50	44	43	29	34	32	34	25	28	25	27
l <sub>7</sub>	51	51	44	43	31	34	33	34	26	28	26	27
l <sub>8</sub>	52	52	45	44	31	35	34	40	27	29	27	28
l <sub>9</sub>	53	56	46	44	34	35	34	41	30	30	27	28
Média	51	49	42	40	29	32	31	32	25	27	25	26
Desvio padrão	1,12	3,82	2,88	4,47	2,80	2,71	3,20	5,50	2,91	1,92	2,01	2,54
Coef. Variação	2,19	7,80	6,85	11,18	9,67	8,48	10,33	17,20	11,62	7,12	8,03	9,76
Média -10%	46	44	38	36	26	29	28	29	22	25	22	23
Média +10%	56	54	47	44	32	35	34	36	27	30	27	28
	Valores dentro da faixa de intervalo de $\pm 10\%$											
l <sub>1</sub>	49	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
l <sub>2</sub>	50	46	40	–	26	30	29	–	22	25	23	24
l <sub>3</sub>	51	46	41	38	27	30	29	30	23	26	23	25
l <sub>4</sub>	51	49	41	39	28	32	32	33	25	27	24	26
l <sub>5</sub>	51	49	44	40	29	32	32	34	25	28	25	27
l <sub>6</sub>	51	50	44	43	29	34	32	34	25	28	25	27
l <sub>7</sub>	51	51	44	43	31	34	33	–	26	28	26	27
l <sub>8</sub>	52	52	45	44	31	35	34	–	27	29	27	28
l <sub>9</sub>	53	–	46	44	–	35	34	–	–	30	27	28
Média	51	49	43	42	29	33	32	–	25	28	25	27
Desvio padrão	1,12	2,31	2,17	2,51	1,89	2,05	1,96	1,89	1,70	1,60	1,60	1,41
Coef. Variação	2,19	4,71	5,04	5,97	6,52	6,22	6,12	–	6,82	5,71	6,41	5,24
Média -10%	46	44	39	37	26	29	29	–	22	25	23	24
Média +10%	56	54	47	46	32	36	35	–	27	30	28	29

Tabela B.6 Resultados do ensaio de resistência de aderência à tração nos painéis A, B e C, conforme projeto de norma do CB-02 (ABNT, 1994) nº 02:102.17-00.

CORPO-DE-PROVA	A				B				C			
	Carga (N)	Área da Seção (mm <sup>2</sup> )	Tensão (MPa)	Forma de Ruptura	Carga (N)	Área da Seção (mm <sup>2</sup> )	Tensão (MPa)	Forma de Ruptura	Carga (N)	Área da Seção (mm <sup>2</sup> )	Tensão (MPa)	Forma de Ruptura
1	440	1963	0,22	A	790	1963	0,40	C	–	–	–	–
2	777	1963	0,40	B	670	1963	0,34	C	136	1963	0,07	B
3	873	1963	0,44	B	1473	1963	0,75	C	–	–	–	–
4	520	1963	0,26	B	–	–	–	–	420	1963	0,21	B
5	325	1963	0,17	A	448	1963	0,23	A	455	1963	0,23	B
6	–	–	–	–	555	1963	0,28	A	200	1452	0,14	A
7	243	1963	0,12	A	460	1963	0,23	C	–	–	–	–
8	414	1963	0,21	B	243	1963	0,12	C	425	1963	0,22	A
9	569	1963	0,29	A	735	1963	0,37	C	243	1963	0,12	B
10	506	1963	0,26	A	508	1963	0,26	A	481	1963	0,25	B
11	383	1963	0,20	A	243	1963	0,12	A	187	1385	0,14	A
12	305	1963	0,16	A	187	1963	0,10	A	242	1385	0,17	B

Tabela B.7 Resultados do ensaio de resistência de aderência à tração nos painéis D, E e F, conforme projeto de norma do CB-02 (ABNT, 1994) nº 02:102.17-00.

CORPO-DE-PROVA	D				E				F			
	Carga (N)	Área da Seção (mm <sup>2</sup> )	Tensão (MPa)	Forma de Ruptura	Carga (N)	Área da Seção (mm <sup>2</sup> )	Tensão (MPa)	Forma de Ruptura	Carga (N)	Área da Seção (mm <sup>2</sup> )	Tensão (MPa)	Forma de Ruptura
1	218	1452	0,15	B	–	–	–	–	–	–	–	–
2	191	1521	0,13	A	–	–	–	–	55	1385	0,04	B
3	239	1590	0,15	B	–	–	–	–	76	1257	0,06	B
4	139	1320	0,11	B	–	–	–	–	–	–	–	–
5	50	1134	0,04	B	–	–	–	–	–	–	–	–
6	216	1452	0,15	B	–	–	–	–	–	–	–	–
7	170	1320	0,13	B	113	1662	0,07	–	–	–	–	–
8	–	–	–	–	104	1452	0,07	B	–	–	–	–
9	206	1452	0,14	B	65	1590	0,04	B	91	1385	0,07	B
10	123	1385	0,09	B	163	1662	0,10	B	–	–	–	–
11	161	1442	0,11	B	142	1452	0,10	B	61	1452	0,04	B
12	–	–	–	–	118	1662	0,07	B	80	1385	0,06	B

Obs.: Os resultados não apresentados nas tabelas B.6 e B.7 foram desprezados em função de deficiência na colagem da pastilha ou do corte na seção transversal do revestimento; outros, no entanto não puderam ser medidos uma vez que se rompiam durante a colocação do equipamento.

Tabela B.8 Média dos resultados dos ensaios de resistência de aderência realizados nos painéis de revestimento conforme projeto de norma do CB-02 (ABNT, 1994) nº 02:102.17-00.

	PAINEL DE REVESTIMENTO					
	A	B	C	D	E	F
Média (MPa)	0,25	0,29	0,17	0,12	0,08	0,05
Desvio Padrão	0,10	0,18	0,06	0,03	0,02	0,01
C.V. (%)	39,64	62,89	34,57	28,87	30,11	24,85
Maior Valor (MPa)	0,44	0,75	0,25	0,15	0,10	0,07
Menor Valor (MPa)	0,12	0,10	0,07	0,04	0,04	0,04