



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

**AVALIAÇÃO DE DIFERENTES TRATAMENTOS DE BASE
APLICADOS SOBRE ALVENARIA DE BLOCO CERÂMICO
NA ADERÊNCIA DA ARGAMASSA: ESTUDO DE CASO**

Cecília Rodrigues da Silva

**Belém-PA
2011**

Cecília Rodrigues da Silva

**AVALIAÇÃO DE DIFERENTES TRATAMENTOS DE BASE
APLICADOS SOBRE ALVENARIA DE BLOCO CERÂMICO
NA ADERÊNCIA DA ARGAMASSA: ESTUDO DE CASO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Pará, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Orientadora: Prof^a Dr^a. Isaura Nazaré Lobato Paes
Departamento de Engenharia Civil

Belém-PA
2011

Dados Internacionais de Catalogação de Publicação (CIP)

Silva, Cecília Rodrigues da

Avaliação de diferentes tratamentos de base aplicados sobre alvenaria de bloco cerâmico na aderência da argamassa: estudo de caso / Cecília Rodrigues da Silva; Orientador, Isaura Nazaré Lobato Paes – 2011.

150 f.: il. ; 29 cm

Inclui bibliografias

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Pará, Instituto de Tecnologia, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Belém, 2011.

1. Argamassa de emboço – Avaliação. 2. Materiais de construção - Durabilidade. 3. Materiais cerâmicos- Análise. 4. Construção civil. 5. Alvenaria de bloco cerâmico. I. Paes, Isaura Nazaré Lobato, orientador. II. Título.

CDD 22. ed. 691.5



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO SUBMETIDA AO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL DO INSTITUTO DE TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL, DEFENDIDA EM 28/10/2011.

“AVALIAÇÃO DE DIFERENTES TRATAMENTOS DE BASE APLICADOS SOBRE ALVENARIA DE BLOCO CERÂMICO NA ADERÊNCIA DA ARGAMASSA: ESTUDO DE CASO”

CECÍLIA RODRIGUES DA SILVA

APROVADA POR:

**ISAURA DE NAZARÉ PAES
(ORIENTADORA)**

**ELTON BAUER, Dr. (UnB)
(EXAMINADOR EXTERNO 1)**

**THAÍS SANJAD, Dr. (UFPA)
(EXAMINADOR INTERNO 1)**

**PAULO SÉRGIO LIMA SOUZA, Dr. (UFPA)
(EXAMINADOR INTERNO 2)**

AGRADECIMENTOS

Ao concluir esta Dissertação de Mestrado, posso afirmar que sem a Graça de Deus, e sem o apoio e incentivo de amigos e familiares, que compartilharam cada passo dessa caminhada, seria impossível ter alcançado mais essa conquista.

Primeiramente agradeço a DEUS pela graça e misericórdia em permitir que chegássemos até aqui. A Ele toda a Honra, Glória e Louvor sejam dados.

A Prof^a. Isaura Nazaré Lobato Paes, pela orientação competente e dedicada, levando-me a superar os obstáculos e avançar em direção aos objetivos traçados, estando sempre disposta a contribuir para a melhoria deste trabalho.

Agradeço especialmente ao apoio dos meus queridos e amados filhos Rafael e Diego, que durante todo esse processo de desafios e superações, me incentivaram e apoiaram incondicionalmente, dando-me segurança e entusiasmo para continuar em todos os momentos.

Aos queridos Armando, Lucas, Ana Carla, pelo apoio e incentivo. Em especial ao meu sobrinho Tiago, pelos valiosos conselhos e grande apoio, além da cooperação no *Excel*.

Vários amigos também deram sua contribuição ao longo do trabalho, com apoio nas horas mais difíceis. Agradecimentos especiais à Eliana e à Odila. Também a todos os colegas da Prefeitura da UFPA.

Agradeço especialmente ao colega Carlos Roberto Raiol da Fonseca, que foi um grande amigo e colaborador durante todo o trabalho experimental.

Aos técnicos do Laboratório de Engenharia Civil da UFPA, que foram grandes colaboradores deste trabalho.

Ao Prof. Paulo Sérgio Lima Souza, pelo apoio e liberação de recursos para a realização do ensaio de porosimetria por intrusão de mercúrio e de dessorção.

Ao Laboratório de Meios Porosos e Propriedades Termofísicas (LMPT) da Engenharia Mecânica na pessoa do técnico Geraldo Frigo, pela realização dos ensaios de porosimetria por intrusão de mercúrio.

Aos irmãos em Cristo, pelas orações.

A todos que cooperaram de alguma forma para a realização deste trabalho.

*“Feliz o homem que acha sabedoria, e o homem que
adquire conhecimento; porque melhor é o lucro que ela
dá do que o da prata, e melhor a sua renda do que o
ouro mais fino. Mais preciosa é do que pérolas, e tudo o
que podes desejar não é comparável a ela.”*

(Pv 3: 13-15)

*Dedico mais este êxito em minha vida à meus pais e minha
irmã (In Memoriam). Seu exemplo de temor a Deus e de
dedicação e coragem têm motivado minha determinação e
empenho em busca de meus objetivos.*

RESUMO

SILVA, Cecília Rodrigues da (2011). Avaliação de diferentes tratamentos de base, aplicados sobre alvenaria de bloco cerâmico, na aderência da argamassa: Estudo de caso. 150 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Pará, Belém, 2011.

Este trabalho aborda, de modo científico, o estudo experimental realizado para investigar o mecanismo de aderência de revestimento de argamassa, aplicado sobre alvenaria de blocos cerâmicos, com diferentes tratamentos de base, a saber: (referência 1:3, cimento e areia, em volume - sem cura; 1:3, cimento e areia, em volume - com cura; 1:3+aditivo SBR, cimento e areia, em volume - sem cura; 1:3+aditivo SBR, cimento e areia, em volume – com cura). Foram adotadas três idades distintas (7, 28 e 120 dias) de modo a verificar a evolução da aderência, ao longo do tempo, sendo feitas avaliações tanto em obra (*in situ*) como ensaios adicionais em laboratório. A determinação da resistência de aderência à tração dos revestimentos de argamassa teve como parâmetro normativo a NBR 13528 (ABNT, 1995) e os resultados foram submetidos à análise estatística de variância.

Também foram analisados, aspectos relacionados à influência da estrutura de poros tanto da do emboço como do substrato poroso na aderência, por meio das técnicas de porosimetria por intrusão de mercúrio, porosimetria por dessorção de vapor de água, microscopia eletrônica de varredura (MEV) e difração de raio X.

Com base nos resultados obtidos verificou-se que o tratamento de base, o procedimento contínuo da cura úmida e a idade do revestimento são fatores significativos na resistência de aderência, bem como, caso se opte pelo uso do chapisco convencional (1:3, cimento: areia úmida, em volume), torna-se importantel o procedimento contínuo da cura (por um tempo mínimo de 48 horas). No caso de se escolher o uso do chapisco aditivado, este não deve ser submetido a umidades excessivas (cura úmida).

Palavras Chave: substrato, chapisco, cura, argamassa, aderência.

ABSTRACT

SILVA, Cecilia Rodrigues (2011). Evaluation of different treatments based, on a ceramic block masonry, in the adherence of mortar: Case Study. 150 p. Dissertation (MSc) - University of Pará, Belém, 2011.

This paper discusses, in a scientific way, the experimental study conducted to investigate the mechanism of adhesion of the mortar coating applied over masonry of ceramic blocks with different basic treatments, namely: (reference 1:3, cement and sand in volume - no cure, 1:3, cement and sand by volume - with healing, 1:3 + SBR additive, cement and sand by volume - no cure, 1:3 + SBR additive, cement and sand by volume - with healing). We adopted three different ages (7, 28 and 120 days) in order to verify the evolution of adhesion over time, both assessments being made on site (in situ) and additional tests in the laboratory. The determination of the tensile bond strength of mortar was facing as a parameter normative NBR 13528 (ABNT, 1995) and the results were subjected to statistical analysis of variance.

Were also analyzed aspects related to the influence of both the pore structure of the plaster as the porous substrate adherence, through the techniques of mercury intrusion porosimetry, porosimetry by desorption of water vapor, scanning electron microscopy (SEM) and X-ray diffraction

Based on the results obtained showed that the basic treatment, the continuous process of healing the lining damp and age are significant factors in bond strength as well, if you choose to use conventional Chapisco (1:3, cement: damp sand by volume), it becomes importantel the continuous process of healing (for a minimum of 48 hours). In case you choose to use the additive Chapisco, this should not be subjected to excessive moisture (moist cure).

Keywords: substratum, chapisco, healing, mortar, adhesion.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 – Deslocamentos de revestimento cerâmico e argamassa de emboço, observados em um prédio localizado na cidade de Belém – PA.....	20
Figura. 2.1 a) Chapisco convencional (cimento, agregado e água), chapado (lançado no substrato com colher de pedreiro)	28
Figura. 2.1 b) Chapisco rolado, aplicado com rolo de espuma especialmente preparado.....	29
Figura. 2.1 c) Chapisco colante, aplicado com desempenadeira dentada	29
Figura. 2.2 – Tipologias de chapisco: aberto e fechado	31
Figura 2.3 – Revestimentos em argamassa, empregados em fachadas, com grandes espessuras	33
Figura 2.4 – Representação esquemática de um poro sob processo de transporte de umidade	35
Figura 2.5 – Fenômeno da capilaridade	36
Figura 2.6 – Interface argamassa substrato cerâmico: a) Região de baixa extensão de aderência; b) Região de alta extensão de aderência	43
Figura 2.7 – Representação esquemática do mecanismo de aderência entre argamassa e bloco cerâmico	44
Figura 2.8 – Fotomicrografia da interface argamassa/tijolo do traço 3 – 1:2:8. IES.....	45
Figura 2.9 – Fatores que influenciam na resistência de aderência de revestimentos.....	48
Figura 2.10 – Permeabilidade/Porosidade de materiais à base de cimento.....	52
Figura 2.11 – Distribuição do tamanho dos poros em pastas de cimento hidratado	54
Figura 2.12 – Faixa de aplicação dos principais métodos para caracterização de espaços porosos.....	54
Figura. 2.13 – Poro tipo “tinteiro” ou “ink bottle”	56
Figura 2.14 – Distribuição do tamanho dos poros dos substratos obtidos com o uso da porosimetria por intrusão de mercúrio. (A) volume incremental (ml/g) versus diâmetros dos poros (μm). (B) Volume acumulado (ml/g) versus diâmetro dos poros (μm).	58
Figura 2.15 – Micrografia de uma argamassa – detalhe dos vazios formados por bolhas de ar Imagem de produtos de hidratação do cimento obtida por MEV: (a) Imagem por Elétrons Retroespalhados e (b) Imagem por Elétrons Secundários	62

Figura 2.16 – Difratoograma de raios-X da pasta de referência estudada por Rossignolo, 2005.....	63
Figura 3.1 – Vista frontal da fachada da obra onde foi realizado o estudo de caso	64
Figura 3.2 – Hierarquia entre as variáveis do programa experimental.....	66
Figura 3.3 – Painéis em alvenaria de bloco cerâmico.....	67
Figura 3.4 – Verificação da pulverulência: (a) no chapisco; (b) no revestimento (argamassa de emboço)	71
Figura 3.5 – Leitura da abertura de fissuras com a utilização de um fissurômetro	72
Figura 3.6 – (a) Execução do corte do revestimento. (b) Colagem das pastilhas metálicas. (c) Aplicação da carga de tração direta com dinamômetro	73
Figura 4.1 – Comportamento de absorção de água do bloco cerâmico: IRA e absorção total de água (saturação)	74
Figura 4.2 – Comportamento de absorção de água do bloco cerâmico, ao longo do tempo, para determinação de sua absorvidade (S).....	78
Figura 4.3 – Micrografia da amostra de substrato cerâmico obtido por meio de MEV	79
Figura 4.4 – Distribuição do tamanho de poros dos substratos obtidos com o uso da porosimetria por intrusão de mercúrio. (A)- Volume incremental (ml/g) X diâmetro dos poros (μm). (B)-Volume acumulado (ml/g) <i>versus</i> diâmetro dos poros (μm).....	80
Figura 4.5 – Distribuição do tamanho de poros do substrato com o uso da porosimetria por dessorção de vapor de água. (A) Volume incremental (ml/g) X diâmetro dos poros (μm). (B)-Volume acumulado (ml/g) X diâmetro dos poros (μm)	82
Figura 4.6 – Análise da pulverulência dos chapiscos após três dias de sua aplicação: (A)- Chapisco 1:3, sem cura. (B)- Chapisco 1:3, com cura. (C)- Chapisco 1:3+SBR, sem cura. (D)- Chapisco 1:3+SBR, com cura.....	83
Figura 4.7 – Análise da fissuração da argamassa de emboço aplicada sobre os diferentes tratamentos de base. (A)- Chapisco 1:3, sem cura. (B)- Chapisco 1:3, com cura. (C)- Chapisco 1:3+SBR, sem cura. (D)- Chapisco 1:3+SBR, com cura.....	85
Figura 4.8 – Distribuição do tamanho de poros da argamassa com uso da porosimetria por intrusão de mercúrio. Chapisco 1:3, sem cura e Chapisco 1:3, com cura. (A)Volume incremental (ml/g) <i>versus</i>	

	diâmetro dos poros (μm). (B)Volume acumulado (ml/g) <i>versus</i> diâmetro dos poros (μm)	87
Figura 4.9 – Distribuição do tamanho de poros da argamassa com uso da porosimetria por intrusão de mercúrio. Chapisco 1:3+SBR, sem cura e Chapisco 1:3+SBR, com cura. (A)Volume incremental (ml/g) <i>versus</i> diâmetro dos poros (μm). (B)Volume acumulado (ml/g) <i>versus</i> diâmetro dos poros (μm)		89
Figura 4.10 – Distribuição do tamanho de poros da argamassa com uso da porosimetria por dessorção de vapor de água. Chapisco 1:3, sem cura e Chapisco 1:3, com cura. (A)Volume incremental (ml/g) <i>versus</i> diâmetro dos poros (μm). (B)Volume acumulado (ml/g) <i>versus</i> diâmetro dos poros (μm)		91
Figura 4.11 – Distribuição do tamanho de poros da argamassa com uso da porosimetria por dessorção de vapor de água. Chapisco 1:3+SBR, sem cura e Chapisco 1:3+SBR, com cura. (A)Volume incremental (ml/g) <i>versus</i> diâmetro dos poros (μm). (B) Volume acumulado (ml/g) <i>versus</i> diâmetro dos poros (μm)		91
Figura 4.12 – Micrografias da argamassa de emboço aplicada sobre as diferentes situações de chapisco: (A) Chapisco 1:3 (sem cura); (B) Chapisco 1:3 (curado); (C) Chapisco + SBR (sem cura) e (D) Chapisco + SBR (curado). <i>Fonte:</i> Arquivo pessoal, 2011		92
Figura 4.13 – Difratoogramas da argamassa aplicada sobre diferentes tratamentos de base. (A) chapisco 1:3 (sem cura). (B) Chapisco 1:3 (curado).....		94
Figura 4.14 – Difratoogramas da argamassa aplicada sobre diferentes tratamentos de base. (C) chapisco 1:3+SBR (sem cura). (D) Chapisco 1:3+SBR (curado).....		94
Figura 4.15 – Resultados médios de resistência de aderência à tração dos revestimentos aplicados sobre as diferentes situações de chapisco, nas idades de 7, 28 e 120 dias		96
Figura 4.16 – Gráfico indicando os tipos de rupturas predominantes para cada situação de chapisco		98
Figura 4.17 – Box Plot - Experimento em 7 dias		103
Figura 4.18 – Box Plot - Experimento em 28 dias		105
Figura 4.19 – Box Plot - Experimento em 120 dias.....		107

Figura 4.20 – Box Plot – Análise geral do experimento	109
Figura A.1- Caracterização granulométrica do cimento por meio de granulômetro a laser	124
Figura A.2 - Curva granulométrica do agregado miúdo empregado na execução do chapisco e da argamassa de revestimento, com o uso de peneiras da série normal.....	125
Figura B.1 - Determinação do índice de consistência: (a) retirada de excesso após adensamento executado com soquete. (b) golpes na mesa de ensaio (“flow table”) e (c) medição do diâmetro.	126
Figura. B.2 – Aparelho Vane Test, utilizado para medir tensão limite de escoamento (τ_0).	127
Figura B.3 – Aparelho utilizado para medir teor de ar incorporado, tipo B Figura B.1 - Determinação do índice de consistência: (a) retirada de excesso após adensamento executado com soquete. (b) golpes na mesa de ensaio (“flow table”) e (c) medição do diâmetro.	129
Figura B.4 - Aparelhagem necessária para determinação da retenção de água, por meio do funil de Büchner modificado Figura B.1 - Determinação do índice de consistência: (a) retirada de excesso após adensamento executado com soquete. (b) golpes na mesa de ensaio (“flow table”) e (c) medição do diâmetro.....	130
Figura C.1 – Ensaio de resistência à compressão axial aos 28 dias	134
Figura C.2 – Ensaio de resistência à tração na flexão aos 28 dias Figura B.1 - Determinação do índice de consistência: (a) retirada de excesso após adensamento executado com soquete. (b) golpes na mesa de ensaio (“flow table”) e (c) medição do diâmetro.....	134
Figura C.3 – Execução do ensaio de densidade de massa aparente Figura B.1 - Determinação do índice de consistência: (a) retirada de excesso após adensamento executado com soquete. (b) golpes na mesa de ensaio (“flow table”) e (c) medição do diâmetro.....	135
Figura C.4 - (a) Ensaio de absorção de água por capilaridade. (b) Corpo-de-prova na idade de 28 dias Figura B.1 - Determinação do índice de consistência: (a) retirada de excesso após adensamento executado com soquete. (b) golpes na mesa de ensaio (“flow table”) e (c) medição do diâmetro.	137

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Espessuras admissíveis para o revestimento de argamassas (NBR 13749: ABNT, 1996).....	33
Tabela 3.1 – Descrição dos traços das argamassas e dos tratamentos de base adotados na pesquisa	67
Tabela 3.2 – Resultados médios da caracterização da argamassa de revestimento, no estado fresco.....	69
Tabela 3.3 – Resultados médios da caracterização da argamassa de revestimento, no estado endurecido	69
Tabela 3.4 – Situações avaliadas no ensaio de resistência de aderência da argamassa de revestimento	73
Tabela 3.5 – Diâmetro do poro suscetível à condensação, em função da umidade relativa para a temperatura de 20°C.....	75
Tabela 4.1 – Resultados referentes à porosidade da amostra do bloco cerâmico, obtidos por meio de intrusão de mercúrio	82
Tabela 4.2 – Resultados médios da fissuração da argamassa de emboço, com diferenciação do tratamento de base, após um período de 120 dias.....	86
Tabela 4.3 – valores referentes à porosidade obtidos por intrusão de mercúrio, das amostras das argamassas de emboço aplicadas sobre as diferentes situações de chapisco.....	88
Tabela 4.4 – Legenda das fases identificadas nos difratogramas, para as argamassas aplicadas sobre os diferentes tratamentos de base	93
Tabela 4.5 – Resultados médios da resistência de aderência e resultados em percentuais, da análise da forma de ruptura dos corpos-de-prova submetidos ao ensaio de resistência de aderência à tração	95
Tabela 4.6 – Estatísticas Descritivas – Tratamento: Chapisco 1:3 sem cura	99
Tabela 4.7 – Estatísticas Descritivas – Tratamento Chapisco 1:3 curado.....	100
Tabela 4.8 – Estatísticas Descritivas – Tratamento Chapisco 1:3 + SBR sem Cura	100
Tabela 4.9 – Estatísticas Descritivas – Tratamento Chapisco Comum + SBR Curado	101
Tabela 4.10 – Estatísticas Descritivas – Experimento em 7 dias	101
Tabela 4.11 – Análise de Variâncias – Experimento em 7 dias	102
Tabela 4.12 – Estatísticas Descritivas – Experimento aos 28 dias	103
Tabela 4.13 – Análise de Variâncias – Experimento em 28 dias	104

Tabela 4.14 – Estatísticas Descritivas – Experimento em 120 dias	105
Tabela 4.15 – Análise de Variâncias – Experimento em 120 dias	106
Tabela 4.16 – Estatísticas Descritivas para todo o Experimento.....	107
Tabela A.1 – Caracterização física e química do cimento Portland CP II-Z-32	123
Tabela A.2 – Caracterização das areias empregadas nas argamassas de revestimento	124
Tabela D.1 – Resultados de caracterização dos blocos cerâmicos	137

SUMÁRIO

Agradecimentos	v
Epígrafe	vi
Dedicatória	vii
Resumo	viii
Abstract	ix
Lista de Figuras.....	x
Lista de Tabelas	xiv
1 INTRODUÇÃO.....	19
1.1 JUSTIFICATIVA DO TEMA	19
1.2 OBJETIVOS	22
1.3 ESTRUTURAÇÃO DA DISSERTAÇÃO	22
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	24
2.1 SISTEMA DE REVESTIMENTO EM ARGAMASSA.....	24
2.1.1 Substrato (Base)	24
2.1.2 Tratamento de Base - Chapisco	27
2.1.3 Revestimento de argamassa	33
2.1.4 Transporte de água pela teoria de poros não saturados	36
2.1.5 Ação conjunta da evaporação e da sucção.....	39
2.2 PROPRIEDADES DO REVESTIMENTO DE ARGAMASSA.....	40
2.2.1 Propriedades aglomerantes.....	41
2.2.2 Resistência de aderência dos revestimentos	41
2.2.3 Variabilidade da resistência de aderência	45
2.3 MICROESTRUTURA DOS MATERIAIS E CARACTERIZAÇÃO DOS ESPAÇOS POROSOS	49
2.3.1 Diâmetro Crítico de Poro	53
2.3.2 Métodos de Caracterização de Espaços Porosos	54
2.3.2.1 Porosimetria por Intrusão de Mercúrio.....	55
2.3.2.2 Porosimetria por Dessorção de Vapor de Água.....	58
2.3.2.3 Microscopia Eletrônica de Varredura - MEV	59
2.3.2.4 Difração de Raios-X.....	61

3 PROGRAMA EXPERIMENTAL E MATERIAIS	63
3.1 AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA DA ARGAMASSA “ <i>IN SITU</i> ” COM DIFERENCIAÇÃO DE TRATAMENTOS DE BASE	63
3.2 METODOLOGIA DA PESQUISA – ESTUDO DE CASO	66
3.3 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS EMPREGADOS	67
3.4 DOSAGEM DO CHAPISCO E ARGAMASSA DE EMBOÇO	67
3.4.1 Chapisco	67
3.4.2 Argamassa de emboço	68
3.5 AVALIAÇÃO DA ARGAMASSA DE EMBOÇO (EM LABORATÓRIO).....	68
3.6 AVALIAÇÕES DO REVESTIMENTO – “ <i>IN SITU</i> ”	70
3.6.1 Verificação da pulverulência dos chapiscos e resistência de aderência superficial da argamassa de emboço	70
3.6.2 Avaliação da fissuração da argamassa de emboço	71
3.6.3 Determinação da Resistência de aderência à tração direta do revestimento	72
3.6.4 Caracterização da microestrutura porosa dos blocos cerâmicos e das argamassas de revestimento	73
4 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	77
4.1 COMPORTAMENTO DOS BLOCOS CERÂMICOS QUANTO À SUA ABSORÇÃO DE ÁGUA: IRA, ABSORÇÃO TOTAL (SATURAÇÃO), ABSORÇÃO DE ÁGUA (AO LONGO DO TEMPO) E ABSORTIVIDADE	77
4.2 ANÁLISE DA POROSIDADE DOS BLOCOS CERÂMICOS: POROSIMETRIA POR INTRUSÃO DE MERCÚRIO E POROSIMETRIA POR DESSORÇÃO	80
4.3 PULVERULÊNCIA DO CHAPISCO E RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA SUPERFICIAL E FISSURAÇÃO DA ARGAMASSA DE REVESTIMENTO	83
4.4 AVALIAÇÕES DAS ESTRUTURAS DE POROS DA ARGAMASSA DE REVESTIMENTO	87
4.4.1 Porosimetria por intrusão de mercúrio e por dessecção de vapor de água	87
4.5 AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA DA ARGAMASSA.....	94
4.5.1 Análise estatística da resistência de aderência	98

5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES PARA FUTURAS PESQUISAS	109
5.1 CONCLUSÕES	109
5.2 SUGESTÕES PARA FUTURAS PESQUISAS.....	111
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	113

APÊNDICES

APÊNDICE A – Resultados dos ensaios de caracterização dos materiais	123
APÊNDICE B – Descrição dos ensaios de caracterização da argamassa de revestimento no estado fresco	125
APÊNDICE C – Descrição dos ensaios de caracterização da argamassa no estado endurecido	132
APÊNDICE D – Resultados dos ensaios de caracterização dos blocos cerâmicos.....	137
APÊNDICE E – Resultados do ensaio de resistência de aderência à tração.....	138

1.0 INTRODUÇÃO

1.1 JUSTIFICATIVA DO TEMA

O sistema de revestimento à base de argamassa é utilizado com grande frequência nas fachadas dos edifícios do país. As funções desse vão desde a proteção da alvenaria, regularização das superfícies, estanqueidade à água e aos gases, até as de natureza estética. A falta ou perda do desempenho do revestimento normalmente acarreta prejuízos econômicos importantes, muitas vezes afetando a integridade das construções, causando eventuais prejuízos à habitabilidade e ao conforto do usuário.

Baía e Sabattini (2004) ressaltam que nos últimos anos vem crescendo, por parte da indústria da construção civil, a busca por um desenvolvimento tecnológico enfocando a obtenção de ganhos de qualidade nos seus produtos e a redução dos custos dos processos construtivos. Essas empresas construtoras estão procurando, com isso, atingir uma posição competitiva no mercado da construção civil, trocando a falta de conhecimento técnico do processo construtivo pelos conceitos de base científica.

Neste contexto, Paes (2004) comenta que apesar dos avanços no estudo das argamassas, do desenvolvimento de novas práticas construtivas e da inserção de novos materiais, em determinadas avaliações é notório a falta de técnicas nas proposições de algumas soluções. A exemplo disto, a autora cita que a formulação de argamassas de revestimento que atendam no estado fresco, dentre outras, condições adequadas de trabalhabilidade, coesão, retenção de água e tixotropia que, na maioria das vezes, para se chegar a essas propriedades opta-se por soluções baseadas na experiência de oficiais pedreiros, com resultados imprevisíveis e, conseqüentemente, com grandes possibilidades de desenvolvimento de manifestações patológicas.

Bastos (2001) lembra que ao executar o revestimento de uma alvenaria espera-se, entre outros requisitos de qualidade, que ele não venha a apresentar fissuração que comprometa o seu desempenho, principalmente quanto à permeabilidade e aderência à base. Recentemente têm sido relatados, em todo o Brasil, vários casos de manifestações patológicas em revestimentos de argamassa, tanto com argamassas mistas, como com argamassas industrializadas.

Nesta conjuntura, em especial na região metropolitana de Belém - PA, é comum encontrar revestimentos de argamassa, com acabamento final em cerâmica, com sérios problemas de descolamento da base, conforme apresentado na Figura 1.1.

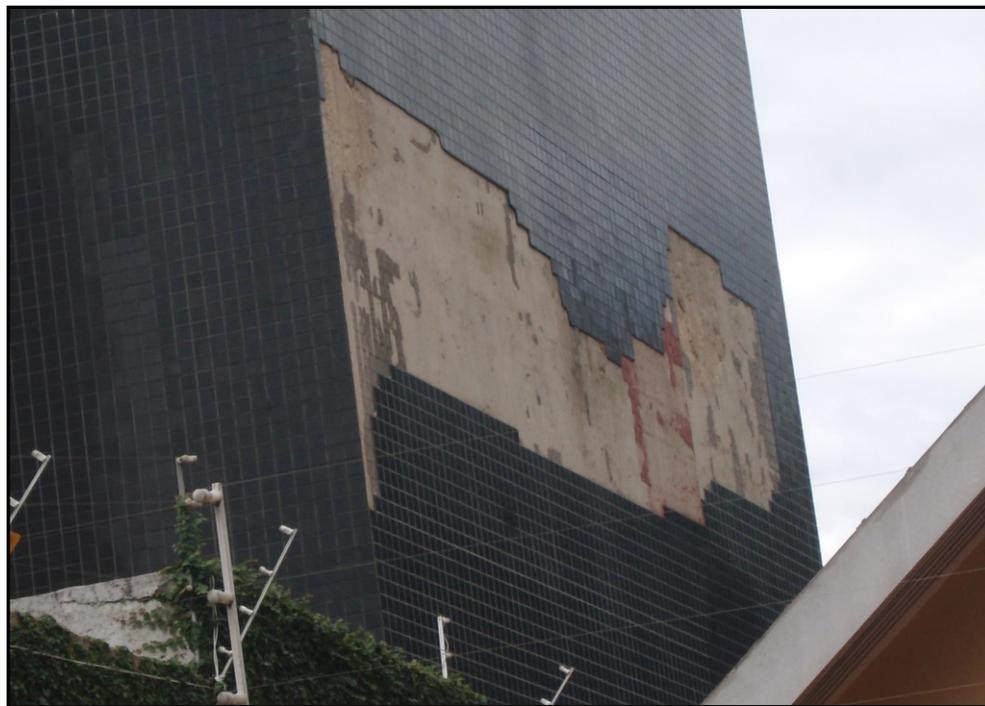


Figura 1.1- Desplacamentos de revestimento cerâmico e argamassa de emboço, observados em um prédio localizado na cidade de Belém – PA.

A situação comumente observada nas obras em Belém se deve a uma série de fatores que potencializam a ocorrência deste tipo de anomalia, destacando-se os seguintes fatores:

- a) A areia natural utilizada é normalmente caracterizada como de granulometria fina, o que dificulta a obtenção do chapisco com a rugosidade ideal (3 a 5mm). Em decorrência disto, faz-se uso de aditivos que, normalmente, são adicionados a este componente (chapisco), principalmente nos elementos estruturais, com o objetivo de regularizar a sua absorção de água, sem nenhum controle técnico. Em alguns casos torna o chapisco impermeável, o que ocasiona demora no tempo de sarrafeamento e problemas de aderência base/argamassa de emboço. Cabe destacar que esta areia é a mesma utilizada na confecção do emboço, que também deveria ser de granulometria de média a grossa;

- b) A argamassa de emboço é executada com aditivos incorporadores de ar, pois especificamente em Belém, atualmente, não são produzidas argamassas com cal, uma vez que este material não é fabricado no estado e seu frete, segundo as construtoras, tornaria o custo da argamassa muito elevado. Ressalta-se, que se tem conhecimento que este tipo de adição produz argamassas já consagradas nacionalmente por suas características obtidas no estado plástico e endurecido;
- c) Outro fator de extrema importância que influencia no desempenho dos revestimentos em argamassa, são as condições ambientais do local onde se constrói e, especificamente neste caso, o clima da região norte com temperaturas acima dos 30°C e umidade relativa superior aos 70% necessita de atenção especial, como por exemplo: o planejamento correto dos horários de assentamento dos revestimentos cerâmicos, o uso de cores mais claras (absorvem menos calor) e a execução da cura do chapisco e da argamassa de emboço são procedimentos que, se executados, diminuiriam bastante a ocorrência de manifestações patológicas;
- d) Finalmente, um problema que é crônico não só no Estado do Pará, mas em todo o Brasil, é a falta de capacitação da mão-de-obra. Este fato é ainda agravado pela pouca importância no que concerne a etapa de execução do sistema de revestimento e mais, devido ao conceito errôneo de que os preceitos pertinentes ao material *concreto* são plenamente extensivos às argamassas sem levar em conta que estas apresentam características e peculiaridades inerentes a sua função, como, por exemplo, não ser necessário resistências elevadas uma vez que elas precisam se deformar para absorver as tensões, provenientes das movimentações da estrutura e da alvenaria.

Em resumo, vê-se que, se em termos de Brasil ainda há muito a pesquisar na temática em questão, na região Norte, este fato é ainda mais premente, pois se deve começar *ainda* a entender as situações que envolvem os revestimentos a partir do uso dos materiais regionais (com suas características e peculiaridades), as dosagens e as particularidades que envolvem o processo construtivo local, principalmente, as condições climáticas.

Neste sentido, o presente trabalho se concentra na avaliação do preparo de base (chapisco) para a aplicação da argamassa de emboço e ainda, a influência deste na resistência de aderência à tração direta da argamassa de emboço: “*in situ*”. Este estudo está inserido na linha de pesquisa de Construção Civil e Materiais, do Programa de Pós-graduação em Estruturas e Construção Civil da Universidade Federal do Pará, particularmente, no tema “Sistemas de Revestimento e de Proteção”.

1.2 OBJETIVOS

Este trabalho tem por objetivo principal avaliar os resultados da resistência de aderência à tração direta da argamassa de emboço sob diferentes tratamentos de base aplicados sobre a alvenaria de bloco cerâmico, “*in situ*”. E como objetivos específicos têm-se:

- a) Avaliar a influência da cura, nos diferentes tratamentos de base, com vista à resistência de aderência à tração da argamassa, aplicada sobre a alvenaria de bloco cerâmico;
- b) Analisar a evolução da aderência nas idades de 7, 28 e 120 dias;
- c) Verificar o desempenho do sistema de revestimento em argamassa, com base na sua estrutura de poros, com vistas a sua aderência, pulverulência e fissuração;

1.3 ESTRUTURAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

Esta dissertação encontra-se estruturado em cinco capítulos, sendo este a introdução que tem um caráter geral de apresentação do tema, indicando os motivos que levaram à pesquisa, a importância, as delimitações e os objetivos desta.

O Capítulo 2 compreende uma revisão bibliográfica sobre o tema destacando, dentre outros assuntos, o tratamento de base e a resistência de aderência da argamassa ao substrato.

O programa experimental é abordado no Capítulo 3, onde são apresentadas as variáveis do estudo necessários para o desenvolvimento da pesquisa, os ensaios de caracterização dos

materiais, os procedimentos dos ensaios empregados na avaliação das propriedades das argamassas.

O Capítulo 4 apresenta a análise e a discussão dos resultados obtidos pelos ensaios provenientes dos tratamentos de base, das propriedades das argamassas e da sua resistência de aderência ao substrato confrontando os resultados obtidos com outros disponíveis na literatura.

Finalizando, tem-se o Capítulo 5, onde são tecidas as conclusões da dissertação, as considerações finais e as sugestões para futuras pesquisas. Após este capítulo, são apresentados seqüencialmente, as referências bibliográficas e os apêndices.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo será apresentada uma revisão da literatura, a partir da qual se vê a importância do tema em questão no tocante primeiramente, a sistemas de revestimentos em argamassa, sua composição e propriedades. Em seguida, será apresentada a revisão da literatura sobre aderência¹ de revestimentos e finalmente, serão abordados alguns tópicos sobre a microestrutura dos materiais e a descrição de métodos para a caracterização dos espaços porosos.

2.1 SISTEMA DE REVESTIMENTO EM ARGAMASSA

A NBR 13529 (ABNT, 1995), define sistema de revestimento em argamassa como o “conjunto formado por revestimento em argamassa e acabamento decorativo, compatível com a natureza da base, condições de exposição, acabamento final e desempenho previsto em projetos”.

Outra definição encontrada na norma supracitada é: “o cobrimento de uma superfície com uma ou mais camadas superpostas de argamassa, apto a receber acabamento decorativo ou constituir-se em acabamento final”. Essa superfície é constituída de elementos de vedação sobre os quais o revestimento em argamassa é aplicado. Entretanto, nem sempre o revestimento é constituído apenas de argamassa, havendo a possibilidade de várias combinações, devido ao grande número de sistemas de revestimento disponíveis no mercado (ARAÚJO JR, 2004).

2.1.1 Substrato (base)

Ordinariamente, os revestimentos em argamassa são sempre aplicados sobre uma base ou substrato formando um conjunto bem aderido e contínuo, necessário ao atendimento do desempenho global do sistema. O substrato, ou base, onde o revestimento é aplicado pode ser classificado da seguinte forma:

¹ É a propriedade de o revestimento manter-se fixo ao substrato, por meio da resistência às tensões normais e tangenciais que surgem na interface base-revestimento. É resultante da resistência de aderência à tração, da resistência de aderência ao cisalhamento e da extensão de aderência da argamassa.

1. Conforme sua função dentro da estrutura: (estrutural e/ou vedação);
2. Pela natureza dos materiais constituintes: alvenaria de blocos cerâmicos, blocos de concreto, blocos de concreto celular; elementos estruturais em concreto (pilares, vigas e lajes) e
3. Por suas características físicas: textura, porosidade, capacidade de sucção de água (absorção capilar), propriedades mecânicas.

As propriedades mecânicas do substrato, particularmente dos elementos que compõem a alvenaria e a estrutura, são fundamentais, uma vez que influem nas características de suporte e ancoragem para os sistemas de revestimento.

Paes (2004), afirma que essas características físicas exercem grande influência na velocidade e quantidade da água transportada da argamassa fresca para o substrato e, conseqüentemente, na alteração da microestrutura da argamassa na região de contato.

As propriedades de uniformidade do substrato principalmente quanto à capacidade e velocidade de sucção da base, além das movimentações de origem térmica ou higroscópicas e cíclicas, são importantes, pois estas podem causar movimentações diferenciadas proporcionando a fissuração dos revestimentos (SELMO, 1989 e CANDIA, 1998).

Diversos estudos, como por exemplo, Scartezini (2002) e Leal (2003) buscam parâmetros do substrato, tais como, absorção de água e rugosidade superficial que modelem seu comportamento com relação às características de desempenho dos revestimentos, em especial, a resistência de aderência à tração, isto porque, a capacidade de sucção dos blocos influi diretamente no transporte e na formação dos produtos de hidratação na interface entre os materiais (argamassa e base).

Neste sentido, Carasek (1996) concluiu que a capacidade de sucção e a porosidade na interface argamassa/substrato propiciam o transporte dos elementos de hidratação, ocasionando uma melhor ancoragem da argamassa, principalmente devido à ação da etringita, a qual provoca o **intertravamento** dos cristais no interior dos poros.

Possivelmente, por meio de sua capacidade de absorção, o substrato pode ser o maior responsável pela perda de água da argamassa pós-aplicação. As suas características superficiais de textura (rugosidade) e de porosidade como: diâmetro, estrutura, volume e distribuição de poros, influem diretamente no transporte de água da argamassa (BAUER, 2005).

As rugosidades são pontos de ancoragem da argamassa aplicada, auxiliando na aderência, por aumentarem a área de contato com a argamassa aplicada, melhorando potencialmente as condições de aderência, no caso de substratos muito lisos. Neste caso, deve-se sempre preparar as superfícies com o intuito de torná-las adequadamente rugosas (CANDIA, 1998).

A porosidade é outro aspecto da base, de fundamental importância por influenciar no transporte de água (absorção ou sucção da água da argamassa), principalmente nos momentos iniciais pós-aplicação. Este transporte influencia sobremaneira, nas propriedades da argamassa de revestimento, afetando principalmente o tempo de *sarrafeamento*², atuando também sobre a aderência revestimento-substrato.

Porosidade é uma variável microestrutural que deve ser controlada na produção de materiais como os blocos cerâmicos. Resistência mecânica, capacidade de suportar carga, e resistência ao ataque pelos materiais corrosivos todas elas crescem com a redução da porosidade. Ao mesmo tempo, características de isolamento térmico e resistência ao choque térmico são diminuídas com a redução da porosidade. Naturalmente, a porosidade ótima depende das condições de serviço (CALLISTER, 2002).

Neste sentido, a sucção de água deve ser controlada de forma a apresentar índices médios de sucção, de acordo com a natureza de cada substrato (BAUER, 2005). Cabe ressaltar que essa absorção, dos componentes líquidos da argamassa pelo substrato, não se restringe somente à água, mas também aos componentes de hidratação do cimento dissolvidos na água de amassamento.

Carasek (1997), pesquisando a influência do tipo de substrato no desempenho de revestimento de argamassa verificou que os blocos de concreto, juntamente com os blocos cerâmicos

² A atividade do *sarrafeamento*, consiste no aplainamento da superfície revestida, utilizando uma régua de alumínio apoiada nos referenciais de espessura, descrevendo um movimento de vaivém de baixo para cima.

portantes, apresentaram melhor resistência de aderência, seguidos pelos blocos de concreto leve e sílico-calcário. E por fim, os substratos de blocos cerâmicos de vedação e blocos de concreto celular autoclavado. Cabe ressaltar que no referido estudo, não foi analisada a resistência de aderência em substratos de concreto estrutural.

Kazmierczak *et al.* (2007), analisaram a influência das características da base na resistência de aderência à tração e na distribuição de poros de uma argamassa, utilizando bloco cerâmico de vedação, bloco de concreto e tijolo maciço, e constataram que os substratos utilizados possuem diferentes propriedades físicas, evidenciadas por uma sensível diferença na distribuição de poros, na resistência à compressão e na absorção de água.

2.1.2 Tratamento de Base - Chapisco

Para melhorar a resistência de aderência entre o substrato e o revestimento, muitas vezes é necessário realizar um tratamento prévio do substrato. A essa operação denomina-se preparo de base. Esse deve ser escolhido em função das características superficiais do substrato e executado usando-se materiais e técnicas apropriadas para efetivamente melhorar as condições de aderência do revestimento, principalmente criando uma superfície com rugosidade apropriada e regularizando a capacidade de absorção inicial da base (CANDIA, 1998).

Com a finalidade de melhorar e adaptar o substrato para receber o revestimento, emprega-se rotineiramente o chapisco, o qual tem por objetivo melhorar as condições de aderência da primeira camada do revestimento ao substrato, em situações críticas basicamente vinculadas a dois fatores:

- a) limitações na capacidade de aderência da base: quando a superfície é muito lisa ou com porosidade inadequada, por exemplo quando a superfície a revestir for parcial ou totalmente não absorvente (de pouca aderência) ou quando a base não apresentar rugosidade superficial;
- b) revestimento sujeito a ações de maior intensidade: os revestimentos externos em geral e revestimentos de teto.

A NBR 7200 (ABNT, 1998) prescreve o uso do chapisco quando a base a ser revestida apresentar baixa aderência ou não apresentar rugosidade superficial. Vale ressaltar que o chapisco não é considerado como uma camada do revestimento e sim uma etapa na preparação do substrato tendo como característica sua espessura irregular, sendo necessário ou não, conforme a natureza da base.

O chapisco, como um dos elementos de preparação de base, tem as suas peculiaridades. Primeiramente ele deve ter aderência ao substrato. Isso se consegue pela formulação de dosagem, empregando-se, em geral, uma argamassa de significativo consumo de cimento (traço 1:3 a 1:5, cimento:areia de média a grossa em volume, usualmente). Essa dosagem rotineiramente costuma apresentar valores aceitáveis de aderência, embora o resultado não dependa somente da argamassa de chapisco, mas de outros fatores como a natureza do substrato, sendo esta, definida pela natureza dos materiais constituintes: alvenaria de blocos cerâmicos, blocos de concreto, blocos de concreto celular; elementos estruturais em concreto (pilares, vigas e lajes).

Quanto à sua composição, os chapiscos podem ser considerados convencionais ou modificados com polímeros. Além da sua composição, podem ser divididos de acordo com os métodos de sua aplicação, onde os mais comuns são ilustrados na Figura 2.1 (*a, b e c*).



Figura. 2.1 a) Chapisco convencional (cimento, agregado e água), chapado (lançado no substrato com colher de pedreiro (CEOTTO *et al.*, 2005).



Figura. 2.1 b) Chapisco rolado, aplicado com rolo de espuma (CEOTTO *et al.*, 2005).



Figura. 2.1 c) Chapisco colante, aplicado com desempenadeira dentada (CEOTTO *et al.*, 2005).

A argamassa de chapisco deve ser aplicada com consistência fluida no caso de chapisco tradicional ou convencional de cimento e areia, assegurando maior facilidade de penetração da pasta de cimento na base a ser revestida e melhorando a aderência na interface revestimento-base (NBR 7200 ABNT, 1998)

A consistência fluida do chapisco convencional propicia uma capacidade de adesão à base a ser revestida, bem como, facilita o transporte de pasta de cimento aos poros e capilares do substrato, adquirindo rapidamente resistência mecânica e formando uma camada rugosa propiciando a ancoragem da argamassa de revestimento, fator que influencia sobremaneira, no desempenho de todo o conjunto do sistema de revestimento.

A desvantagem da utilização do chapisco convencional é a alta variabilidade na espessura, no espalhamento sobre os substratos e na sua composição, principalmente na quantidade de água.

Pois, o chapisco preparado em obra, em geral, é produzido sem controle de água na sua mistura, gerando variações das suas características (RECENA, 2008).

Quanto à espessura média, esta se situa próxima a 5 mm, dependendo das características granulométricas da areia empregada. Não sendo recomendável usar espessuras muito maiores do que a mencionada, nem promover uma textura excessivamente rugosa de forma a gerar vazios quando em contato com a argamassa de emboço e que pode ocasionar diminuição da resistência de aderência (BAUER, 2005).

Além da textura, o chapisco tem a função de regular a capacidade de sucção de água por parte do substrato. Assim, substratos de elevada sucção (alvenarias de concreto celular e de blocos de concreto) têm no chapisco um elemento que diminui a intensidade do transporte de água das argamassas para o substrato. Por outro lado, substratos de baixa sucção (elementos estruturais em concreto, bloco cerâmico), necessitam do chapisco como elemento incrementador da sucção de água da argamassa, para possibilitar o desenvolvimento adequado da aderência do revestimento (LEAL, 2003).

Outra peculiaridade do chapisco é a necessidade da utilização de cura úmida, principalmente em climas quentes e secos. Bauer (2005) relata resultados satisfatórios pelo emprego de névoa sobre o chapisco. A duração da cura (ou seja, manter o chapisco molhado) deve ser no mínimo de 24 horas, recomendando-se estendê-la para 48 horas em condições de clima quente e seco. Falhas de cura, geralmente são: pulverulência, fissuração intensa e desagregação. Quanto à aplicação do chapisco ao substrato, existem duas tipologias clássicas denominadas de: chapisco aberto e chapisco fechado, conforme ilustra a Figura 2.2.

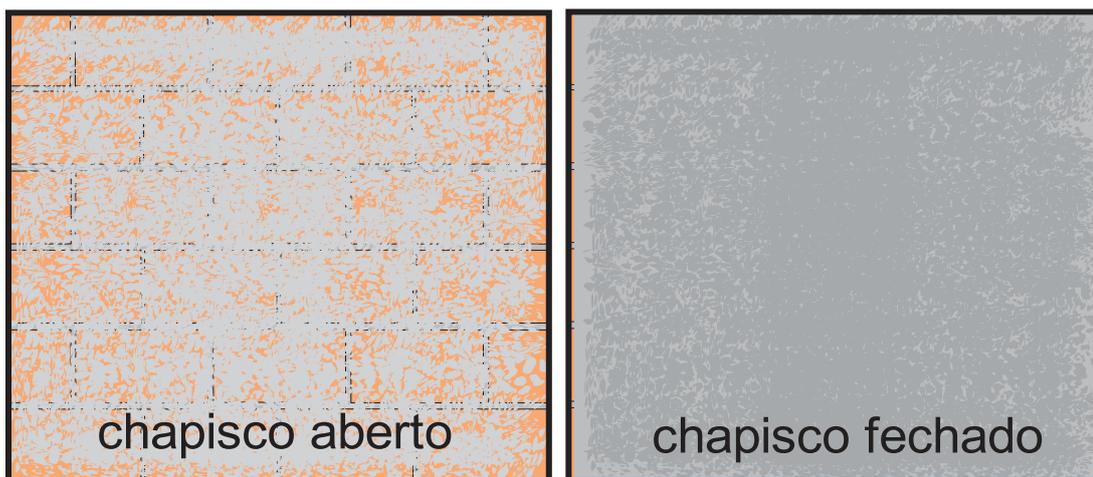


Figura. 2.2 – Tipologias de chapisco: aberto e fechado.

O chapisco aberto consiste, em quando da aplicação, obter-se uma “camada rala”, onde se alternam aleatoriamente regiões onde o chapisco é aplicado e regiões onde se visualiza a superfície do substrato. Obtêm-se neste caso uma condição em que se incrementa, de uma forma geral, a textura do substrato, com a finalidade de aumentar a rugosidade do substrato, sem se atuar sobre o controle do transporte de água da argamassa aplicada para o substrato.

Para a tipologia do chapisco fechado, já se tem a situação em que a aplicação envolve toda a superfície do substrato, obtendo-se um aspecto uniforme e rugoso (não se visualiza o substrato), sendo utilizado quando se necessita do controle da absorção (chapisco sobre elementos estruturais em concreto, por exemplo). A aplicação de cada tipologia é particular ao que se pretende com a aplicação do chapisco.

Superfícies lisas e muito pouco porosas como peças estruturais de concreto desfavorecem a aderência dos revestimentos por dificultar, respectivamente, a microancoragem proporcionada pelo transporte da água e produtos de hidratação aos poros do substrato, e macroancoragem proporcionada por uma maior superfície de contato conseguida por meio do aumento da rugosidade (MOURA 2007).

Assim, essas peculiaridades do chapisco demonstram suas características benéficas ao sistema de revestimento em argamassa como um todo, influenciando principalmente a sua resistência de aderência.

Neste sentido, Kazmierczak *et al.* (2007), tiveram como objetivo determinar a diferença de propriedades de uma argamassa quando aplicada sobre substratos com características distintas, e observaram que o uso de chapisco alterou a distribuição de poros da argamassa, e também propiciou aumento na resistência de aderência à tração em dois tipos de substrato (bloco cerâmico e de concreto).

Candia (1998) verificou que na maioria dos casos, com substratos de alvenaria de blocos cerâmicos e estruturas de concreto, o preparo de base pelo uso do chapisco é essencial para se melhorar a resistência de aderência. Sobre superfícies de concreto o emprego de chapisco é de fundamental importância, não podendo ser dispensado (RECENA, 2008). Porém, seu uso é também vantajoso em alvenarias. Angelim (2003) observou que alvenarias cerâmicas apresentaram resistência de aderência em torno de 60% superior quando chapiscadas.

Como se pode ver, diversos estudos têm demonstrado que a utilização de chapisco favorece a resistência de aderência da argamassa de revestimento ao substrato. Em geral, pode-se observar que há um consenso entre os diversos autores quanto à necessidade da utilização deste elemento independentemente do tipo de substrato empregado.

2.1.3 Revestimento de Argamassa

Os revestimentos à base de argamassa são compostos, basicamente, pelas camadas de emboço e/ou reboco ou pelos revestimentos em camada única. O emboço, conforme a NBR 13529 (ABNT, 1995), é a camada de revestimento executada para cobrir e regularizar a superfície da base ou chapisco, propiciando uma superfície que permita receber outra camada, de reboco ou de revestimento decorativo, ou se constitua no acabamento final. Neste último caso, se o próprio emboço se torna o acabamento final, o revestimento é considerado de camada única.

O emboço é o corpo do revestimento, por ser a camada principal, mais espessa e responsável pela ancoragem dos materiais subseqüentes do revestimento, como reboco, pinturas, cerâmicas, mármore, granito, placas laminadas, revestimentos têxteis, papel de parede, dentre outros (CORTEZ, 1999). A NBR 13749 (ABNT, 1996) indica os limites de espessura para os revestimentos, conforme mostrado na Tabela 2.1.

Tabela 2.1 – Espessuras admissíveis para o revestimento de argamassas (NBR 13749: ABNT, 1996).

Revestimento	Espessura (mm)
Parede interna	$5 \leq e \leq 20$
Parede externa	$20 \leq e \leq 30$
Tetos internos e externos	$e \leq 20$

Na prática, é quase impossível evitar que aconteçam variações na espessura do revestimento de argamassa de um edifício, principalmente em fachadas externas, por maior que seja o cuidado na obtenção de prumo³ e planeza⁴ na execução da estrutura e da alvenaria, bem como na execução de *taliscamento*⁵. Em alguns casos, são encontradas espessuras bem superiores a 30 mm, conforme mostrado na Figura 2.3, muitas vezes executado para corrigir o prumo não alcançado em etapas anteriores.



Figura 2.3 – Revestimentos em argamassa, empregados em fachadas, com grandes espessuras (BAUER, 2000).

³ A perda de prumo não deve ultrapassar $L/200$, sendo L a altura total da parede.

⁴ A verificação de planeza da superfície deve ser feita com régua metálica de no mínimo 2m de comprimento não admitindo-se variações superiores a 0,02m em 2m ou 1% para alvenaria de blocos cerâmicos, e 0,01m em 2m ou 0,5% para alvenaria de bloco de concreto.

⁵ O *taliscamento* é a etapa seguinte à definição da espessura do revestimento, consistindo na fixação de cacos cerâmicos, com a mesma argamassa utilizada para o revestimento, em pontos específicos e respeitando a espessura definida.

A Figura 2.3 mostra um caso localizado no Distrito Federal, porém, infelizmente, comum na maioria das obras em nível nacional. Esses revestimentos, com elevada espessura, podem ocasionar problemas não só de sobrecargas na estrutura, como também de fissuração causada pela retração da argamassa.

Cincotto *et al.* (1995), destacam que as condições de desempenho de um revestimento de argamassa são afetadas por diversos fatores; estes fatores classificam-se em extrínsecos e intrínsecos e distribuem-se por várias fases do processo de produção, uso e manutenção.

Os extrínsecos são relacionados às solicitações sobre o sistema de revestimento, enquanto os intrínsecos são os que se relacionam com as propriedades e aos atributos de materiais, componentes e sistemas.

Os principais fatores intrínsecos que definem o comportamento dos revestimentos são: a natureza, a granulometria e a proporção dos materiais constituintes, procedimentos de preparação dos substratos de aplicação, propriedades destes substratos, qualidade de execução e espessura final dos revestimentos (SANTOS, 2003).

A argamassa de revestimento, em especial a aplicada sobre fachadas, sofre de maneira intensa a ação da perda de água de amassamento pela ação conjunta da sucção na face de contato com o substrato e, em decorrência da sua superfície exposta aos agentes climáticos ser muito extensa em relação ao seu volume, ocorre à movimentação de água para o meio externo e entre materiais distintos e porosos, como é o caso da interface substrato/argamassa.

O transporte de água em meios porosos ocorre por mecanismos complexos que atuam simultaneamente com outros processos de transporte ou com as reações químicas que acontecem em condições não saturadas, tais como a carbonatação. Um desses mecanismos ocorre quando o teor de umidade é muito baixo, não existindo continuidade dos líquidos no seu interior, e nesse caso a umidade em forma de vapor de água se transfere devido a gradientes de pressão de vapor existentes nos poros.

Nessa situação, a água se move também devido a gradientes de temperatura, sendo o fluxo de calor e umidade interdependentes (HALL, 1977). A Figura 2.4 apresenta um modelo

simplificado dos mecanismos envolvidos nas trocas de umidade de um poro com o meio exterior (ANDRADE *et al.*, 1999):

Processo I – evaporação e condensação;

Processo II – difusão de vapor de água através dos espaços vazios (ar) ou difusão da fase líquida através das paredes dos poros; e

Processo III – trocas com o exterior por meio da absorção/dessorção de água líquida ou vapor de água.

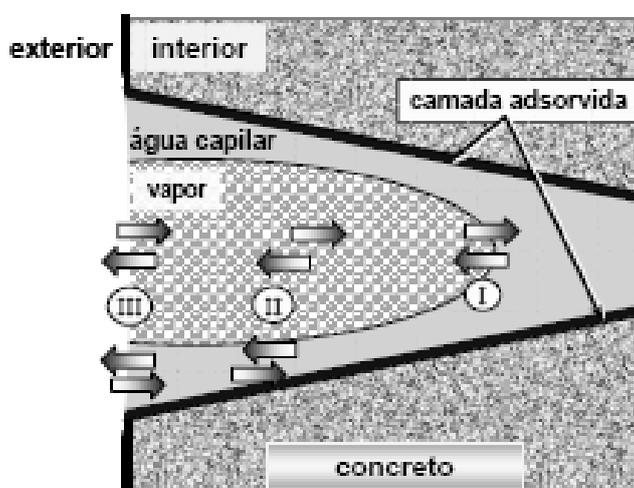


Figura 2.4 – Representação esquemática de um poro sob processo de transporte de umidade (ANDRADE *et al.*, 1999).

Na fase vapor a difusão e os movimentos convectivos no interior dos poros condicionam o transporte. Na fase líquida a capilaridade⁶, a gravidade e o efeito dos gradientes de pressão externa comandam a transferência de umidade.

Em muitos materiais, particularmente nos materiais a base de cimento, as transferências de umidade ocorrem durante a vida inteira (BAROGHEL-BOUNY, 1994 e BAROGHEL-BOUNY *et al.*, 1999). No caso das argamassas de revestimento quando expostas às condições climáticas, devido à sua estrutura porosa, estas são capazes de fixar e transferir umidade tanto na fase líquida quanto na fase de vapor.

⁶ A capilaridade é um fenômeno físico resultante das interações entre as forças de adesão e coesão da molécula de água. É graças a capilaridade que a água desliza através das paredes de tubos ou desliza por entre poros de alguns materiais

A umidade na forma de vapor é fixada nos poros da argamassa pelos processos de adsorção física e condensação capilar. Em condições isotérmicas a água fixada é transportada para o interior do material por meio de mecanismos que dependem principalmente das dimensões do poro e da umidade relativa. Na fase líquida, a água é transferida para o interior do material predominantemente pelo processo de capilaridade.

O fenômeno da capilaridade está relacionado com a tensão superficial e baseia-se na existência de dois tipos de forças que competem entre si, forças intermoleculares de coesão entre moléculas iguais do líquido e forças intermoleculares de adesão entre moléculas do líquido e dipolos existentes na superfície interna do capilar. A capilaridade é limitada pela gravidade e pela dimensão do capilar, este, quanto mais fino, mais a capilaridade vai “puxar” a água. Este fenômeno gera interfaces curvas entre o fluido (água) e o ar contido no interior dos poros, como mostra a Figura 2.5.

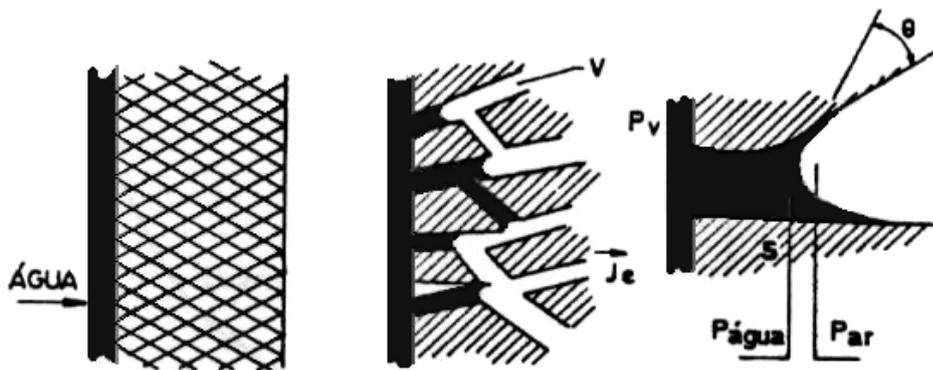


Figura 2.5 – Fenômeno da capilaridade (FREITAS, 1992).

2.1.4 Transporte de água pela teoria de poros não saturados

Na teoria de fluxo não saturado, a água é absorvida em um sólido poroso espontaneamente devido a esta diminuir sua energia potencial. A água dentro deste sólido redistribui-se naturalmente a fim de alcançar um potencial energético mais baixo, predominantemente, pela ação de forças capilares (HALL, 1977). De acordo com o referido autor:

“O ar que ocupa os poros do material é parcialmente deslocado pela água absorvida e, naquelas superfícies que não são imersas, ocorre evaporação. Por fim, se estabelece um balanço entre a perda por evaporação e a absorção de água. Dessa forma, o fluxo e esta distribuição de água dentro do material se tornam estáveis ou tendem ao equilíbrio. A evaporação ocasiona resfriamento nas superfícies externas e, como resultado, ocorre fluxo de calor dentro do material. O desenvolvimento de

gradiente de temperatura modifica o fluxo de água. Sais solúveis dentro do material são progressivamente dissolvidos e depositados na superfície como consequência da evaporação” (HALL,1997).

Segundo Paes (2004), a argamassa inicialmente fresca representa, nos instantes iniciais, um sistema de poros saturados de água, cujo raio médio é variável com o tempo, conforme vai se processando a sucção desta água pelo substrato e por evaporação para o meio ambiente. Com o passar do tempo, a argamassa passa inicialmente de um sistema de poros saturados para um sistema de poros não saturados.

Já o substrato, representa, primeiramente, um sistema de poros não saturados, que em contato com a água da argamassa fresca, na região de contato (interface), acaba por se tornar um sistema de poros saturados. Posteriormente, ambos (argamassa e substrato) acabam por se tornar um meio poroso não saturado, conforme a água da argamassa seja “consumida” na hidratação dos compostos do cimento. “O entendimento desse fenômeno passa pela análise do processo ao longo do tempo, com base não somente na argamassa ou no substrato, mas na interação de ambos” (PAES, 2004).

As argamassas de revestimento demandam características, exigências e definições completamente específicas, e que, por sua vez, estão diretamente relacionadas à movimentação de água entre a argamassa no estado fresco e o substrato absorvente.

Para isso, a argamassa deve apresentar características adequadas de trabalhabilidade, consistência, plasticidade, coesão e reologia⁷, com fluidez necessária à execução do revestimento, assim como boa capacidade de retenção de água e adesão. Essas características das argamassas, quando em contato com o substrato poroso, serão, possivelmente, as principais responsáveis pelo desempenho dos revestimentos, podendo influir em problemas sérios que estes possam vir a apresentar, tais como: retração, fissuração, descolamento, manchas e outros (PAES *et al.*, 2003).

⁷ Reologia é uma área da física que analisa as deformações ou as tensões de um material provocadas pela aplicação de uma tensão ou deformação. O material pode estar tanto no estado líquido, gasoso quanto no estado sólido. O escoamento de um fluido que pode estar no estado gasoso ou líquido, é caracterizado por leis que descrevem a variação contínua da taxa ou grau de deformação em função da tensão aplicada.

De acordo com Groot (1988), a quantidade de água removida e a de água que ficou na argamassa exercem influência significativa nas propriedades do revestimento endurecido, uma vez que o aglomerante desempenhará o seu papel em função do conteúdo de água resultante após a remoção por absorção e evaporação. A perda de água por sucção da base, nos primeiros minutos pode representar 50 a 60% da perda total de água, dependendo da combinação entre o substrato e argamassa. O substrato, por meio de sua capacidade de absorção de água, é considerado o maior responsável pelo transporte de água nos momentos de pós-aplicação da argamassa.

Essa absorção é um mecanismo rápido e de curta duração e influencia no processo de endurecimento da argamassa e nas características mecânicas dos revestimentos, principalmente na resistência de aderência à tração, visto que maiores valores de resistência de aderência são, em geral, atribuídos à maior penetração da pasta aglomerante na estrutura porosa do substrato (GROOT, 1993).

Carasek (1996), completa que é de maior interesse a porosidade aberta da base, de diâmetro compreendido entre 0,1 e 20 μm , com capacidade potencial de sucção da água das argamassas. Mas, a interação poros da argamassa com os poros da base é complexa, pois os poros capilares que contribuem para a sucção de água podem não contribuir para a remoção de água da argamassa, sendo que esta transporta também elementos provenientes da hidratação do cimento e compostos de aditivos, quando estes são utilizados.

Segundo Ohama (1998) e Rossignolo (2005), a redução da porosidade e do tamanho dos poros na matriz de cimento modificada com látex SBR ocorre, principalmente, devido ao preenchimento dos vazios pelo filme polimérico durante o processo de coalescência do látex e ainda pela interação química entre algumas partículas de polímero e os íons Ca^{2+} liberados durante o processo de hidratação do cimento, reduzindo, assim, a quantidade de Ca^{2+} disponível para a formação do CH (Ca(OH)_2), o qual seria o produto de hidratação do menos resistente.

2.1.5 Ação conjunta da evaporação e da sucção

Na maioria dos casos, nas primeiras horas após o contato entre a argamassa e o substrato poroso, a perda de água por sucção é mais intensa do que a evaporação. Esse acontecimento está ligado ao fato de que após a aplicação da argamassa sobre substrato poroso ocorre a diminuição da fração de água perdida por evaporação, mas aumenta a perda de água total devido à atuação dos dois fatores em conjunto. Analisando de outra forma, pode-se dizer que as argamassas aplicadas sobre bases não porosas ou pouco porosas são mais sensíveis à ação do meio ambiente quanto à perda de água inicial por evaporação (DÉTRICHÉ *et al.*, 1983 e DÉTRICHÉ e MASO, 1986).

Em condições usuais de obra, a absorção capilar da base praticamente se anula entre duas e três horas após a aplicação da argamassa, mas a evaporação continua após este período (DÉTRICHÉ *et al.*, 1985).

Quando um material poroso permanece exposto por tempo suficiente a condições constantes de umidade e temperatura, devido ao fenômeno da difusão, seu teor de umidade acabará se estabilizando, atingindo então a umidade higroscópica de equilíbrio desse material. Essa umidade depende da natureza e quantidade de capilares presentes no material, assim como da temperatura e umidade do meio ambiente.

Dessa maneira, quando dois materiais diferentes são colocados em contato, o material de poros mais fechados, teoricamente, absorverá água do material com poros mais abertos.

Na prática, os materiais normalmente contêm poros de variadas aberturas, sendo o sentido de percolação da água, através dos mesmos, determinado pela diferença do teor de umidade do material. Devido a esse fato, torna-se extremamente difícil estabelecer o sentido da percolação da água entre os materiais.

Dentro desse contexto, Paes (2004) coloca que o fluxo de água entre os dois sistemas (absorção pelo substrato e evaporação) depende do diâmetro dos poros do substrato, do

conteúdo de água da argamassa, que é variável ao longo do tempo, das condições de evaporação e do grau de *colmatação*⁸ dos poros da argamassa.

Devido à forma de exposição severa que o revestimento de argamassa é submetido, toda a avaliação das potencialidades desse tipo de material quanto à variação de massa, retração e desenvolvimento de propriedades mecânicas deve passar não só pela caracterização do material isoladamente, sem considerar sua interação com outras partes da construção, como também pelo estudo do seu desempenho considerando sua aplicação no substrato e, também, o meio. A capacidade de sucção da base, o maior ou menor poder de retenção de água da argamassa e as condições climáticas são, portanto, fatores a serem analisados conjuntamente em estudos que simulem uma situação real de aplicação da argamassa.

2.2 PROPRIEDADES DO REVESTIMENTO DE ARGAMASSA

As propriedades físico-mecânicas das argamassas podem ser divididas em duas categorias, sendo estas de natureza adesiva e de natureza aglomerante. A primeira refere-se à capacidade da argamassa aderir-se ao substrato, ou seja, promover a resistência de aderência. Já a propriedade aglomerante refere-se aptidão da argamassa promover uma consolidação interna, entre o aglomerante e o agregado, onde se desenvolvem as demais propriedades físico-mecânicas como: a resistência à compressão, a resistência à tração, permeabilidade e a capacidade de absorver deformações. Ou seja, essas propriedades físico-mecânicas estão vinculadas à estrutura interna da argamassa, onde o agregado é envolvido pelo aglomerante formando a estrutura interna da argamassa de revestimento (ARAÚJO JR, 2004).

Ambas as categorias são dependentes dos materiais constituintes da argamassa, além da quantidade utilizada de cada um destes na produção da argamassa. Deve ser lembrado que tanto as propriedades adesivas como as aglomerantes se desenvolvem em um sistema com forte sucção de água da argamassa pelo substrato (GONÇALVES, 2004).

⁸ Deposição de partículas finas, como argila ou silte, na superfície e nos interstícios de um meio poroso permeável, reduzindo-lhe a permeabilidade.

2.2.1 Propriedades aglomerantes

O cimento quando é hidratado desenvolve propriedades ligantes, devidas às reações químicas entre os materiais do cimento e a água. Em outras palavras, na presença de água, os silicatos e os aluminatos formam produtos de hidratação que possuem características de pega e endurecimento, que com o transcorrer do tempo dão origem à pasta de cimento endurecida (MEHTA e MONTEIRO, 2008 e NEVILLE, 1997).

A fonte principal de resistência entre os produtos sólidos da pasta é a existência de atração de Van der Waals. A adesão entre duas superfícies sólidas pode ser atribuída a estas forças de natureza física, sendo o grau de ação aderente dependente da extensão e natureza das superfícies envolvidas.

Além dos sólidos presentes na pasta, há também os vazios capilares que representam o espaço não preenchido pelos componentes sólidos da pasta e são dependentes da quantidade de água misturada com o cimento no início da hidratação e do grau de hidratação do cimento. Com relação à zona de transição entre pasta e agregado, pode-se dizer que a água de amassamento forma uma película ao redor do agregado, tornado esta região com uma alta relação água/cimento, que promoverá uma estrutura mais porosa nesta região do que na pasta.

Além desta porosidade, estão presentes na zona de transição microfissuras que também são responsáveis pela baixa resistência desta região. A quantidade de microfissuras é função da distribuição granulométrica e tamanho do agregado, teor de cimento, relação água/cimento, condições de cura, entre outros. Como a resistência de um material está baseada na parte sólida deste, os vazios são prejudiciais à resistência; logo, a resistência da argamassa vai depender da quantidade de vazios (porosidade) presentes nela, onde, no caso do concreto, a zona de transição é a região mais fraca (MEHTA e MONTEIRO, 2008).

2.2.2 Resistência de aderência dos revestimentos

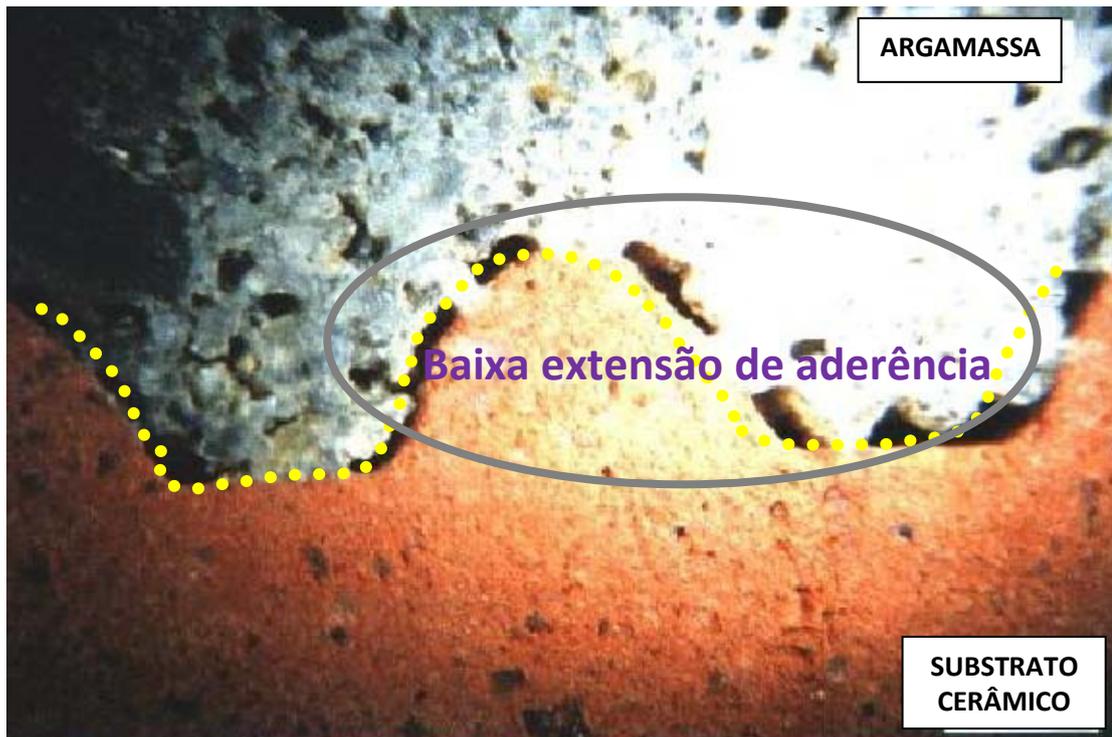
Diversos fatores exercem influência sobre as propriedades das argamassas, isso pode ocorrer desde a mistura. Parâmetros como energia, tempo, forma e seqüência de mistura influenciam

as propriedades da argamassa e foram estudados por diversos autores (CINCOTTO, *et al.*, 1995; NAKAKURA e CINCOTTO, 2001; CARVALHO, 2004; ANTUNES, 2005).

A aderência entre argamassa e substrato pode ser definida como o resultado da união das propriedades de resistência de aderência à tração da camada de revestimento, de resistência de aderência ao cisalhamento e da extensão de aderência entre as superfícies (SABATINI, 2005; SCARTEZINI, 2002; SELMO, 1989; GONÇALVES, 2004).

Pode-se dizer que a aderência depende da conjunção de três propriedades da interface argamassa-substrato: a resistência de aderência à tração, a resistência de aderência ao cisalhamento e a extensão de aderência (que corresponde à razão entre a área de contato efetivo e a área total possível de ser unida), sendo estas, propriedades da região de contato entre os dois materiais (CARASEK, 1996).

Segundo Carasek (1996), uma satisfatória extensão de aderência (maior área de contato) beneficia os mecanismos de aderência, caso a mesma seja contínua e prolongada ao longo de toda a interface argamassa-substrato. A Figura 2.6 (a / b) ilustra uma região de baixa e alta extensão de aderência de duas argamassas: a primeira (2.6a) composta de cimento e areia na proporção (1:3, em volume) e a outra (2.6b) sendo uma argamassa mista (cimento, cal e areia, em volume) na proporção 1:1:6, respectivamente, ambas aplicadas sobre bloco cerâmico. A imagem foi obtida por meio da utilização de uma lupa estereoscópica com ampliação de 20 vezes (CARASEK, 1996).



(a)



(b)

Figura 2.6 - Interface argamassa substrato cerâmico: a) Região de baixa extensão de aderência; b) Região de alta extensão de aderência (CARASEK, 1996). Adaptado.

Segundo CARASEK *et al.* (2001), a aderência entre a argamassa de revestimento e o substrato é um fenômeno essencialmente mecânico, devido à penetração da pasta aglomerante

e argamassa nos poros e na rugosidade do substrato (Figura 2.7). Quando a argamassa no estado plástico entra em contato com a base absorvente, parte da água de amassamento, que contém em dissolução ou estado coloidal componentes do aglomerante, penetra pelos poros e cavidades do substrato, de modo que ocorre a precipitação de produtos de hidratação do cimento no seu interior, exercendo ação de ancoragem da argamassa à base.

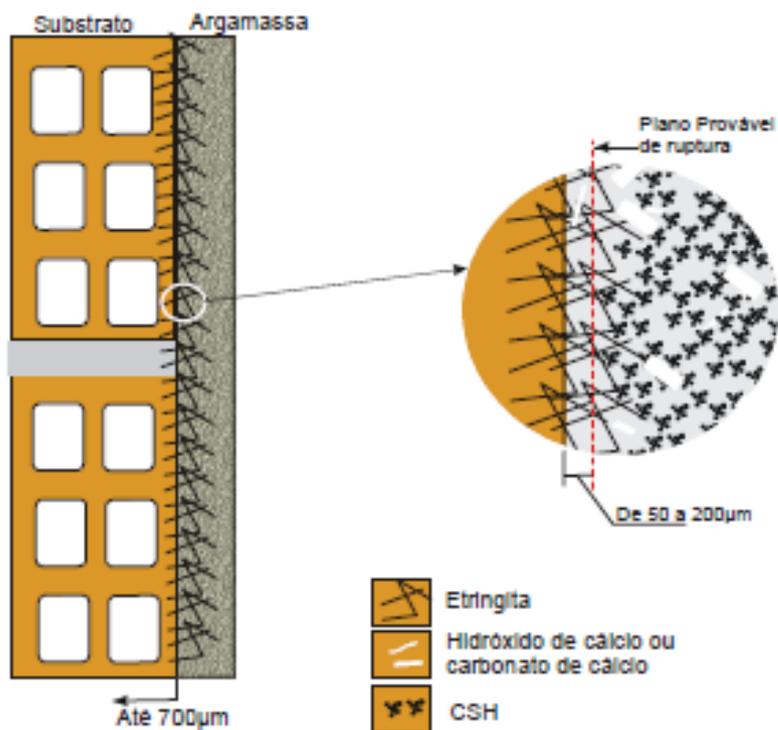


Figura 2.7 - Representação esquemática do mecanismo de aderência entre argamassa e bloco cerâmico. Fonte: CASAREK (2001)

Além do fenômeno mecânico, podem contribuir para a aderência, porém em pequena proporção, as forças de adesão na superfície dos materiais, dadas pelas forças de Van der Waals e ligações polares covalentes entre as partículas na interface, e também a aderência química possivelmente proveniente da reação pozolânica entre a cal e a superfície dos blocos cerâmicos (SCARTEZINI, 2002).

Com relação à microestrutura da interface argamassa/substrato, Carasek (1996), com o auxílio de um microscópio eletrônico de varredura, confirmou por meio de estudos que a aderência

decorre do intertravamento de cristais de etringita⁹ no interior dos poros do substrato cerâmico. O mesmo resultado foi obtido por Polito *et al.* (2009) ao analisarem uma interface argamassa/substrato cerâmico onde cristais típicos de etringita saíam de dentro dos poros de um tijolo, formando cristais perpendicularmente à superfície agrupando as fitas típicas em feixes radiais (Figura 2.8).

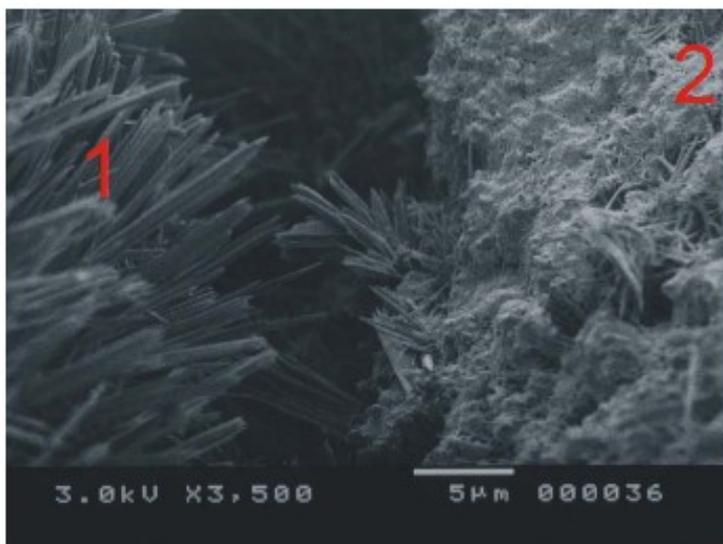


Figura 2.8 - Fotomicrografia da interface argamassa(1)/tijolo(2) do traço 3 – 1:2:8. IES.

Fonte: POLITO, (2008).

Segundo Polito (2008), o aumento localizado da concentração de etringita se deve ao fato de que, ao se misturar o cimento Portland com a água, a gipsita utilizada como reguladora de pega do cimento dissolve-se e libera íons sulfato e cálcio. Esses íons são os primeiros a entrar em solução, seguidos pelos íons aluminato e cálcio provenientes da dissolução do C₃A do cimento. Devido ao efeito de sucção imposto pelo substrato poroso, estes íons são carregados para o interior dos poros causando a referida ancoragem.

2.2.3 Variabilidade da resistência de aderência

A aderência pode ser medida em relação aos esforços de (a) cisalhamento e (b) tração. Porém, a maioria dos trabalhos sobre revestimentos de argamassa utiliza a resistência de aderência à tração como forma de avaliar essa propriedade (CARASEK, 1996;

⁹ A relação iônica sulfato alumina da solução cimentícia favorece a formação de trissulfato hidratado, também chamado Etringita C₆AS₃H₃₂, formada durante os primeiros estágios da hidratação por cristais prismáticos aciculares ((Mehta e Monteiro, 2008).

CINCOTTO, 1997; CANDIA, 1998, GONÇALVES, 2004, CARVALHO JÚNIOR, 2005; DUAILIBE, *et al.*, 2005).

A resistência de aderência à tração é a tensão máxima suportada por uma área limitada de revestimento (corpo-de-prova) quando submetida a um esforço normal de tração. A NBR 15258 (ABNT, 2010), introduz o conceito de aderência potencial. Esse método estabelece um substrato padrão para aplicação das argamassas, buscando minimizar a influência da base na aderência. Assim, seria possível avaliar apenas a contribuição da argamassa para a aderência, desprezando-se a energia de impacto, a forma de preparo, fatores ambientais entre outros.

Embora aceito no meio técnico, o método normalizado de ensaio de resistência de aderência à tração tem como característica a variabilidade de seus resultados. Cabe ressaltar que esta variabilidade ocorre devido a vários fatores que influenciam na aderência, desde o material, processo de preparo, execução, cura, até a influência de fatores climáticos, não cabendo a variabilidade dos resultados ao ensaio propriamente dito.

O ensaio de resistência de aderência à tração apresenta, normalmente, coeficiente de variação de ordem de 10% a 35 % devido aos fatores inerentes ao procedimento de ensaio que podem interferir no resultado obtido, tais como o ângulo e o equipamento utilizado no corte do revestimento, bem como a forma e da velocidade de aplicação da carga de arrancamento (CARASEK, 1996; GONÇALVES, 2004).

O processo de execução do revestimento, os constituintes das argamassas e as condições climáticas responderam por uma variabilidade de 33% nos valores de resistência de aderência à tração, medidos por Gonçalves (2004). O mesmo autor observou que existe uma grande variação e dispersão dos resultados de resistência devido à fratura para materiais cerâmicos frágeis, como é o caso das argamassas. Os valores de variabilidade intrínseca à fratura das argamassas foram da ordem de 52%.

A explicação para esse fenômeno é que a resistência à fratura é extremamente dependente da probabilidade da existência de um defeito que seja capaz de iniciar um fissura. A probabilidade varia em função da técnica de fabricação do material e seus tratamentos

subseqüentes, maior a probabilidade de existência de defeitos, diminuindo-se assim a resistência à fratura.

Outro fator que exerce influência sobre a resistência de aderência é a forma de preparo das argamassas. Ainda é comum encontrar-se nos canteiros a mistura manual. Esse processo tem baixa eficiência comparada ao processo mecânico, sendo necessário acrescentar-se mais água ou mais aditivo incorporador de ar para aumentar a trabalhabilidade (ANTUNES, 2005).

Durante a aplicação, outra fonte de variação observada é a energia utilizada no lançamento da argamassa. Há a predominância em obra do processo manual. A energia empregada na compactação oriunda desse processo é bastante variável devido a fatores como: força do oficial pedreiro, massa da porção lançada; ângulo do impacto com a base e altura do lançamento (ergonomia) (GONÇALVES, 2004).

O processo manual de aplicação da argamassa também influencia na espessura da camada aplicada, que por sua vez, afeta a secagem da argamassa. Quanto menor o comprimento dos poros capilares, maior a taxa de saída de água (PEL, 1995). Assim, camadas muito finas podem causar deficiência na hidratação do cimento e tensões de tração prematura, proveniente da retração plástica (DÈTRICHE; MASO, 1986). Enquanto em camadas de espessura elevada, também podem surgir fissuras, mas nesse caso, em decorrência da atuação da força peso próprio sobre a camada aplicada, que é proporcional à sua espessura. Além disso, o fluxo de água em direção ao substrato é restringido quando o revestimento apresenta espessura superior a 30 mm (PAES, 2004).

Destaca-se ainda, uma prática bastante verificada em obras e que deve ser evitada, que é a falta do aperto nas argamassas utilizadas nas “cheias”, quando se tem mais de uma camada de argamassa. A falta deste aperto na cheia contribui para que nestas regiões sejam verificados baixos valores de resistência de aderência à tração. É evidente que este baixo valor de aderência não se deve apenas à falta do aperto, já que é freqüente se utilizar para a execução das “cheias”, a argamassa que sobrou após o sarrafeamento (corte). Nessa argamassa, provavelmente será acrescentada água e, possivelmente, o cimento já terá entrado em pega, gerando conseqüências negativas nas resistências mecânicas (BAUER, 2005).

A resistência de aderência, como acontece com a resistência mecânica, também dependerá da idade da argamassa (RUDUIT, 2009). Carasek e Scartezini (1999) realizaram uma pesquisa experimental para estudar a evolução da resistência de aderência ao longo do tempo de revestimentos de argamassa mista aplicados sobre alvenaria de blocos cerâmicos, em idades variando de dois dias a um ano, onde se observaram picos de resistência de aderência nas primeiras idades (7 e 14 dias), e posteriormente, uma queda da resistência até certo nível, mantendo-se nesse nível ao longo do tempo.

A cura é mais uma intervenção realizada em obras sobre o revestimento. Os pesquisadores são unânimes em afirmar que sua realização melhora a aderência por proporcionar umidade suficiente ao sistema para que as reações de hidratação do cimento ocorram de forma satisfatória, e também diminui a retração por secagem (DUAILIBE, *et al.*, 2005; PEREIRA, *et al.*, 2005).

Em síntese, a resistência de aderência de revestimentos é influenciada por diversos fatores como: o tipo de base; a argamassa, o processo e as condições climáticas, conforme representa esquematicamente a Figura 2.9.



Figura 2.9 - Fatores que influenciam na resistência de aderência de revestimentos.

2.3- MICROESTRUTURA DOS MATERIAIS E CARACTERIZAÇÃO DOS ESPAÇOS POROSOS

No caso de argamassas no estado endurecido, porosidade (n) é expressa em percentagem, e é definida como o volume dos poros (V_v) dividido pelo volume total (V) de uma amostra, ou seja:

$$n = \frac{V_v}{V} \cdot 100$$

O volume total (V) é composto pelo volume dos poros V_v e pelo volume dos sólidos V_s .

$$n = \frac{V_v}{V_v + V_s} \cdot 100$$

O volume dos sólidos (V_s) é obtido através do ensaio de Massa Específica Real da amostra, o volume total da amostra (V) é calculado, por exemplo, pelo Método da Balança Hidrostática e por consequência, o volume de vazios (V_v) é a diferença entre os dois.

Os poros da amostra, que apesar de também serem chamados de volume de vazios, podem estar preenchidos com água (saturado), com ar (quando a amostra está totalmente seca) ou com ambos.

Os vazios dos materiais sólidos apresentam formas e dimensões variadas¹⁰. As três propriedades estruturais fundamentais para descrever os materiais porosos são a porosidade total, a distribuição do tamanho dos poros e a superfície ou área específica (HAYNES, 1973 *apud*. CARASEK, 1996).

Quarcioni *et al.* (2009), em estudo sobre a porosidade de argamassas, concluíram que a porosidade de um revestimento em argamassa está intrinsecamente ligada a sua composição, a seu procedimento de aplicação e ao processo de cura adotado, bem como à porosidade e à textura da superfície sobre a qual é aplicada. Para os autores, ela interfere na durabilidade do revestimento e tem particular importância por acumular umidade e propiciar o crescimento de

¹⁰ Micro poro – diâmetro < 0,1 μm ; poro capilar – 0,1 μm \leq diâmetro \leq 20 μm e macro poro – diâmetro > 20 μm (Comitê Euro-Internacional du Béton - CEB, 1993).

fungos. Submetida a argamassa a ciclos de molhagem e secagem, os sais dissolvidos cristalizam provocando expansão e fissuração do revestimento.

Assim, os dados sobre a porosidade total de uma argamassa e o tipo e a distribuição de poros em sua microestrutura permitem inferir conclusões sobre os fenômenos que prejudicam o desempenho de determinado revestimento, assim como complementar as análises das propriedades mecânicas desses materiais (QUARCIONI *et al.*, 2009).

A distribuição dos tamanhos dos poros é freqüentemente; na engenharia, determinada através de porosimetria por intrusão de mercúrio, pois, em uma única medida de aproximadamente 30 a 45 min é possível a determinação da densidade aparente, da densidade do sólido, da distribuição de tamanho de poros, do volume total de poros e da área específica do material, enquanto que a porosidade aberta pode ser obtida pela medida das massas do material seco e saturado em água.

Segundo Mehta e Monteiro (2008), a distribuição do tamanho dos poros, e não a porosidade total, é o melhor critério para a avaliação das propriedades características dos materiais. Esses autores afirmam que vazios maiores que 50nm de uma pasta, referidos na literatura atual, como macroporos, são admitidos como prejudiciais à resistência e à impermeabilidade, enquanto vazios menores que 50nm, referidos como microporos são admitidos como mais importantes para retração por secagem e fluência.

Kazmierczak *et al.* (2007), observaram que a distribuição de poros da argamassa endurecida é alterada em função do tipo de substrato, assim como a resistência de aderência à tração da argamassa.

A área específica também é um parâmetro importante na descrição dos espaços porosos, tendo em vista o fenômeno de adsorção capilar ser condicionado por ela. Esta nada mais é do que a superfície acessível contida em unidade de massa do volume sólido. Em geral, ela é determinada através de um método de adsorção de nitrogênio, denominado BET¹¹, e pode

¹¹ Método de adsorção de nitrogênio em materiais porosos e microporosos, técnica devida a Brunauer, Emmett e Teller, conhecida como B.E.T.

também ser calculada, por integração, a partir da distribuição dos tamanhos dos poros obtida por intrusão de mercúrio. (MEROUANI, 1987 *apud*. CARASEK, 1996).

A caracterização da microestrutura dos materiais tem adquirido importância crescente no cenário técnico científico como ferramenta de estudo, motivada pela evolução e até certo ponto, popularização de alguns equipamentos, surgindo novos campos de estudo e sistematização no emprego de técnicas aplicadas, que juntamente com outras avaliações podem oferecer, dentre outros, subsídios para análise da durabilidade dos materiais, das técnicas construtivas utilizadas e dados sobre os materiais empregados.

A informação sobre a distribuição de poros permite inferir hipóteses ou mesmo conclusões sobre fenômenos estudados ou ainda, sendo complementares na análise de formulações pesquisadas. Este parâmetro está diretamente relacionado, dentre outros, à manutenção das propriedades das edificações ao longo do tempo, ou seja, à sua durabilidade. Neste sentido, cabe ressaltar, que o desenvolvimento do espaço poroso de vários componentes das construções, não irá depender somente da sua composição, mas também, das condições de cura e exposição. Segundo Vocka *et al.* (1999), dois tipos de porosidade podem ser distinguidos em pastas de cimento:

a) A porosidade dos C-S-H¹², que consiste de duas famílias de poros: microporos (20 a 30nm) e nanoporos (2 a 4nm), que podem ser considerados como porosidade do C-S-H externo (Op, do termo em inglês *outer product*) e do C-S-H interno (Ip – *inner product*), respectivamente. O C-S-H externo é formado pelos hidratos desenvolvidos no início do processo de hidratação, quando sua formação não é restrita, e o C-S-H interno pode ser formado no final do processo de hidratação. Esta porosidade é uma característica intrínseca do material;

b) A macroporosidade (porosidade capilar) inclui todos os poros com diâmetro maior que 30nm, que são os poros formados pelo volume ocupado por água que não é consumida durante a hidratação e depende fortemente da relação água/cimento (a/c).

¹² C-S-H, silicato de cálcio hidratado.

O C-S-H é um dos componentes da hidratação do cimento, e é o principal responsável por grande parte das propriedades da pasta de cimento endurecida. A morfologia do C-S-H varia entre fibras amorfas ou pouco cristalinas até um reticulado cristalino.

Quanto à porosidade do C-S-H, Yunes (1992) apresenta em seu trabalho a seguinte classificação de poros:

a) Classe 1 – poros onde a condensação de água é suscetível de ocorrer (diâmetro inferior a 200 nm). São poros de grande área específica, responsáveis pela higroscopicidade da argamassa. Podem ser estudados com o uso de isotermas de equilíbrio e modelos de adsorção e condensação capilar;

b) Classe 2 – poros onde a condensação não é suscetível de ocorrer (diâmetros superiores a 200 nm). Podem ser explorados mediante MEV de amostras impregnadas com resina e polidas, e por porosimetria por intrusão de mercúrio.

Embora a quantidade de poros seja grande em materiais à base de cimento, a permeabilidade deste sistema é baixa. A quantidade de poros abertos (capilares) e fechados, e a conectividade destes influencia fortemente as propriedades do material, particularmente a resistência e a permeabilidade, a qual condiciona a resistência à penetração de agentes agressivos como é ilustrado na Figura 2.10.

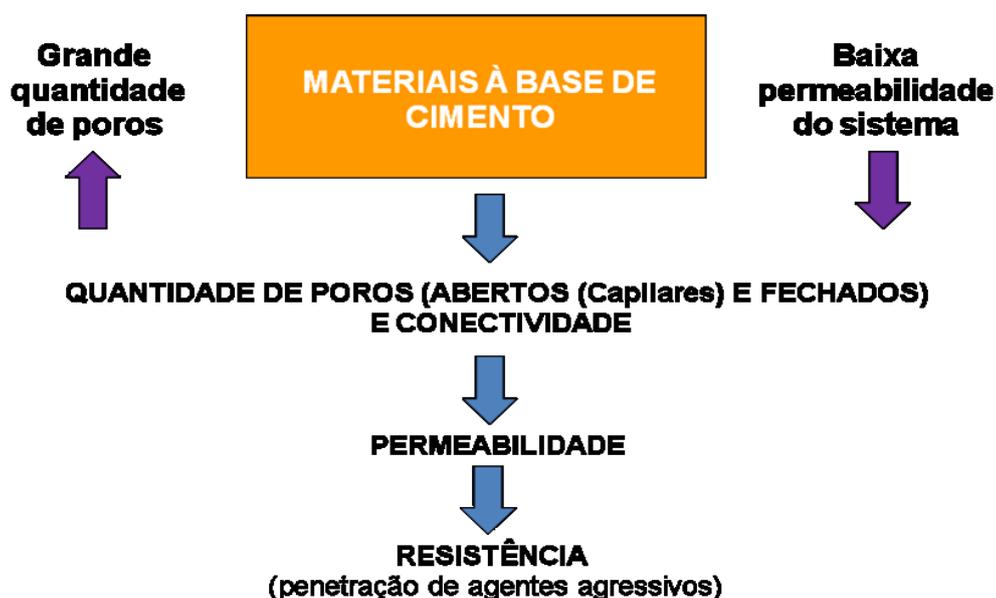


Figura 2.10 – Permeabilidade/Porosidade de materiais à base de cimento.

2.3.1 Diâmetro Crítico de Poro

Como a característica dos materiais não é função pura e simplesmente da porosidade, mas depende do diâmetro, da distribuição, da continuidade e da tortuosidade, um parâmetro de importância relevante é o diâmetro crítico de poro. Este tem sido citado na grande maioria dos trabalhos relacionados à porosidade e transporte de massa dos materiais, sendo definido como a menor dimensão de poro acima da qual se estabelece uma trajetória de poros conectados de uma extremidade a outra da amostra. É denominado também de diâmetro limiar ou, raio de poro contínuo máximo, que corresponde à metade do diâmetro crítico (raio crítico). O raio crítico pode ser calculado de acordo com a Lei de Kelvin-Laplace (QUÉNARD, 1998).

Experimentalmente, este parâmetro foi identificado por meio de medidas com porosímetro de mercúrio. Num experimento de intrusão, os poros maiores são preenchidos primeiro, iniciando-se pelo preenchimento dos situados nas proximidades da superfície da amostra, seguidos pelos poros menores à medida que a pressão de intrusão aumenta. A curva de volume de mercúrio intrudido na amostra, em função do diâmetro do poro, mostra que a partir de um certo diâmetro, há um aumento significativo no volume de poros preenchidos, podendo-se identificar um ponto de inflexão.

Curvas típicas de distribuição de tamanho dos poros de algumas amostras de pastas de cimentos com diferentes relações a/c; ensaiadas por técnicas de intrusão de mercúrio, são mostradas na Figura 2.11 (MEHTA e MONTEIRO, 2008).

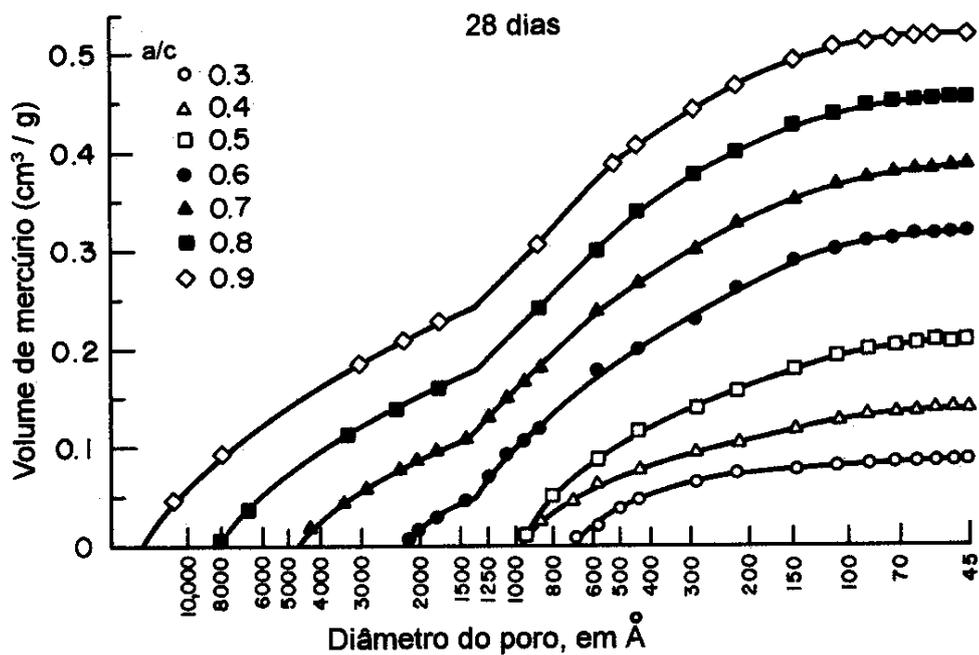


Figura 2.11 - distribuição do tamanho dos poros em pastas de cimento hidratado. (MEHTA e MONTEIRO, 2008)

2.3.2 Métodos de Caracterização de Espaços Porosos

Existem vários métodos para caracterização de espaços porosos, sendo cada um, destinado de acordo com a faixa de poros a ser investigada. A Figura 2.12 mostra a faixa de aplicação de alguns métodos.

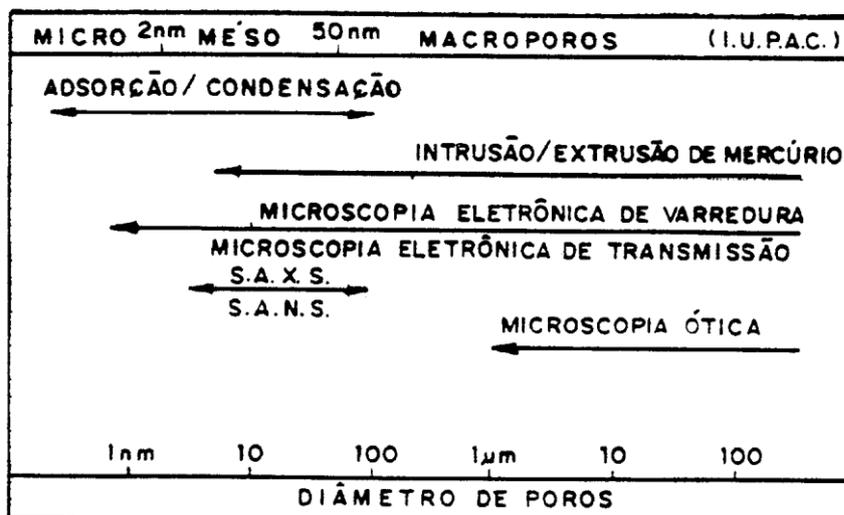


Figura 2.12 - Faixa de aplicação dos principais métodos para caracterização de espaços porosos (BAROGHEL, 1994 *apud.* SATO, 1998).

A Figura anterior (2.12) ilustra a faixa de poros do método de Difusão em pequenos Ângulos de Neutrons (SANS)¹³ e Raios X (SAX)¹⁴ embora não faça parte do escopo deste estudo.

Atualmente, o método mais utilizado para caracterização da porosidade de pastas de cimento, argamassas e concretos é a porosimetria por intrusão de mercúrio. Apesar de o referido método ser de fácil aplicação na caracterização dos materiais anteriormente citados, este exige cuidados especiais na preparação das amostras para não provocar alterações na estrutura dos poros. A seguir, estão descritos, de forma sucinta, os principais métodos para caracterização de dimensões de poros a base de cimento.

2.3.2.1 Porosimetria por Intrusão de Mercúrio

Com o porosímetro de mercúrio é possível caracterizar os poros abertos dos materiais. Bastos *et al.* 2002, utilizou este método com o intuito de observar a microestrutura das argamassas quanto ao efeito provocado pelas alterações de composição e pela perda de água por sucção, quando da aplicação sobre base porosa. Segundo esses autores, a técnica de intrusão de mercúrio, embora limitada em determinados aspectos, como a impossibilidade de se atingir os poros fechados do material, é válida para efeito de comparação entre resultados obtidos em amostras de mesma natureza.

O método consiste em determinar o espectro de dimensões de poros, injetando-se mercúrio sob pressão crescente na amostra previamente seca e submetida a vácuo e, medindo-se o volume do líquido penetrante em função da pressão aplicada. A determinação pode ser realizada aplicando-se pressões com aumentos discretos, em forma de patamares, medindo-se o volume de mercúrio intrudido após um intervalo de tempo em que é atingida a estabilização. Ou ainda, pode-se adotar um procedimento onde o acréscimo de pressão é contínuo.

A técnica se baseia na relação entre o diâmetro de poro, assumido como sendo cilíndrico, e o volume de mercúrio que pode penetrá-lo em função da pressão aplicada. Neste método é

¹³ SANS, são iniciais de “Small angle neutron scattering”.

¹⁴ SAX, são iniciais de “Small angle X Ray scattering”.

desconsiderada a conectividade do espaço poroso. O diâmetro do poro é calculado pela equação de Washburn:

$$D = \frac{-4\gamma\cos\theta}{P}$$

Onde, θ é o ângulo de contato entre o líquido e a superfície;

γ é a tensão superficial do líquido, sendo igual a 485×10^{-3} N/m;

P é a pressão hidrostática da coluna de mercúrio, expressa em Pa.

Como o volume de mercúrio é medido diretamente, pode-se obter, por meio da equação anterior, a distribuição de volumes de poros acumulada em função de seus raios.

Com a suposição de que os poros sejam independentes, assume-se que os poros menores vão sendo preenchidos à medida que se aumenta a pressão, independentemente de sua posição no espaço poroso. No entanto, no caso de um poro como mostrado na Figura 2.13, que apresenta cavidade de raio R e um estreitamento de raio r, com $R > r$, a cavidade somente vai ser preenchida quando o mercúrio atingir a pressão suficiente para penetrar através da seção transversal de raio r.

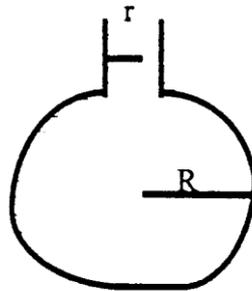


Figura. 2.13 - Poro tipo “tinteiro” ou “ink bottle” (SATO, 1998).

Neste caso, o volume de mercúrio penetrado será atribuído a poros com raio equivalente r, havendo uma superestimação de volume de poros menores em detrimento dos maiores. (FERNANDES, 1990 *apud.* SATO, 1998). Este é um dos fatores limitantes da técnica, sendo assim, interessante associar os seus resultados a outras técnicas para o estudo dos espaços porosos. A Figura 2.14 mostra um exemplo de uma análise realizada, através do ensaio de

intrusão de mercúrio, para blocos cerâmicos e de concreto, onde os resultados dos ensaios de intrusão de mercúrio são apresentados de duas formas:

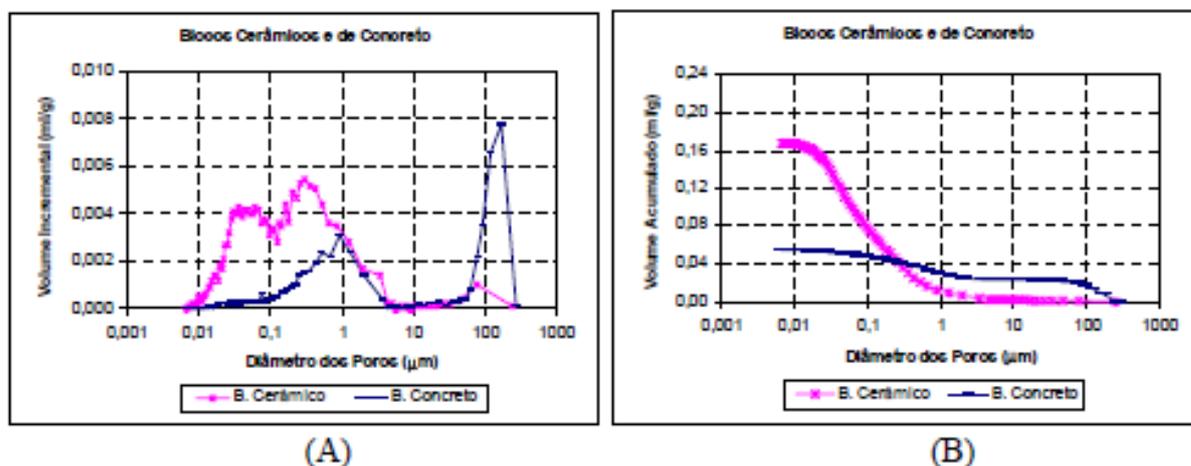


Figura 2.14 - Distribuição do tamanho dos poros dos substratos obtidos com o uso da porosimetria por intrusão de mercúrio. (A) volume incremental (ml/g) *versus* diâmetros dos poros (µm). (B) Volume acumulado (ml/g) *versus* diâmetro dos poros (µm). Fonte: (PAES, 2004).

- Volume de mercúrio incremental *versus* diâmetro dos poros: indica, por meio do volume de mercúrio intrudido, a quantidade de poros de um determinado diâmetro;
- Volume de mercúrio acumulado *versus* diâmetro dos poros: mostra a quantidade total de mercúrio intrudido, por unidade de massa da amostra, a um determinado nível de pressão atingida durante o ensaio, representando a porosidade do material até o diâmetro de poro correspondente.

Outro parâmetro importante a ser considerado na porosimetria por intrusão de mercúrio, é o *diâmetro crítico* definido como a menor dimensão de poro acima da qual se estabelece uma trajetória de poros conectados de uma extremidade a outra da amostra (Sato, 1998). Nos gráficos obtidos com esta técnica (volume acumulado), observa-se uma mudança na curvatura de distribuição dos poros coincidente no mesmo diâmetro. Além deste, outros resultados podem ser extraídos a partir deste ensaio, a saber: o *diâmetro característico*, definido neste trabalho como o tamanho de poros onde se tem o valor máximo de volume intrudido, sendo este valor retirado dos resultados (Figuras) de volume incremental; o diâmetro médio; a área total de poros e o volume intrudido (PAES, 2004).

2.3.2.2 Porosimetria por Dessorção de Vapor de Água

Dentre as diversas técnicas que permitem a caracterização da distribuição de poros, talvez esta seja a mais simples de ser executada e de custo mais baixo. Nesta técnica, a porosidade é determinada a partir de isotermas de dessorção, que fornecem informações sobre o raio do poro através do qual, a água contida neste, pode extinguir-se por secagem, sendo aplicado para medidas de poros na faixa de 0,0015 a 10 μ m, sendo mais adequado para a faixa de 0,0015 a 0,1 μ m (BAUER, *et al.*, 2004).

As amostras previamente saturadas, são colocadas em ambiente com solução saturada de Cloreto de Lítio (LiCl), Cloreto de Magnésio (MgCl₂), Carbonato de Potássio (K₂CO₃), Brometo de Sódio (NaBr), Cloreto de Sódio (NaCl), Cloreto de Potássio (KCl), Nitrato de Potássio (KNO₃), Sulfato de Potássio (K₂SO₄) e água destilada até estabilização de massa. A pressão de vapor de água obtida, deste modo, provém da umidade relativa por volta de 11%, 33%, 43%, 59%, 75%, 86%, 94%, 98%, e 100% respectivamente.

A porosidade é determinada por meio de isotermas de adsorção e dessorção de vapor de água. A partir de modelos de adsorção física e condensação capilar, é estimada a distribuição de volume de poros em função da massa de umidade adsorvida. Isotermas de dessorção de vapor d'água nos dão informações sobre o raio do poro (abertura) através do qual a água do poro pode evacuar por secagem. A relação entre a abertura do poro que está vazio (seco) a uma certa umidade relativa é dada pela equação de Kelvin:

$$rc = \frac{-2M\sigma \cos \beta}{\rho RT \ln(UR)}$$

Onde:

rc = raio crítico (m)

M = massa molecular da água ($\cong 18,0148 \times 10^{-3}$ Kg/mol)

σ = tensão superficial da água ($= 727,5 \times 10^{-4}$ N/m)

β = ângulo de contato entre a água e a superfície do poro ($= 20^\circ \cong 0,349$ rad)

ρ = densidade da água ($= 1000$ Kg/m³)

R = constante universal dos gases ($= 8,31451$ J/K.mol)

T = temperatura (K)

UR = umidade relativa ($0 < UR < 1$)

Como o método se baseia na adsorção de vapor de água, a sua aplicação está limitada a amostras totalmente hidratadas. A sua maior desvantagem está no longo tempo requerido para o levantamento da curva de adsorção e dessorção de vapor, que pode ser de até dezoito meses. (BAROGHEL, 1994 *apud.* SATO, 1998).

Em estudo realizado por BAUER, *et al.* (2004), em amostras de concreto, os autores concluíram que a técnica de porosimetria por dessorção de vapor de água, se mostrou com potencialidade para análise da estrutura de poros na faixa de tamanhos a qual se aplica.

2.3.2.3 Microscopia Eletrônica de Varredura - MEV

O objetivo do uso desta técnica é se determinar a porosidade da amostra através de imagens obtidas com microscópio eletrônico de varredura, visando dentre outras, complementar o estudo da porosidade realizada com o porosímetro de mercúrio.

A vantagem deste método em relação à porosimetria por intrusão de mercúrio está relacionada ao fato de não ser assumido um modelo de geometria de poro, e ainda, sem superestimar a fração de poros de menores dimensões.

A maior desvantagem apresentado por este método diz respeito à binarização das imagens, visto que, este processo requer que o usuário delimite visualmente os contornos dos poros de modo a fazer a distinção da fase porosa, envolvendo, portanto, uma certa dose de subjetivismo, que pode levar ao comprometimento na obtenção de resultados quantitativos confiáveis. As imagens obtidas, no entanto, permitem uma análise qualitativa da porosidade (SATO, 1998).

Os métodos de binarização são freqüentemente classificados em globais ou locais. Os métodos globais são geralmente baseados no histograma de níveis de cinza onde através da adoção de um único valor de nível de cinza de corte, que opera em toda a imagem em consideração, separa as regiões de pretos e brancos. Os métodos locais adotam parâmetros que operam em regiões limitadas da imagem, variando de região para região da imagem.

Além disso, os métodos de binarização podem ser manuais ou automáticos, se exigem ou não a interferência do usuário para a decisão de parâmetros no seu processamento.

A binarização consiste em uma etapa fundamental na cadeia de processamento de imagens, uma vez que toda quantificação de parâmetros geométricos (por exemplo, a distribuição de tamanhos de poros em uma rocha) dependerá da correta definição das regiões de pretos e brancos. Desta forma, a imagem binária obtida deve representar realisticamente a imagem original. Esta é uma tarefa difícil, não existindo um método de binarização universal dados os diferentes tipos de textura das imagens.

Como os cristais presentes nos compostos do cimento hidratado são demasiadamente pequenos para serem observados pelo microscópio óptico, torna-se necessária a utilização do MEV. A alta resolução do MEV pode atingir até 30 Ângstrons e grandes profundidades de foco (a distância de penetração depende da voltagem de aceleração do aparelho). Os aumentos empregados podem variar entre 100 e 100 mil vezes (SCRIVENER, 1989).

O MEV consiste basicamente de uma coluna óptico-eletrônica, de uma câmara para a amostra, sistema de vácuo, controle eletrônico e sistema de obtenção de imagem. Quando um ponto da superfície da amostra é alcançado por um feixe de elétrons, originam-se diferentes sinais que podem ser detectados independentemente. Destes sinais, um deles é a emissão de *elétrons secundários* (SE) (Figura 2.15 - a), e o outro é a emissão de *elétrons retroespalhados* (BSE) (Figura 2.15 - b). O emprego do MEV permite evidenciar a morfologia dos compostos hidratados em função das condições de hidratação.

Imagens obtidas por meio de elétrons secundários (em amostras fraturadas) evidenciam a *morfologia* e a *textura*, muito comum para avaliação morfológica dos compostos formados durante o processo de hidratação. Imagens obtidas por meio de elétrons retroespalhados (em superfícies polidas) permitem visualizar a *heterogeneidade* no interior da amostra. Neste caso, usada para verificação do grau de hidratação, da formação de microfissuras e da zona de transição em concretos.

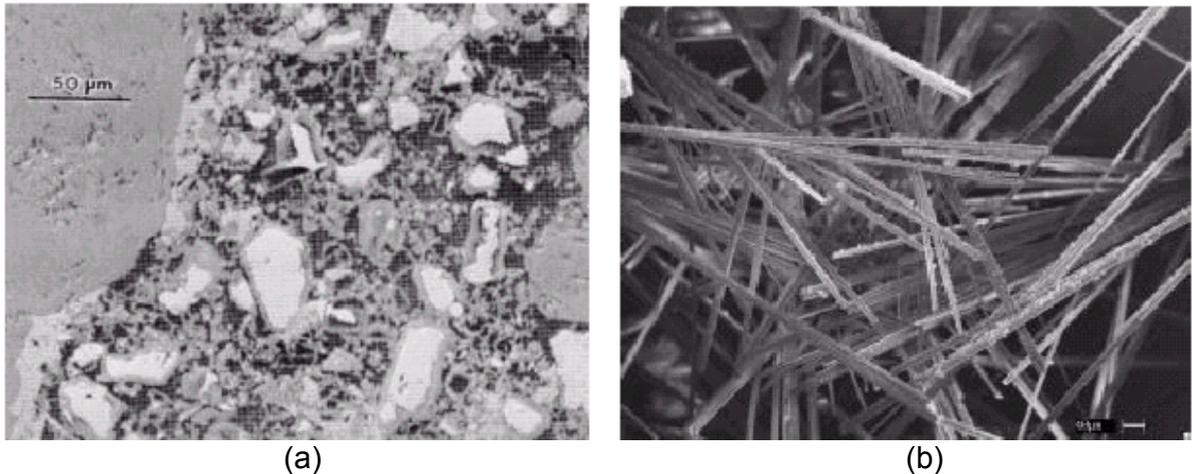


Figura 2.15 - Imagem de produtos de hidratação do cimento obtida por MEV: (a) Imagem por Elétrons Retroespalhados (DIAMOND, 2001) e (b) Imagem por Elétrons Secundários (ANDRADE & VEIGA, 1998).

2.3.2.4 Difração de Raio-X - DRX

Desde a descoberta da estrutura cristalina por Max von Laue em 1912, a técnica de DRX evoluiu rapidamente como um método eficiente e preciso para uso em pesquisa científica e tecnológica. Na atualidade, é a única técnica para a determinação precisa de estruturas cristalinas simples (como é o caso de materiais inorgânicos), e também para diversas outras aplicações, como a visualização direta de defeitos cristalinos e quantificação em tempo real da dinâmica de fenômenos ultra-rápidos.

A Difractometria de Pó ou Difractometria θ - 2θ , utiliza amostras policristalinas ou em forma de pó. O fenômeno da difração é regido pela lei de Bragg (3):

$$2 d_{hkl} \sin \theta = n\lambda,$$

Onde:

d_{hkl} é o espaçamento interplanar dos planos difratantes com índices de Miller (hkl);

θ é o ângulo de Bragg,

λ é o comprimento de onda da radiação, e;

n pode assumir números inteiros 1, 2, 3,

Por outro lado, o espaçamento interplanar d_{hkl} para o caso de uma estrutura cúbica está relacionado com o parâmetro de rede (a_0) e com os índices de Miller (hkl) da seguinte forma:

$$d_{hkl}^2 = a_0^2 / (h^2 + k^2 + l^2).$$

O diagrama obtido com DRX revela a intensidade e a posição angular dos perfis que correspondem cada qual à família de planos (hkl). A partir da posição angular (2θ) do pico de cada perfil, podemos obter o espaçamento d_{hkl} usando a Lei de Bragg

A aplicação da técnica de DRX é utilizada por diversos autores para identificar um material desconhecido (método de Hanawalt). Da mesma forma que a não coincidência da impressão digital de uma pessoa para outra, sabe-se que a relação das distâncias interplanares e das intensidades de difração não se repetem para as centenas de milhares de estruturas cristalinas, ou seja, de um material para outro (ou das diferentes fases cristalinas).

Como exemplo pode-se citar o estudo realizado por Rossignolo (2005), o qual analisou a microestrutura de pastas de cimento Portland, utilizando as técnicas de porosimetria por intrusão de mercúrio e DRX, para análise da porosidade, da distribuição dos poros e do comportamento do hidróxido de cálcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) em pastas de cimento. A Figura 2.16 apresenta o difratograma obtido para a pasta de referência utilizada no referido estudo.

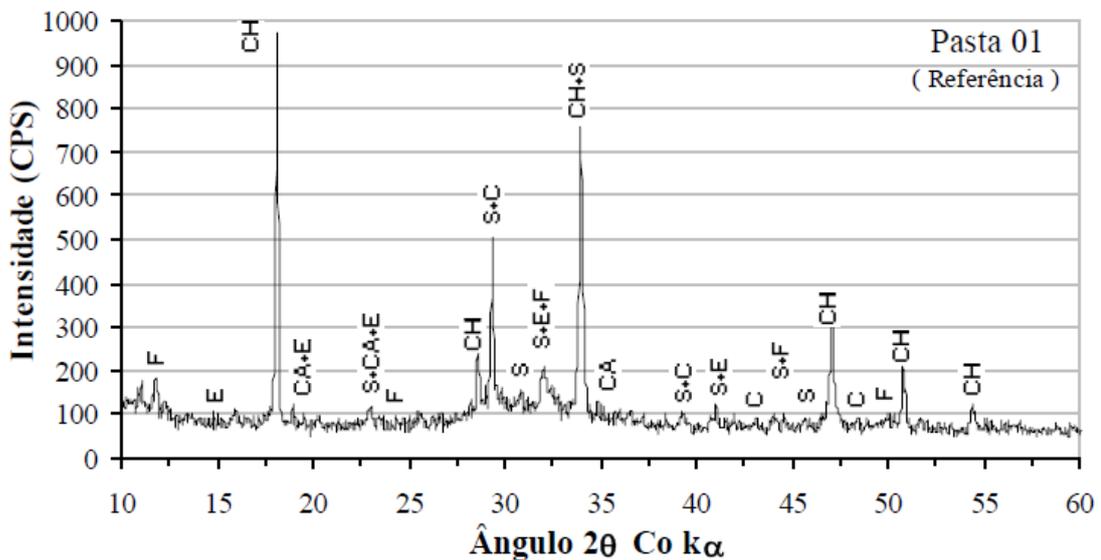


Figura 2.16 – Difratograma de raios-X da pasta de referência de cimento estudada por Rossignolo (2005).

3. PROGRAMA EXPERIMENTAL E MATERIAIS

O programa experimental dessa pesquisa tem como objetivo principal avaliar a influência da porosidade dos materiais constituintes do sistema de revestimento em argamassa na sua resistência de aderência, sob diferentes tratamentos de base. Esta avaliação foi realizada por meio de um estudo de campo onde se procurou retratar fielmente o comportamento do revestimento externo de uma edificação vertical, na região metropolitana de Belém-PA. A seguir, descreve-se o planejamento deste estudo.

3.1. AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA DA ARGAMASSA “*IN SITU*” COM DIFERENCIAÇÃO DE TRATAMENTOS DE BASE

Esta pesquisa foi desenvolvida em um edifício residencial na cidade de Belém-PA. A construtora responsável pela obra detém certificado de conformidade com os padrões de qualidade ISO 9000, um importante parâmetro de referência para comparações entre serviços e empresas. A obra supracitada foi executada com 25 pavimentos-tipo sendo um (1) apartamento por andar. A Figura 3.1 apresenta a vista frontal da obra analisada.



Figura 3.1- Vista frontal da fachada da obra onde foi realizado o estudo de caso.

Durante este estudo foram analisados alguns fatores que exercem influência na resistência de aderência, sendo estes:

Fatores fixos:

- a) natureza do substrato (bloco cerâmico);
- b) tipos de chapiscos: 1:3; cimento:areia úmida, em volume (**sem cura – Referência**); 1:3; cimento:areia úmida, em volume (**com cura**); 1:3+aditivo SBR; cimento:areia úmida+aditivo, em volume (**sem cura**) e 1:3+aditivo SBR; cimento:areia úmida+aditivo, em volume (**com cura**);
- c) cura do chapisco (painéis curados: por meio de aspersão de água – 4 vezes ao dia durante os 3 primeiros dias);
- d) traço da argamassa de emboço, com uso de aditivo incorporador de ar: (1:6; cimento: areia úmida, em volume);
- e) idade do revestimento para a realização do ensaio de aderência (7, 28 e 120 dias);

Como fatores variáveis este estudo teve:

- a) análise da porosidade dos materiais;
- b) resistência de aderência à tração do revestimento;
- c) forma de ruptura dos corpos-de-prova; e,
- d) análise da pulverulência dos chapiscos e da fissuração e pulverulência da argamassa.

A Figura 3.2 apresenta a hierarquia entre as variáveis dependentes e independentes da pesquisa.

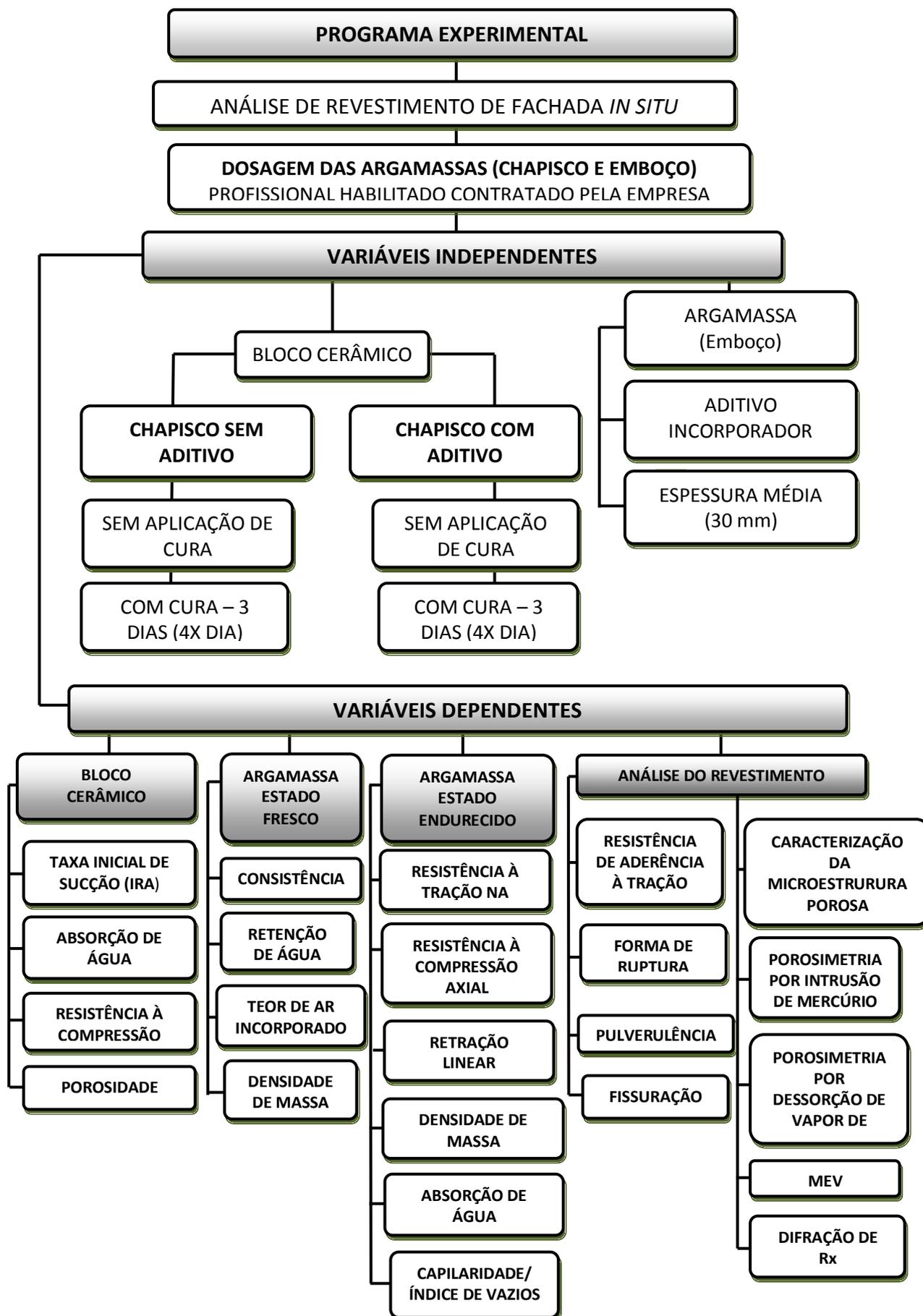


Figura 3.2 – Hierarquia entre as variáveis do programa experimental.

3.2. METODOLOGIA DA PESQUISA – ESTUDO DE CASO

De forma a atingir os objetivos mencionados, foram confeccionados painéis de alvenaria de bloco cerâmico com dimensões de 1,00 m². Estes estavam localizados em área externa da edificação com o intuito de simular situações semelhantes às ocorridas na fachada, as quais ficam sujeitas aos fatores ambientais característicos da região (chuvas frequentes, altas temperaturas e elevada umidade relativa do ar). A Figura 3.3 mostra os painéis utilizados para avaliação da pesquisa.



Figura 3.3 - Painéis em alvenaria de bloco cerâmico.

Como o revestimento em questão trata-se de uma fachada, as próprias normas pertinentes ao tema (NBR 7200/1998 e NBR 13749/1996) determinam que as alvenarias e as peças estruturais devam ser *chapiscadas*. Neste caso, as composições dos chapiscos utilizados como tratamentos de base, bem como o tipo de cura aplicado (cura úmida), encontram-se especificados na Tabela 3.1.

Tabela 3.1- Descrição dos traços das argamassas e dos tratamentos de base adotados na pesquisa.

TIPO DE BASE	TIPOS DE CHAPISCOS	TIPOS DE CURA DOS CHAPISCOS
ALVENARIA EM BLOCO CERÂMICO	1:3 (cimento: areia, em volume)	SEM CURA
		CURA ÚMIDA
	1:3+aditivo SBR (cimento: areia + aditivo, em volume)	SEM CURA
		CURA ÚMIDA
CONDIÇÕES AMBIENTAIS	IDADES AVALIADAS NO ENSAIO DE ADERÊNCIA (DIAS)	
	(MÊS DE ABRIL)	
	7	28
		(MÊSES DE JULHO E AGOSTO)
		120
TEMPERATURA MÉDIA (°c)	33	35
UMIDADE RELATIVA MÉDIA (%)	85	78
CURA ÚMIDA DO CHAPISCO: Realizada durante TRÊS (3) dias consecutivos, com aspersão de água QUATRO (4) vezes ao dia.		

3.3 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS EMPREGADOS

Nesta pesquisa utilizou-se como substratos, alvenaria em blocos cerâmicos. Além destes, empregou-se os seguintes materiais: cimento Portland CP II-Z-32, aditivos incorporadores de ar e areia natural, procedente de depósitos aluvionares de Santa Izabel do Pará. Estes materiais foram escolhidos por serem comumente utilizados na execução de revestimentos em argamassa e facilmente adquiridos na região onde foi realizada a pesquisa. Os resultados de caracterização destes materiais são apresentados no Apêndice A.

3.4. DOSAGEM DO CHAPISCO E ARGAMASSA DE EMBOÇO

3.4.1 Chapisco

Para o chapisco, foi utilizado o traço de 1:3, em volume; onde 1 = cimento e 3 = areia úmida, aplicado com “colher de pedreiro”. Executou-se, além do chapisco comum, chapisco com adição de adesivo à base de látex formado pela emulsão de polímero estireno-butadieno, denominado SBR. Este produto tem aspecto de um líquido branco leitoso, massa específica de 1,05 kg/dm³ e pH alcalino. A proporção de aditivo utilizado na confecção do chapisco foi de

47% em relação ao volume de água, conforme o indicado pelo fabricante. Para cada traço, com um saco de cimento, utilizou-se 23 litros de água e 11 litros de aditivo, num total de 34 litros de líquido para 50 kg de cimento, obtendo-se uma relação a/c de 0,68. Com relação à cura, quando houve, foi realizada durante o período de 03 dias com 04 repetições por dia.

3.4.2 Argamassa de Emboço

Após sete (7) dias da aplicação do chapisco, foram realizados os revestimentos dos painéis com a argamassa de emboço. Utilizou-se uma argamassa com traço 1:6, em volume; onde: 1= cimento e 6= areia úmida com adição de aditivo incorporador de ar de fabricação nacional e de composição organo-sintética, ou seja, os componentes ativos básicos são resíduos da destilação de resina de pinho e resina de breu, segundo o fabricante. O produto é comercializado na forma líquida, com massa específica igual a 0,99 kg/dm³. O teor de aditivo utilizado na execução da argamassa foi de 200 ml/50kg de cimento. Cabe ressaltar que, em geral, o traço de argamassa de emboço para uso em fachadas utilizados na região metropolitana de Belém variam de 1:5 a 1:7 (volume).

Os traços utilizados nesta pesquisa, tanto para o chapisco como para a argamassa de emboço foram obtidos por um tecnologista de revestimento, contratado pela empresa construtora, de forma a adequar a dosagem dos materiais à sua aplicação (revestimento de fachada).

Com o proporcionamento dos materiais a serem empregados na confecção das argamassas (traços), estas passaram a ser produzidas em uma betoneira basculante, com capacidade de 600 litros de material.

3.5. AVALIAÇÃO DA ARGAMASSA DE EMBOÇO (EM LABORATÓRIO)

Com os mesmos materiais e traços definidos em obra, foram reproduzidos em laboratório corpos-de-prova de modo a verificar as características físico-mecânicas da argamassa por meio da realização dos ensaios de caracterização, no estado plástico e endurecido. Para a mistura da argamassa, utilizou-se uma argamassadeira com capacidade de 25 litros de material.

A fim de melhor caracterizar as argamassas utilizou-se, nesta pesquisa, métodos de ensaios não tão difundidos para a utilização em argamassas, em especial, os advindos da mecânica dos solos como o de resistência ao cisalhamento (Vane test), de forma a obter dados qualitativos e/ou quantitativos mais confiáveis com relação às propriedades do material em questão, porém, esses foram realizados conjuntamente com os ensaios já consagrados.

Os resultados médios desta caracterização são apresentados nas Tabelas 3.2 e 3.3. A caracterização dos materiais empregados, bem como os detalhes da realização destes ensaios são apresentados nos Apêndices B e C.

Tabela 3.2- Resultados médios da caracterização da argamassa de revestimento, no estado fresco.

Propriedade Determinada	Método de Ensaio	Resultados Médios
Consistência (Espalhamento)	NBR 7215 (ABNT,1982b)	262 mm
Resistência ao cisalhamento (Vane Test)	ASTM D 4648-00	1,59 KPa
Ar incorporado	NBR 13278 (ABNT, 2005)	15%
Retenção de água (funil) – 15 minutos	NBR 13277 (ABNT, 2005)	72%
Densidade de massa	NBR 13278 (ABNT, 1995 b)	1,90g/cm ³

Tabela 3.3- Resultados médios da caracterização da argamassa de revestimento, no estado endurecido.

Propriedade determinada	Método de Ensaio	Resultados Médios
Tração na flexão (MPa)	NBR 13279 (ABNT, 2005)	1,85
Compressão axial (MPa)	NBR 5739 (ABNT, 2007)	6,5
Densidade de massa (g/cm ³)	NBR 13280 (ABNT, 2005)	1,74
Absorção de água por capilaridade (g/cm ²)	NBR 15259 (ABNT, 2005)	12,63
Coefficiente de capilaridade (g/cm ² .min ^{1/2})	NBR 15259 (ABNT, 2005)	1,52
Absorção de água (%)	NBR 9778 (ABNT, 2005)	14,63
Índice de vazios (%)	NBR 9778 (ABNT, 2005)	22,32
Retração linear (mm/m)	NBR 15261 (ABNT, 2005)	- 0,54

3.6. AVALIAÇÕES DO REVESTIMENTO – “*IN SITU*”

3.6.1 Verificação da pulverulência (resistência ao risco) dos chapiscos e da resistência de aderência superficial da argamassa de emboço

Segundo Mendonça (2004), a abrasão superficial (pulverulência) é função do consumo de cimento, da relação água/cimento, da granulometria do agregado miúdo e do teor de cal ou do aditivo utilizado no traço. Assim, na definição do proporcionamento dos materiais empregados na confecção da argamassa é necessário verificar o aspecto visual da sua superfície aplicada ao substrato (base) a que se destina, além da determinação das suas características físicas. Os sinais de pulverulência mais comumente observados são a desagregação e o esfrelamento da argamassa ao ser pressionada manualmente.

Nesta pesquisa para a avaliação da pulverulência foi utilizado um objeto metálico e pontiagudo (prego) pressionado contra a superfície dos chapiscos e dos revestimentos, seguindo a mesma metodologia adotada por Ceotto (2005). Esta verificação foi realizada após 3 (três) dias da aplicação do chapisco e avaliada também após a aplicação da argamassa de emboço, na idade de 120 dias. Para a verificação da resistência de aderência superficial da argamassa de emboço, foi utilizada a metodologia adotada por Silva (2006). A Figura 3.4 (a) mostra a verificação da pulverulência do chapisco e a Figura 3.4 (b) a da resistência de aderência superficial do emboço em painéis utilizados na pesquisa.

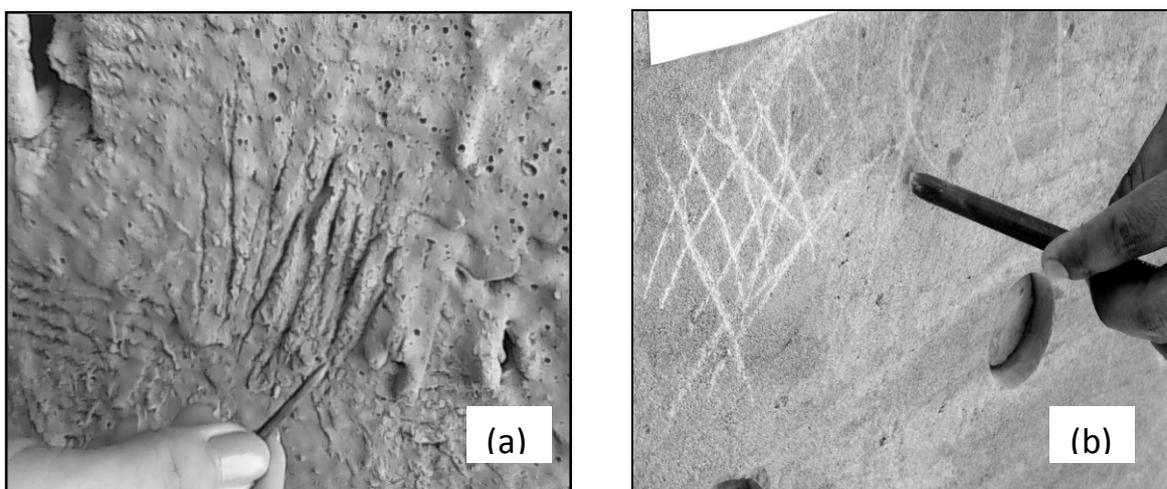


Figura 3.4 – (a) Verificação da pulverulência no chapisco; (b) verificação da resistência de aderência superficial no revestimento (argamassa de emboço).

3.6.2 Avaliação da fissuração da argamassa de emboço

São muitos os fatores que podem levar à fissuração da argamassa de revestimento, como por exemplo, a resistência de aderência à base, o número e espessura de camadas, o intervalo de tempo decorrido entre a aplicação de uma e outra camada, a perda de água de amassamento por sucção da base ou pela ação de agentes atmosféricos.

Em muitos casos, são necessários estudos específicos para avaliação e terapia deste fenômeno. Deste modo, por não ser o objetivo principal desta pesquisa, foi realizado apenas uma apuração qualitativa da fissuração da argamassa de emboço, somente para verificar se estas poderiam influenciar negativamente os resultados de aderência do revestimento.

O surgimento e a evolução das fissuras foram acompanhados em cada painel durante todo o período dos ensaios (120 dias). Estas foram classificadas de acordo com a sua abertura por meio do uso de uma lupa e um fissurômetro, com medidas variando entre 0,05mm a 3,0mm. Foi realizada uma marcação lateral acompanhando esta fissura (com giz de cera) para facilitar sua visualização, conforme mostrado na Figura 3.5.



Figura 3.5- Leitura da abertura de fissuras com a utilização de um fissurômetro.

3.6.3 Determinação da Resistência de Aderência à Tração direta do Revestimento

A resistência de aderência dos revestimentos depende das propriedades da argamassa no estado fresco, dos procedimentos de execução, da natureza, características e preparação da base. Esta propriedade pode ser medida por meio do ensaio de arrancamento por tração direta, que leva em consideração valores mínimos prescritos na NBR 13749 (ABNT, 1996).

Nesta pesquisa, o ensaio para determinação da resistência de aderência foi realizado nos revestimentos na idade de 7, 28 e 120 dias, seguindo os procedimentos descritos na NBR 13528 (ABNT, 1995c)¹⁵. Em cada painel avaliado foram realizados, por idade, 10 arrancamentos, perfazendo um total de 120 medições. A Figura 3.6 mostra as etapas necessárias à realização do ensaio de resistência de aderência nos revestimentos em argamassa.

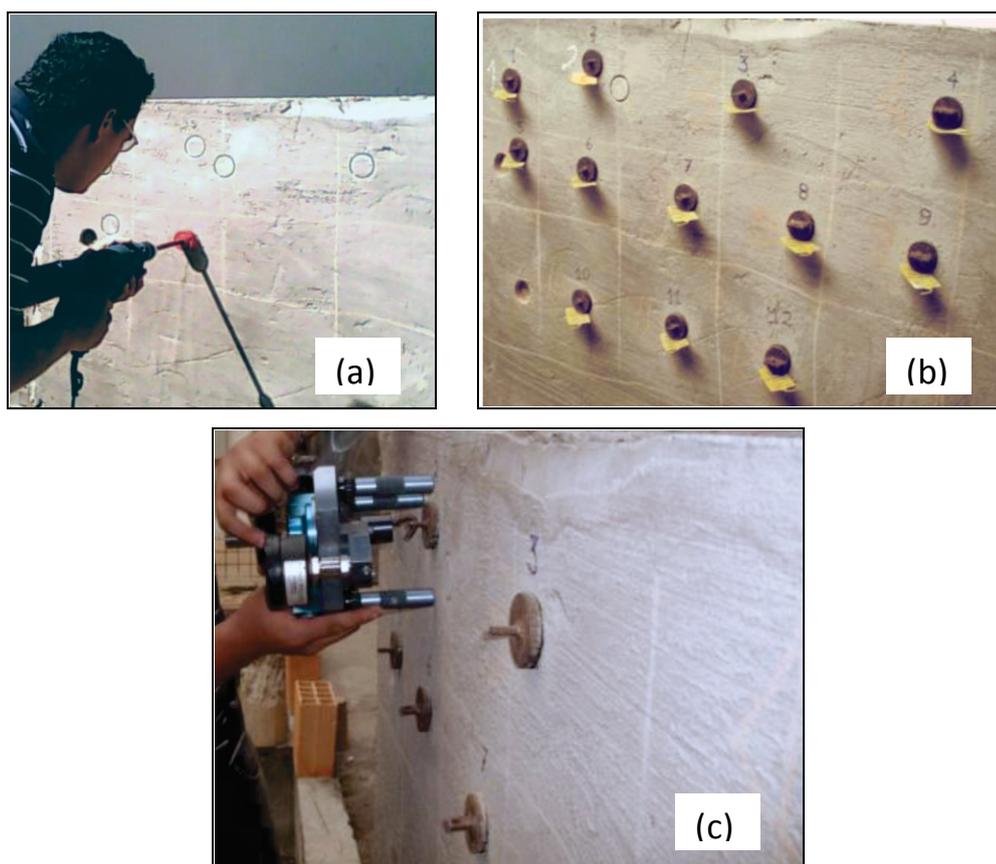


Figura 3.6 – (a) Execução do corte do revestimento. (b) Colagem das pastilhas metálicas. (c) Aplicação da carga de tração direta com dinamômetro.

¹⁵ Há uma norma mais recente para esta avaliação: NBR 13528 (ABNT, 2010), porém, quando do planejamento dos ensaios realizados nesta pesquisa a norma em vigor ainda era a NBR 13528 (ABNT, 1995).

Para cada ensaio realizado foram registradas as cargas de ruptura, o diâmetro efetivo do corpo-de-prova, a espessura do revestimento e os percentuais dos tipos de ruptura. A Tabela 3.4 sumariza as situações avaliadas no ensaio de resistência de aderência.

Tabela 3.4 – Situações avaliadas no ensaio de resistência de aderência da argamassa de revestimento.

Propriedade avaliada	Situações avaliadas	N. de avaliações			Total
		Idades (dias)			
		7	28	120	
Resistência de aderência à tração direta	Argamassa de emboço aplicada sobre Chapisco 1:3, sem aditivo e sem cura	10	10	10	30
	Argamassa de emboço aplicada sobre Chapisco 1:3, sem aditivo e curado	10	10	10	30
	Argamassa de emboço aplicada sobre Chapisco 1:3, com aditivo e sem cura	10	10	10	30
	Argamassa de emboço aplicada sobre Chapisco 1:3, com aditivo e curado	10	10	10	30
Nº total de corpos-de-prova					120

3.6.4 Caracterização da Microestrutura Porosa dos Blocos Cerâmicos e das Argamassas de Revestimento

Para realização da análise da microestrutura porosa dos materiais, foram retiradas amostras dos blocos cerâmicos e das argamassas, aplicadas sobre os painéis e nas diferentes condições de tratamento de base. Estas foram retiradas próximas do chapisco e preparadas adequadamente de forma a possibilitar suas avaliações. A seguir resumem-se os ensaios que foram realizados:

a) porosimetria por intrusão de mercúrio

Este ensaio foi realizado no Laboratório do Grupo de Crescimento de Cristais e Materiais Cerâmicos do Departamento de Física da USP de São Carlos – SP. Os corpos-de-prova possuíam dimensões máximas de 8 mm de diâmetro e 25 mm de comprimento.

Teve-se por objetivo os seguintes resultados:

- a. distribuição do tamanho dos poros (%);
- b. área específica (m^2/g);
- c. diâmetro médio dos poros (μm);
- d. diâmetro característico dos poros (μm);
- e. diâmetro crítico dos poros (μm).

b) porosimetria por dessorção de vapor de água

As amostras das argamassas e do bloco, utilizadas na realização do ensaio de porosimetria por dessorção, foram também extraídas dos painéis avaliados sob as diferentes condições já referenciadas. As dimensões destas foram de aproximadamente 20 mm de comprimento por 10mm de diâmetro.

Neste ensaio, as amostras com dimensões aproximadas de 20 mm de comprimento por 10mm de diâmetro foram colocadas em água de cal, por 5 dias, até saturação completa, sendo em seguida pesadas e armazenadas em recipientes com solução saturada de LiCl, MgCl₂, K₂CO₃, NaBr, NaCl, KCl, KNO₃, K₂SO₄ e água destilada. A pressão de vapor de água, assim obtida, provém de umidade relativa por volta de 11%, 33%, 43%, 59%, 75%, 86%, 94%, 98% e 100%, respectivamente.

Foram feitos registros periódicos das massas das amostras até sua estabilização. Após esta etapa, as amostras foram secas em estufa (até constância de massa), a temperatura de 105°C para obtenção de sua massa seca. A relação entre o diâmetro aproximado da abertura do poro que está vazio (seco) a uma certa umidade relativa é dada pela lei de Kelvin, como apresentada na Tabela 3.5.

Tabela 3.5- Diâmetro do poro suscetível à condensação, em função da umidade relativa para a temperatura de 20°C (Kjellsen & Atlasi, 1999).

Soluções Saturadas	Umidade Relativa (%)	Diâmetro do poro (µm)
LiCl	11%	0,0015
MgCl ₂	33%	0,0025
K ₂ CO ₃	43%	0,0035
NaBr	59%	0,0050
NaCl	75%	0,0095
KCl	86%	0,016
KNO ₃	94%	0,04
K ₂ SO ₄	98%	0,1

Os resultados do ensaio são apresentados em volume de água na amostra em relação à massa seca da mesma (ml/g) em função do diâmetro de poro (µm).

Cabe ressaltar a necessidade de fazer uma correção das massas das amostras em relação a uma massa padrão, visto que a massa das diversas amostras armazenadas nos recipientes, com diferentes umidades relativas, não são iguais. O método se aplica para medidas de poros na faixa de 0,0015 a 10 µm, sendo mais adequada para a faixa de 0,0015 a 0,1µm, ou seja, uma faixa de poros com dimensões bem pequenas, o que permite complementar a porosimetria por intrusão de mercúrio e, conseqüentemente, expandir o espectro das dimensões dos poros avaliados dos materiais.

c) Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

Este ensaio foi realizado no Laboratório de Microscopia Eletrônica de Varredura – LABMEV, do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará. O equipamento utilizado foi um MEV modelo LEO-1430, com as seguintes condições de análise para as imagens de elétrons retroespalhados:

- a. corrente de feixe de elétrons = 90 µm;
- b. voltagem de aceleração constante = 20 kv;
- c. distância de trabalho = 15 mm;
- d. tempo de contagem para análise dos elementos = 30 seg.

O microscópio eletrônico de varredura é um tipo de equipamento capaz de produzir imagens de alta resolução da superfície de uma amostra. Os modelos avaliados apresentam uma aparência tridimensional característica e são úteis para avaliar a sua estrutura superficial.

d) Difração de Raio X (DRX)

Este ensaio foi realizado no Laboratório de Caracterização Mineral do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará. A realização deste, apesar de ter caráter qualitativo, promove a identificação das fases cristalinas presentes nas amostras, sendo realizada por análise dos picos presentes no difratograma e pela comparação com bancos de dados específicos. Com este ensaio é possível determinar quanto uma amostra é amorfa ou cristalina.

Para determinação da composição química realizada nos materiais, a técnica utilizada foi a difração de raios X. Nesta análise são obtidos os óxidos presentes, como por exemplo, SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , MgO , K_2O , Ti_2O , entre outros.

Na execução do ensaio utilizaram-se as amostras passadas em peneira ABNT nº 200, correspondendo ao método conhecido como método do pó. O aparelho utilizado para realização do ensaio, foi o Difratômetro SHIMADZU XRD-6000 com radiação $\text{CuK}\alpha$, tensão de 40kV, corrente de 30 mA, modo fixe time, com passo de 0,02 e tempo de contagem de 0,6s, com ângulo 2θ percorrido de 10° a 60° .

4 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Neste capítulo são apresentados e discutidos os resultados obtidos no programa experimental desta dissertação. Inicialmente são expostos os valores relativos aos ensaios realizados com o substrato frente as suas características físicas de absorção de água livre, bem como, suas características de porosidade e textura. Posteriormente, mostram-se os resultados relacionados aos diferentes tratamentos de base e ao espectro de dimensões de poros das argamassas. Finalmente, vêm-se os resultados de resistência de aderência à tração das argamassas realizadas “*in situ*”.

4.1 COMPORTAMENTO DOS BLOCOS CERÂMICOS QUANTO À SUA ABSORÇÃO DE ÁGUA: IRA, ABSORÇÃO TOTAL (SATURAÇÃO), ABSORÇÃO DE ÁGUA (AO LONGO DO TEMPO) E ABSORTIVIDADE

Nesta pesquisa, o bloco cerâmico foi caracterizado com relação à sua capacidade de absorção de água, calculando-se a taxa inicial de absorção de água livre (IRA), absorção de água ao longo do tempo, absorção total de água (saturação) e resistência à compressão. Os resultados médios da caracterização dos blocos cerâmicos constam do Apêndice D.

As Figuras 4.1 e 4.2 mostram os resultados médios dessas determinações.

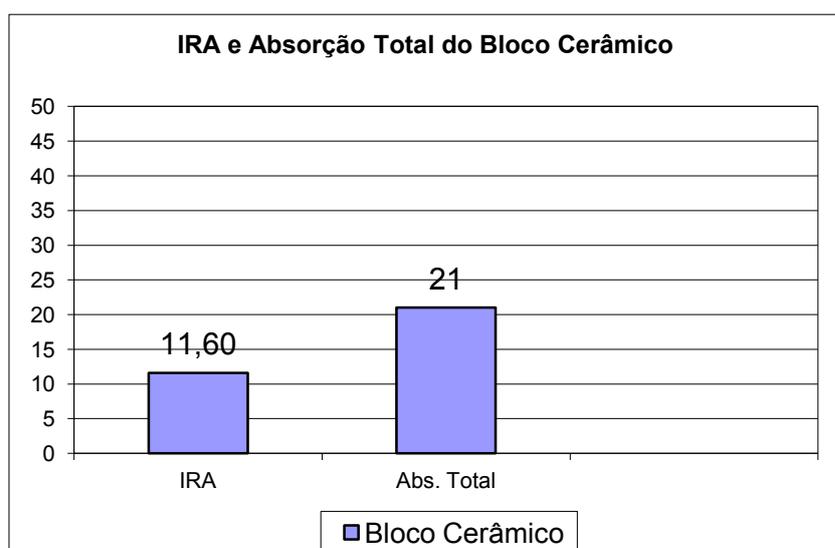


Figura 4.1- Comportamento de absorção de água do bloco cerâmico: IRA e absorção total de água (saturação).

A Figura 4.1 mostra comportamentos distintos entre o IRA e absorção de água total. Logo, pode-se observar que estes medem características diferentes relacionadas às suas respectivas estruturas de poros e natureza.

Paes (2004), analisando o comportamento de blocos cerâmicos com relação à absorção de água, também encontrou valores distintos para o IRA de 25,1 g/194cm²/min, e absorção de água total de 20,0%, concluindo que o índice de absorção inicial de água (IRA), por si só não define a capacidade de aderência entre a argamassa e o substrato, sendo que curva de absorção de água ao longo do tempo mostrou ter grande potencial de utilização, uma vez que esta permite observar o comportamento desses componentes (blocos cerâmicos) desde o instante inicial até a sua saturação, mostrando peculiaridades entre os diferentes tipos de substratos avaliados em sua pesquisa.

Da mesma forma Scartezini, 2002 e Leal, 2003, concluíram que a avaliação que possivelmente melhor consiga caracterizar o comportamento desses componentes seja a avaliação da curva de absorção de água ao longo do tempo. Por meio desta se perceber características inerentes a cada tipo de bloco em analogia à sua absorção de água, conforme mostrado na Figura 4.2.

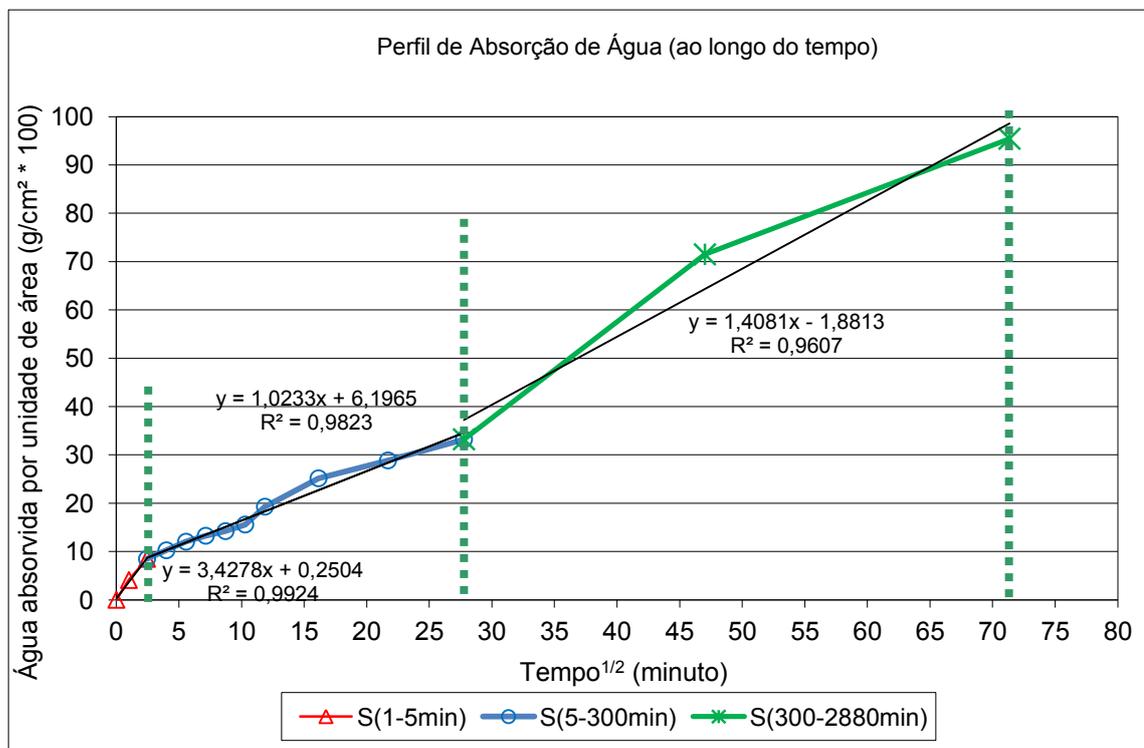


Figura 4.2- Comportamento de absorção de água do bloco cerâmico, ao longo do tempo, para determinação de sua absorvidade (S).

A partir da curva de absorção de água ao longo do tempo (Figura 4.2), foram determinadas as absortividades dos blocos, as quais avaliam indiretamente as velocidades de sucção de água dos componentes. Foram tomados como parâmetros os coeficientes angulares das retas ajustadas aos pontos da leitura do ensaio de absortividade S_{1-5} , de 1 a 5 minutos, parâmetro que caracteriza a absorção nos momentos em que ela é mais intensa. Já o parâmetro S_{5-300} , de 5 a 300 minutos, foi determinado de forma a verificar a influencia de tempos maiores de absorção. Finalmente, o parâmetro $S_{300-2880}$, caracteriza os momentos em que as camadas superficiais do substrato ficam próximas da saturação resultando numa absorção mais lenta com tendência à estabilização (HONÓRIO e CARASEK, 2010).

Os resultados obtidos foram de $3,43\text{cm}^2/\text{min}$ para $S_{1-5\text{min}}$; de $1,68\text{cm}^2/\text{min}$ para $S_{5-300\text{min}}$, e de $1,32\text{ cm}^2/\text{min}$ para $S_{300-2880\text{min}}$. As absortividades mostram que os blocos cerâmicos ainda continuam absorvendo água por um tempo bastante longo, provavelmente, em decorrência de sua estrutura de poros de tamanhos menores e sua superfície densa e compacta.

Estas características são percebidas pela análise da superfície dos blocos, apresentada na Figura 4.3. As micrografias mostram o bloco cerâmico ampliado na magnitude de 600X.

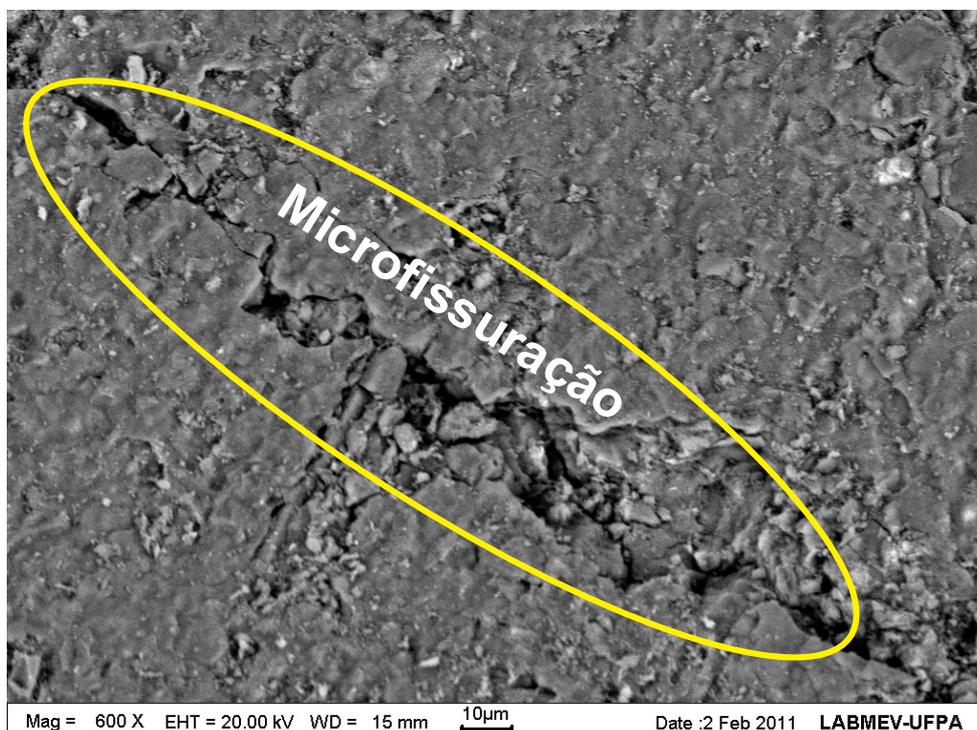


Figura 4.3– Micrografia da amostra de substrato cerâmico obtido por meio de MEV.

Observa-se por meio da micrografia a existência de microfissurações, possivelmente proveniente do processo de fabricação dos blocos cerâmicos. Nota-se ainda, que as características superficiais do bloco (densa, compacta e lisa) podem dificultar a ancoragem de argamassas aplicadas sobre esse tipo de substrato, pois, segundo Scartezini e Carasek (2003), uma maior rugosidade superficial favorece o intertravamento da argamassa (macroancoragem), permitindo uma melhor penetração desta no interior do bloco e, conseqüentemente, maior resistência de aderência nesta interface.

4.2 ANÁLISE DA POROSIDADE DOS BLOCOS CERÂMICOS: POROSIMETRIA POR INTRUSÃO DE MERCÚRIO E POROSIMETRIA POR DESSORÇÃO

O procedimento de ensaio da porosimetria por intrusão de mercúrio se desenvolveu em duas etapas. Primeiramente, a intrusão de mercúrio na amostra ocorreu sob baixa pressão (de 0 a 30 Psi) até o momento em que esta pressão tornou-se ineficaz, sendo conseqüentemente transportada para a segunda célula de pressão, onde a intrusão de mercúrio ocorreu sob alta pressão (de 30 a 33.000 Psi). Como resultado deste processo, teve-se a distribuição do tamanho dos poros¹⁶ e a porosidade total das amostras. Para a obtenção da porosidade total, fez-se a somatória do volume de mercúrio introduzido, tanto à baixa quanto à alta pressão.

A Figura 4.4 – (A), representa a relação entre o volume de mercúrio incremental *versus* diâmetro dos poros. Sendo que, esta relação indica, por meio do volume de mercúrio intrudido, a quantidade de poros de um determinado diâmetro.

¹⁶ Micro poro: diâmetro < 0,1µm;
Poro capilar: 0,1µm ≤ diâmetro ≤ 20 µm;
Macro poro – diâmetro > 20 µm (CEB, 1993).

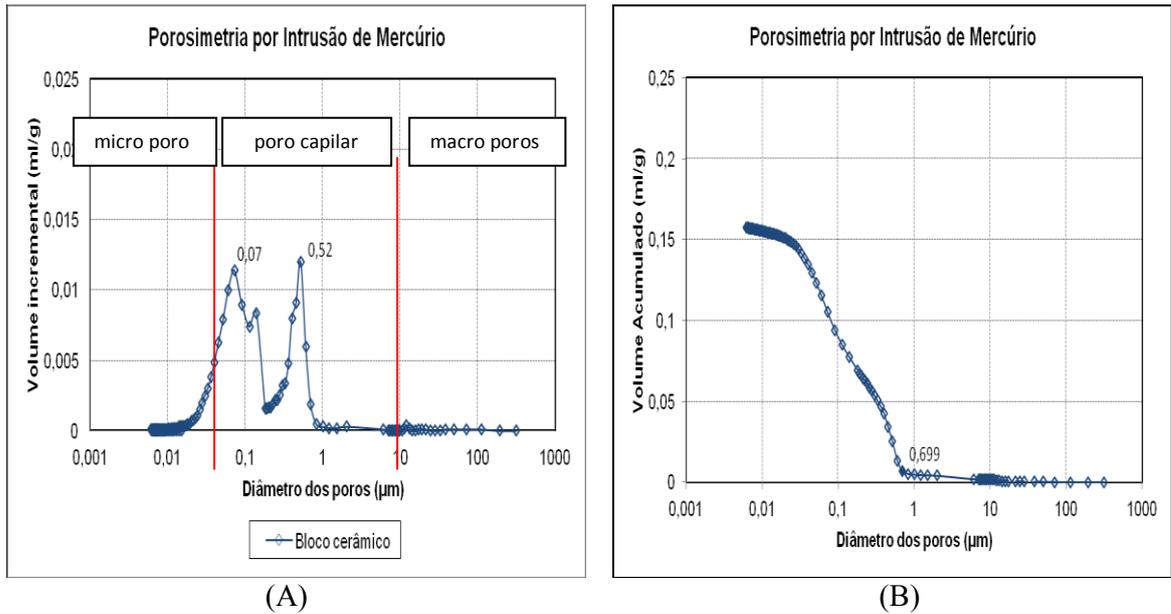


Figura 4.4– Distribuição do tamanho de poros dos substratos obtidos com o uso da porosimetria por intrusão de mercúrio. **(A)**- Volume incremental (ml/g) X diâmetro dos poros (µm). **(B)**- Volume acumulado (ml/g) *versus* diâmetro dos poros (µm).

Pela análise do gráfico do volume de mercúrio incremental *versus* diâmetro dos poros (Figura 4.4–A), observa-se que o bloco cerâmico apresenta duas faixas de poros característicos. Uma está entre 0,01 µm a 0,21 µm e a outra entre 0,22 µm a 1,21 µm, região onde se encontra o *diâmetro característico* (0,52 µm), definido neste estudo como o tamanho de poros onde se tem o valor máximo de volume intrudido, sendo este valor retirado dos resultados apresentados no gráfico de volume incremental, do qual se pode extrair também o diâmetro médio e a área total de poros.

O Gráfico de volume de mercúrio acumulado *versus* diâmetro dos poros (Figura 4.4 – B) apresenta a quantidade total de mercúrio intrudido por unidade de massa da amostra a um determinado nível de pressão atingida durante o ensaio. Este fornece a porosidade do material até o diâmetro de poro correspondente. Do mesmo gráfico é retirado o valor do diâmetro crítico (0,70 µm) sendo este definido como a menor dimensão de poro acima da qual se estabelece uma trajetória de poros conectados de uma extremidade a outra da amostra (SATO, 1998). A Tabela 4.1 apresenta os resultados referentes à porosidade das amostras dos blocos cerâmicos, obtidos por intrusão de mercúrio.

Tabela 4.1 - Resultados referentes à porosidade da amostra do bloco cerâmico, obtidos por meio de intrusão de mercúrio.

Características	Substrato ou Base
	Bloco Cerâmico
Diâmetro crítico (μm)	0,60
Diâmetro característico (μm)	0,52
Diâmetro médio (μm)	0,07
Área total de poros (m^2/g)	8,75
Volume intrudido (ml/g)	0,16
Porosidade (%)	32,31

Cabe ressaltar que os dados referentes ao diâmetro médio, área total de poros, volume intrudido e porosidade total foram obtidos diretamente pelo equipamento do ensaio.

Como dito anteriormente, a outra técnica utilizada para análise da porosidade dos blocos cerâmicos foi a de dessorção por vapor d'água. O período correspondente de sua execução até a obtenção dos resultados para análise foi de aproximadamente sete meses, até estabilização das amostras. Os resultados são apresentados na Figura 4.5 (A e B).

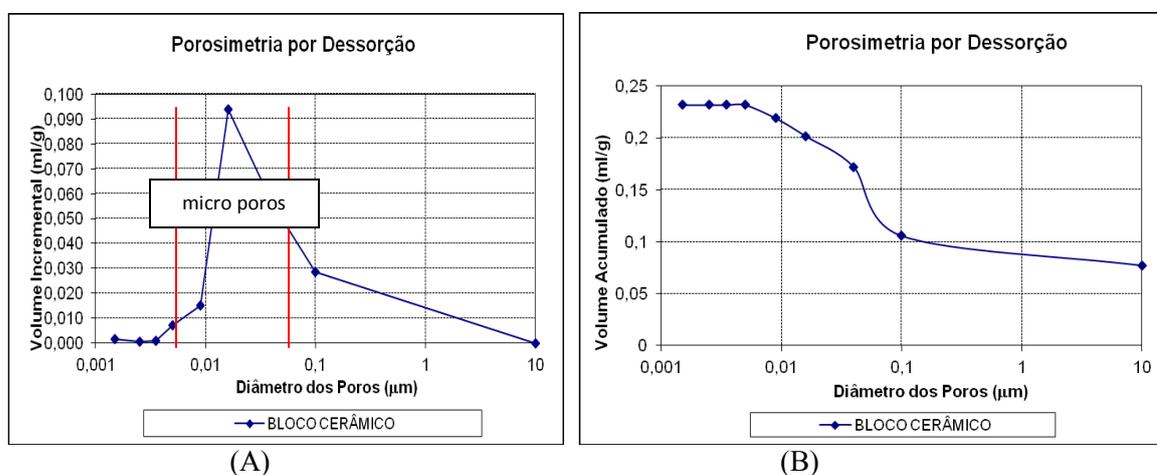


Figura 4.5– Distribuição do tamanho de poros do substrato com o uso da porosimetria por dessorção de vapor de água. **(A)**-Volume incremental (ml/g) X diâmetro dos poros (μm). **(B)**-Volume acumulado (ml/g) X diâmetro dos poros (μm).

Pela análise do gráfico volume de vapor de água intrudido *versus* diâmetro dos poros (Figura 4.5-A), observa-se que o bloco cerâmico apresenta uma faixa de poros característicos entre 0,01 μm a 10 μm , com diâmetro característico de 0,016 μm e com valor de diâmetro crítico de 0,03 μm (Figura 4.5-B). Vê-se também uma concentração maior de poros na faixa entre 0,01 a 0,1 μm (micro poros).

A análise da porosidade do bloco cerâmico mostrou que as duas técnicas de porosimetria podem ser utilizadas com o objetivo de se complementarem, sendo que a porosimetria por intrusão de mercúrio se aplica a uma faixa de poros mais ampla (micro poros, poros capilares e macro poros). Já a porosimetria por dessorção de vapor de água é mais indicada para amostras com poros de diâmetros menores, entre 0,0015 a 0,01 μm .

Tais resultados corroboram com os encontrados por outros autores como, por exemplo, Paes (2004) e Kazmierczak, *et al.* (2007). Em ambos os trabalhos foram constatadas diferenças significativas tanto na textura superficial como na porosidade do bloco cerâmico, sendo que esses autores fizeram uma análise comparativa entre o bloco cerâmico e o de concreto. No substrato cerâmico houve duas regiões distintas: entre 30 e 200 μm e entre 0,01 e 3 μm , com maior quantidade de poros nessa última região, correspondente aos micro poros.

Carasek (1996) ressalta-se que os poros considerados fundamentais para a determinação das características dos revestimentos são os condutos abertos de dimensão capilar (poros capilares), tendo em vista que são eles que apresentam elevada capacidade de succionar à água da argamassa e, conseqüentemente, uma maior deposição dos produtos de hidratação do cimento na interface argamassa/substrato.

4.3- PULVERULÊNCIA DO CHAPISCO E RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA SUPERFICIAL E FISSURAÇÃO DA ARGAMASSA DE REVESTIMENTO

Como dito no programa experimental, para a avaliação da pulverulência foi utilizado um objeto metálico e pontiagudo (prego) pressionado contra a superfície dos chapiscos e dos revestimentos.

No caso do chapisco, esta verificação foi realizada após 3 (três) dias de sua aplicação adotando-se as recomendações de Ceotto *et al.*(2005). Os autores sugerem que sejam feitas observações da profundidade do sulco produzido, concluindo que, que quanto mais profundo for o sulco, menor é a dureza e resistência da superfície analisada. As figuras a seguir mostram a análise da pulverulência dos chapiscos sob as diferentes condições de tratamentos de base empregadas.

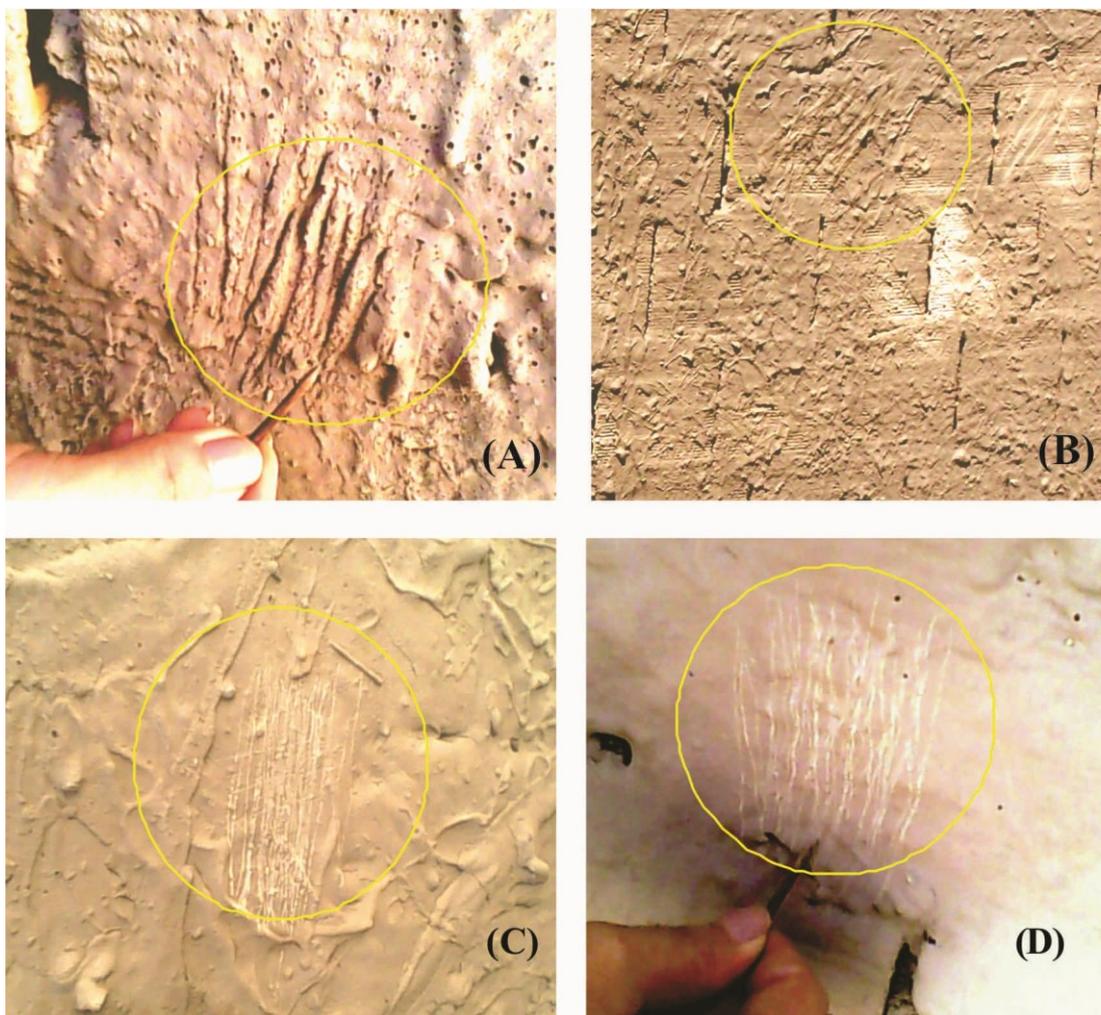


Figura 4.6- Análise da pulverulência dos chapiscos após três dias de sua aplicação.

(A)- Chapisco 1:3, sem cura. (B)- Chapisco 1:3, com cura.

(C)- Chapisco 1:3+SBR, sem cura. (D)- Chapisco 1:3+SBR, com cura.

As análises da pulverulência dos chapiscos mostram diferenças expressivas entre eles. O chapisco **1:3, sem cura** apresentou sinais de esfrelamento e baixa adesão ao substrato (Figura 4.6-A). Esta ocorrência possivelmente está relacionada à granulometria fina da areia empregada e à falta de um procedimento contínuo de cura, os quais interferem em suas características e no desempenho futuro do revestimento.

Este fato tornou-se evidente a partir do momento em que, sobre o mesmo tipo de base e com o mesmo traço do chapisco (1:3), porém, adotando-se a cura deste por três dias consecutivos (**1:3, com cura**), as condições de pulverulência e adesão foram sensivelmente melhoradas (Figura 4.6-B).

Adicionando-se ao chapisco o **aditivo SBR**, segundo dosagem recomendada pelo fabricante, percebeu-se nitidamente o seu efeito físico (a partir do efeito químico), tornando o chapisco muito resistente ao risco, sendo necessário inclusive um certo esforço físico para friccioná-lo, independentemente do procedimento (ou não) de cura (Figura 4.6- C e D).

Já com relação à análise da resistência de aderência superficial da argamassa de revestimento, notou-se que estas apresentavam resistência ao risco e com coesão das partículas, independentemente do tipo de tratamento aplicado à base.

A apreciação da fissuração deu-se pela evolução destas em cada painel durante todos os 120 dias de análise. Estas foram classificadas de acordo com sua abertura, por meio do uso de um fissurômetro, sendo quantificadas pela soma das medidas de seus comprimentos, em milímetros, dividido pelo valor da área de cada painel (m²).

A Figura 4.7 mostra a apreciação da fissuração nos painéis, com seus respectivos tratamentos de base. A Tabela 4.2 apresenta os valores médios das fissuras encontradas em cada painel, após um período de 120 dias. Cabe ressaltar que as fissuras próximas às extremidades dos painéis foram desconsideradas nesta análise, pois, possivelmente, ocorreram devido ao procedimento executivo do revestimento (sarrafeamento).

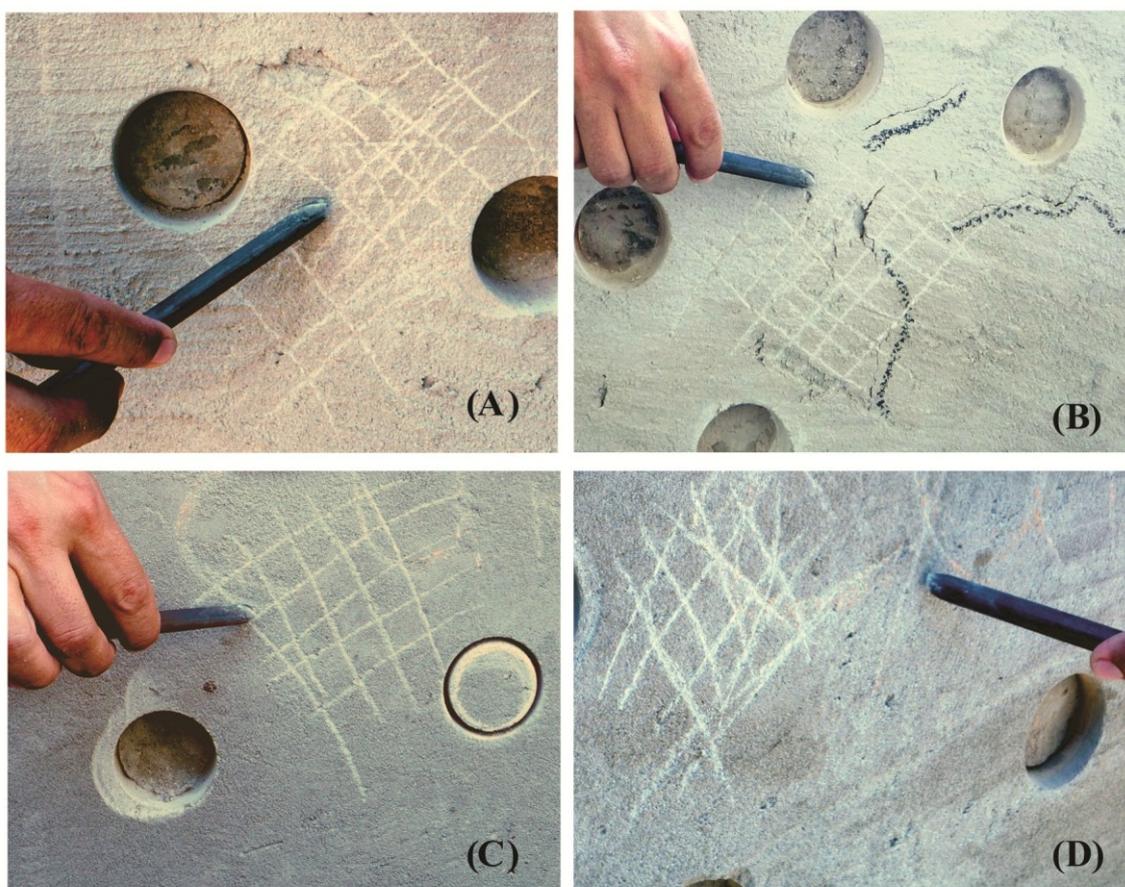


Figura 4.7- Análise da fissuração da argamassa de emboço aplicada sobre os diferentes tratamentos de base. (A)- Chapisco 1:3, sem cura. (B)- Chapisco 1:3, com cura. (C)- Chapisco 1:3+SBR, sem cura. (D)- Chapisco 1:3+SBR, com cura.

Tabela 4.2- Resultados médios da fissuração da argamassa de emboço, com diferenciação do tratamento de base, após um período de 120 dias.

Diferentes Tratamentos de Base	Resultados médios de Fissuração (mm)
Chapisco 1:3, sem cura	0,50
Chapisco 1:3, com cura	0,30
Chapisco 1:3 + SBR sem cura	0,35
Chapisco 1:3 + SBR com cura	0,20

A argamassa de revestimento aplicada sobre o chapisco **1:3+SBR com cura** apresentou menor valor de abertura das fissuras e menor quantidade de fissuras visíveis. O mesmo ocorreu com o aplicado sobre o chapisco **1:3, com cura**. Este resultado, possivelmente, deve-se à cura por aspersão de água das argamassas. Observou-se ainda que, os painéis em que se utilizaram os tratamentos de base com a presença do aditivo SBR foram os que apresentaram menores quantidades de fissuras visíveis.

Por outro lado, a argamassa de revestimento aplicada sobre o **Chapisco 1:3, sem cura** (Figura 4.7 A) apresentou maior valor de abertura de fissuras. Este resultado, possivelmente, se deve à falta de cura contínua do chapisco. Este fato é bastante interessante de ser observado, pois muitos profissionais da área técnica (engenheiros e mestres de obras) dizem não ser necessária a cura das argamassas na nossa região, em decorrência das características do clima local (chuvas contínuas e alta umidade relativa), no entanto, a cura tem por definição ser um procedimento “contínuo” e não sujeito às variações climáticas. Esta (cura) mostrou ser um fato determinante para a resistência de aderência do revestimento.

Neste sentido, Silva (2002), observou que a cura das argamassas, mediante proteção contra a secagem precoce por ação do vento ou do sol e eventual umedecimento, constitui uma peça chave para a prevenção da fissuração por retração hidráulica, uma vez que, apesar de não diminuir o valor final da retração, esta ocorre num período em que as argamassas já têm resistência mecânica suficiente.

4.4 AVALIAÇÕES DAS ESTRUTURAS DE POROS DA ARGAMASSA DE REVESTIMENTO

4.4.1 Porosimetria por intrusão de mercúrio e por dessorção de vapor de água

Por meio dos ensaios de porosimetria por intrusão de mercúrio foi possível observar diferenças nas estruturas porosas da argamassa de emboço, relacionadas diretamente ao tipo de tratamento de base aplicado. Isto porque, o tipo de substrato, a argamassa de emboço, as condições ambientais e as idades de ensaios foram às mesmas para os diferentes tratamentos de base empregados.

As Figuras 4.8 a 4.11 e a Tabela 4.3 mostram os resultados obtidos para a argamassa com a realização dessas técnicas.

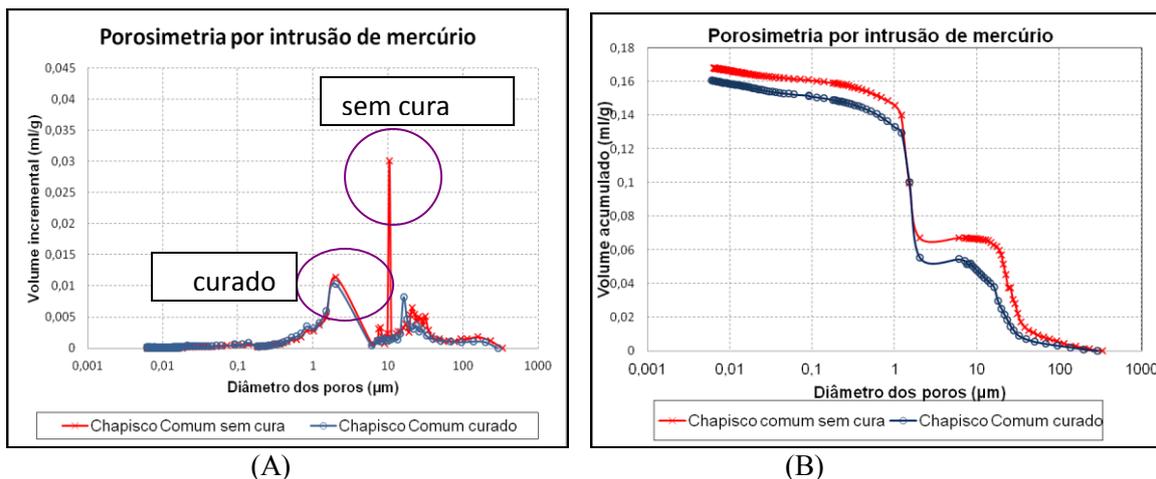


Figura 4.8- Distribuição do tamanho de poros da argamassa com uso da porosimetria por intrusão de mercúrio. **Chapisco 1:3, sem cura e Chapisco 1:3, com cura.**
 (A) Volume incremental (ml/g) versus diâmetro dos poros (μm).
 (B) Volume acumulado (ml/g) versus diâmetro dos poros (μm).

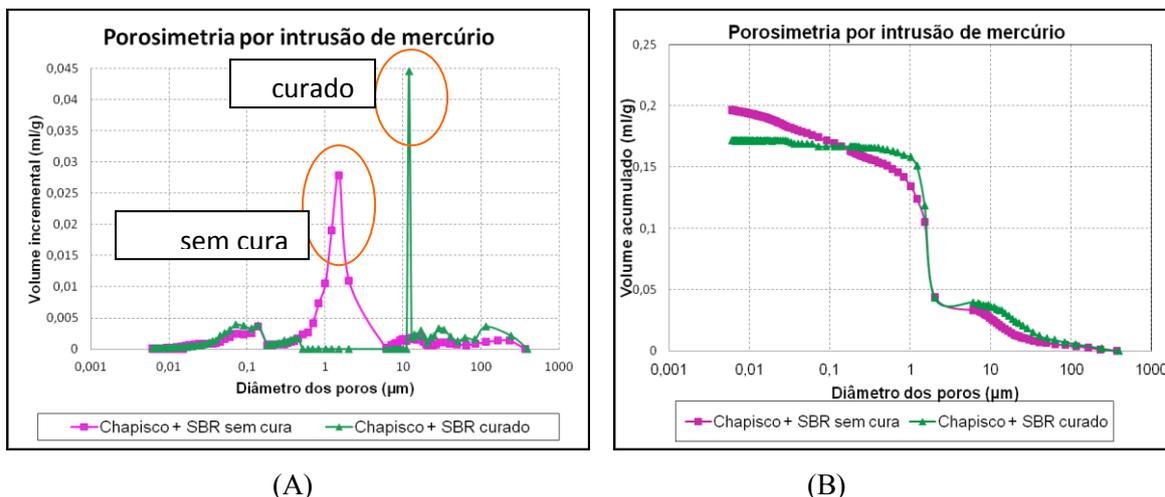


Figura 4.9- Distribuição do tamanho de poros da argamassa com uso da porosimetria por intrusão de mercúrio. **Chapisco 1:3+SBR, sem cura e Chapisco 1:3+SBR, com cura.**
 (A) Volume incremental (ml/g) versus diâmetro dos poros (μm).
 (B) Volume acumulado (ml/g) versus diâmetro dos poros (μm).

Tabela 4.3 - valores referentes à porosidade obtidos por intrusão de mercúrio, das amostras das argamassas de emboço aplicadas sobre as diferentes situações de chapisco.

Características da porosidade	Argamassa de emboço aplicada sobre:			
	Chapisco 1:3 sem cura	Chapisco 1:3 curado	1:3 + SBR sem cura	1:3 + SBR curado
Diâmetro crítico (μm)	1,20	2,01	2,02	1,50
Diâmetro característico (μm)	10,41	6,03	1,51	11,85
Diâmetro médio (μm)	0,31	0,17	0,12	0,14
Área total de poros (m^2/g)	2,17	2,57	5,40	4,81
Volume intrudido (ml/g)	0,17	0,11	0,16	0,17
Porosidade (%)	32,75	21,48	30,90	31,21

As Figuras de volume incremental (4.8A e 4.9A) mostram que os picos de tamanho de poros característicos das argamassas sofreram uma inversão ao aplicá-las sobre as bases tratadas com polímero SBR, em relação aos tratamentos 1:3, com e sem cura, conforme destacados nos gráficos.

Outro fato observado foi que, ao aplicar a argamassa sobre os chapiscos aditivados com SBR, a área total de poros das argamassas (m^2/g) foi em torno de 100% superior, em comparação com as argamassas aplicadas sobre os chapiscos 1:3 (com e sem cura). Destacando-se ainda, que a porosidade das argamassas (%) sobre os tratamentos aditivados também foi bastante elevada, principalmente, quando se compara a situação em que se aplicou a argamassa sobre o chapisco 1:3 (curado) com a aplicação sobre o chapisco 1:3+SBR (curado), esta última foi 67% superior.

Cabe ressaltar que, apesar da área total de poros e da porosidade elevada das argamassas aplicadas sobre as bases tratadas com aditivo SBR, deve ser destacado o valor do diâmetro característico da argamassa aplicada sobre o chapisco 1:3+SBR (sem cura). Os resultados apresentados na Tabela 4.3 mostram que apesar da sua porosidade elevada, o diâmetro prevaiente desta argamassa foi o de menor valor, independentemente da situação avaliada.

O fato da argamassa aplicada sobre o chapisco 1:3+SBR (curado) não ter tido o mesmo comportamento, pode estar relacionado ao excesso de umidade (cura, chuvas e a umidade relativa elevada) ter trazido prejuízo para a formação do filme polimérico, uma vez que, a argamassa aplicada sobre a base sem polímero SBR, porém com a aplicação da cura (chapisco 1:3 – curado), teve seu diâmetro característico na ordem de 6,03 μm , ou seja, em torno de 70% e 60% menor, em comparação com as aplicadas sobre as bases em que se utilizou o chapisco 1:3+SBR (curado) e o chapisco 1:3 (sem cura), respectivamente.

Segundo algumas pesquisas, como por exemplo, a de Santos (2003), a utilização de polímeros no tratamento de base, em geral, ocasiona uma diminuição no volume de poros da argamassa para todos os raios, principalmente para os menores. Segundo Ohama (1998), a redução do tamanho dos poros ocorre, principalmente, devido ao preenchimento dos vazios pelo filme polimérico durante o processo de coalescência do látex.

Neste sentido, Silva (2001) observou que a formação do filme polimérico no interior de pastas de cimento requer grandes pressões para a sua ruptura e que, quanto maior o teor de polímero

(dentro do espectro do teor ótimo), mais resistente é esse filme, ocasionando, em geral, em uma maior resistência da argamassa.

Com relação ao comportamento da argamassa empregada na pesquisa, analisado com o emprego da porosimetria por intrusão de mercúrio, estes foram corroborados ao se utilizar a porosimetria por dessorção de vapor de água, que é um tipo de técnica mais precisa para avaliação de poros de menor diâmetro (0,0015 a 10 μ m, sendo mais indicada para a faixa de 0,0015 a 0,1 μ m) e que pode ser utilizada para complementar e aumentar a análise referente ao espectro de dimensões de poros. As Figuras 4.10 e 4.11 mostram os resultados obtidos com o uso da referida técnica (porosimetria por dessorção de vapor de água).

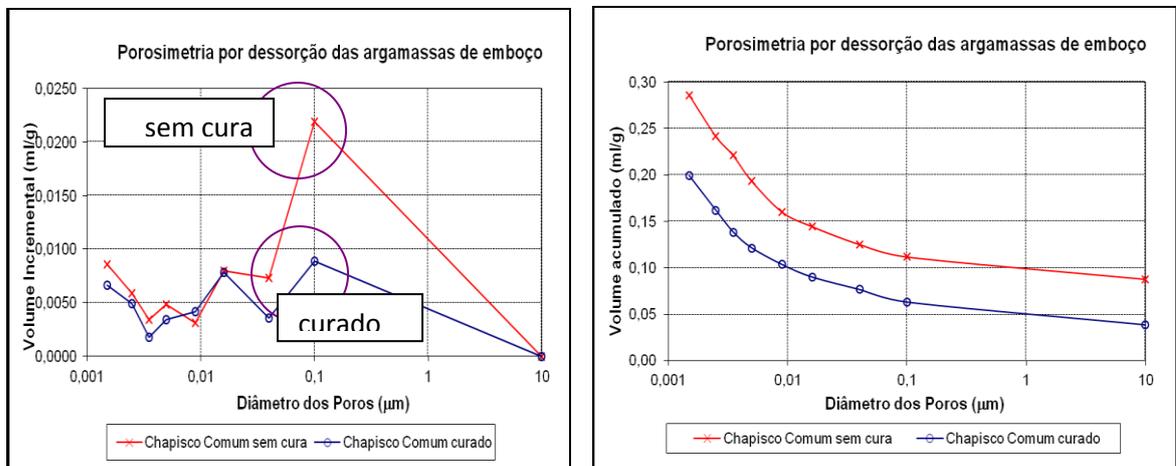


Figura 4.10- Distribuição do tamanho de poros da argamassa com uso da porosimetria por dessorção de vapor de água. **Chapisco 1:3, sem cura e Chapisco 1:3, com cura.**
 (A) Volume incremental (ml/g) versus diâmetro dos poros (μ m).
 (B) Volume acumulado (ml/g) versus diâmetro dos poros (μ m).

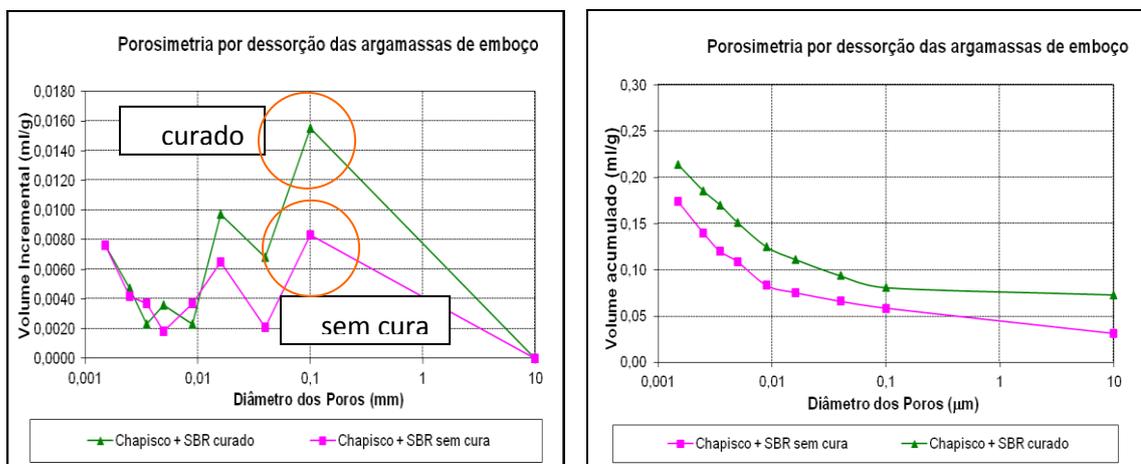


Figura 4.11- Distribuição do tamanho de poros da argamassa com uso da porosimetria por dessorção de vapor de água. **Chapisco 1:3+SBR, sem cura e Chapisco 1:3+SBR, com cura.**
 (A) Volume incremental (ml/g) versus diâmetro dos poros (μ m).
 (B) Volume acumulado (ml/g) versus diâmetro dos poros (μ m).

Nota-se que as mesmas inversões nos picos de diâmetros característicos das argamassas, observados na porosimetria por intrusão de mercúrio, também foram reproduzidos com o uso da técnica de porosimetria por dessorção, inclusive para o mesmo intervalo de diâmetro de poros.

Este fato é relevante, uma vez que permite, por meio do método de porosimetria por dessorção, a validação dos resultados anteriormente analisados pela porosimetria por mercúrio, mostrando que as duas técnicas podem ser complementares.

Ainda no sentido de se pesquisar melhor as porosidades das argamassas foram retiradas de regiões próximas aos chapiscos, amostras que foram submetidas à análise em um microscópio eletrônico de varredura com sinais de elétrons secundários (ES) e com aumento de 33 vezes, na escala 200 μm . As micrografias são apresentadas na Figura 4.12 (a, b, c e d).

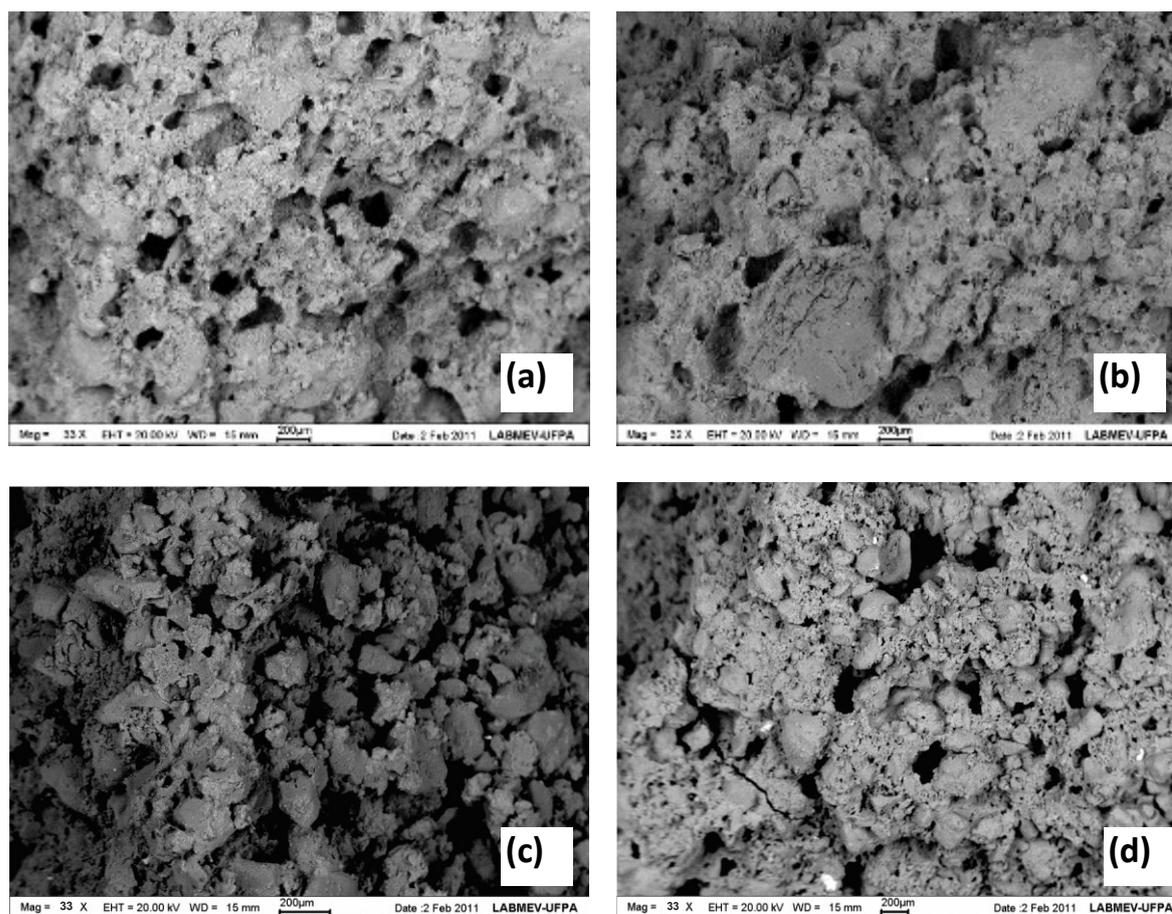


Figura 4.12: Micrografias da argamassa de emboço aplicada sobre as diferentes situações de chapisco, com aumento de 33 vezes, na escala 200 μm : (a) Chapisco 1:3 (sem cura); (b) Chapisco 1:3 (curado); (c) Chapisco + SBR (sem cura) e (d) Chapisco + SBR (curado).

As imagens mostram que apesar da argamassa ser a mesma, para as diferentes situações avaliadas, o fato de ter havido mudanças no tratamento de base, provocou alterações na estrutura porosa desta. Ressalta-se especialmente, o fato da argamassa aplicada sobre chapisco **1:3+SBR (sem cura** - Figura 4.10 C), apresentar poros maiores, porém, também uma quantidade expressiva de poros de pequenos diâmetros, corroborando com que diz a literatura, a respeito deste efeito do polímero na porosidade de pastas e argamassas, conforme explanado anteriormente.

Nota-se ainda, a discrepância entre a forma de poro cilíndrico, assumida pelo Modelo de Washburn¹⁷ para obtenção dos resultados da porosimetria por intrusão de mercúrio, e a que realmente ocorre nos materiais (poros irregulares) (RATO, 2006). Neste sentido, apesar da argamassa de revestimento (emboço) ter em sua composição aditivo incorporado de ar (com teor de 13%), não foi observado predominância de poros cilíndricos, geralmente observados em argamassas com este elemento. Este fato pode está relacionado ao teor não muito elevado de aditivo nas argamassas utilizadas, pois em geral, este tipo de poro é mais facilmente observado em argamassas com teores mais elevados de incorporação de ar.

Para a determinação da composição química da argamassa, também foram retiradas amostras próximas à região dos chapiscos, na idade de 120 dias. A técnica utilizada foi a difração por raios X. Nesta análise foram obtidos os óxidos presentes na argamassa. Cabe ressaltar, que o uso desta técnica baseia-se somente em uma análise qualitativa. No entanto, os resultados podem ser utilizados, futuramente, para averiguar aspectos relacionados à durabilidade dessas argamassas, como por exemplo, a sua carbonatação. As Figuras 4.13 (A e B) e 4.14 (A e B) mostram os difratogramas obtidos para as argamassas de emboço, aplicadas sobre os diferentes tratamentos de base. Já a Tabela 4.4 apresenta a legenda das fases identificadas nos difratogramas.

¹⁷ No Modelo de Washburn, utilizado para obtenção dos resultados da porosimetria por intrusão de mercúrio, o poro é assumido como sendo cilíndrico e independentes uns dos outros compondo um conjunto de poros paralelos e conectados individualmente à superfície do material (SATO, 1998).

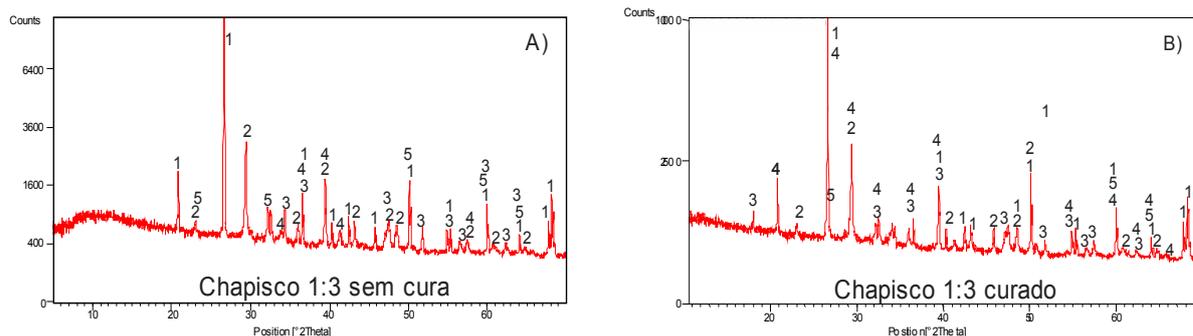


Figura 4.13- Difratomogramas da argamassa aplicada sobre diferentes tratamentos de base. (A) chapisco 1:3 (sem cura). (B) Chapisco 1:3 (curado).

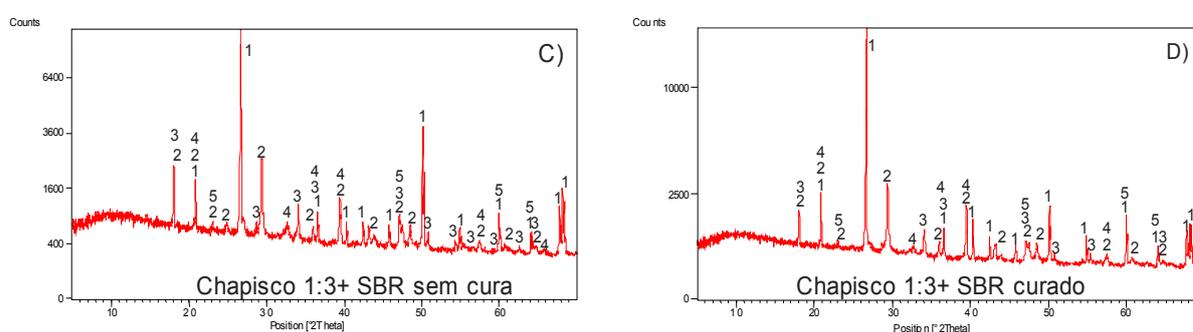


Figura 4.14- Difratomogramas da argamassa aplicada sobre diferentes tratamentos de base. (C) chapisco 1:3+SBR (sem cura). (D) Chapisco 1:3+SBR (curado).

Tabela 4.4- Legenda das fases identificadas nos difratogramas, para as argamassas aplicadas sobre os diferentes tratamentos de base.

Nº	Composição química	Compostos ou fases mineralógicas
1	SiO ₂	Quartzo
2	Ca(CO ₃)	Calcita
3	Ca(OH) ₂	Portlandita
4	CaSO ₄ +H ₂ O	Gipsita
5	Ca ₂ Fe Al O ₅	Brownmillerite

Os picos dos elementos presentes nos difratogramas mostram que se trata de argamassas com estruturas cristalinas e constituídas essencialmente por carbonatos (calcita, portlandita, gipsita e brownmillerita) e agregado do tipo quartzoso.

Quarcioni (2008), ao estudar a evolução da hidratação em pastas e argamassas de cimento Portland observou a presença dos mesmos elementos relatados nesta pesquisa, e ainda eventualmente o ferro e o alumínio. A presença desses elementos, segundo o autor, pode ser explicada pelo fato de que quando o aglomerante entra em contato com a água, inicialmente ocorre à dissolução do sulfato, do hidróxido de cálcio e dos aluminatos provenientes da hidratação do cimento, gerando íons de cálcio, sulfato, hidroxila e aluminato. Por meio da sucção exercida pelos capilares do substrato (base) esses íons são carregados para o interior dos seus poros onde precipitam na forma de hidratos ocupando os vazios da superfície.

4.5 AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA DA ARGAMASSA

Os resultados obtidos no ensaio de resistência de aderência à tração das argamassas foram submetidos à análise de variância (ANOVA) para a determinação da dependência dos fatores associados a esta propriedade de acordo com as variações de estudo.

Ressalta-se que para cada ensaio realizado foram registrados as cargas de ruptura, o diâmetro efetivo dos corpos-de-prova e os percentuais dos tipos de ruptura. A Tabela 4.5 e a Figura 4.15 mostram os resultados médios de resistência de aderência da argamassa de emboço, aplicada sobre as diferentes situações de chapisco. Cabe observar que os resultados individuais constam do Apêndice E.

Tabela 4.5 - Resultados médios da resistência de aderência e resultados em percentuais, da análise da forma de ruptura dos corpos-de-prova submetidos ao ensaio de resistência de aderência à tração.

IDADES	SITUAÇÕES DE CHAPISCO (1:3)	Rad.(Média) (MPa)	Forma/ Tipos de Ruptura (%)* (A, B, C, D, E e F)
7 DIAS	1:3 sem cura(Ref.)	0,15	B – 60%; C – 30%; E – 10%
	1:3 curado	0,20	B – 60%; C - 40%; D – 10%
	1:3+ SBR sem cura	0,22	B – 70%; C – 10%; e D – 20%
	1:3 + SBR curado	0,15	B – 60%; C – 20%, D – 20%
28 DIAS	1:3 sem cura(Ref.)	0,23	A – 20%; B – 40%; C – 40%
	1:3 curado	0,29	B – 50%; C – 40%; D – 10%
	1:3+ SBR sem cura	0,33	A – 10%; B – 70%; C – 10%; D – 10%
	1:3 + SBR curado	0,22	B – 60%; C – 30%; D – 10%
120 DIAS	1:3 sem cura(Ref.)	0,30	B – 70%; C – 20; D – 10%
	1:3 curado	0,40	B – 40%; C – 50%; D – 10%
	1:3+ SBR sem cura	0,63	B – 40%; C – 50%; D – 10%;
	1:3 + SBR curado	0,31	B - 60%; C – 30%; D – 10%

***Tipo A:** interface chapisco/substrato; **Tipo B:** interface argamassa/chapisco; **Tipo C:** argamassa de revestimento; **Tipo D:** substrato; **Tipo E:** interface revestimento/cola e **Tipo F:** interface cola/pastilha.

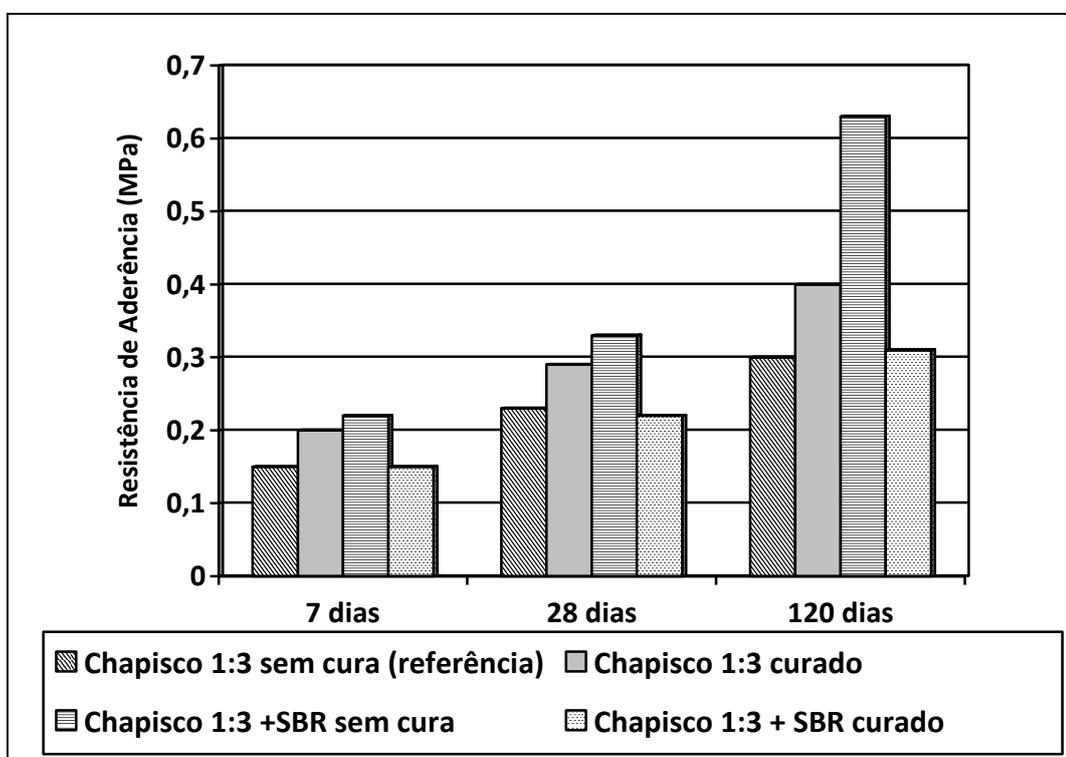


Figura 4.15 - Resultados médios de resistência de aderência à tração dos revestimentos aplicados sobre as diferentes situações de chapisco, nas idades de 7, 28 e 120 dias.

Os resultados de aderência mostram a influência direta dos diferentes tratamentos de base sobre esta propriedade e da sua evolução ao longo do tempo. Pode-se observar que, para todas as situações de chapisco, os valores de resistência de aderência aos 7 dias, ficaram abaixo de 0,30 MPa. Aos 28 dias, somente o chapisco 1:3 + SBR sem processo de cura (0,33 MPa), atendeu à prescrição da NBR 13749 (ABNT, 1996), a qual recomenda uma resistência de aderência mínima de 0,30 MPa para revestimentos externos.

Já na idade de 120 dias, os resultados mostram que a resistência de aderência das argamassas, independentemente do tratamento de base aplicado, atendeu ao valor mínimo estabelecido por norma. Ressalta-se que a argamassa aplicada sobre o chapisco **1:3 + SBR (sem cura)**, foi à situação que apresentou os maiores valores de resistência de aderência, nas três idades avaliadas. Esta evolução aproxima-se de 100% entre as idades de 28 a 120 dias. O segundo melhor resultado para esta propriedade (aderência) foi o da argamassa aplicada sobre o chapisco **1:3 (com cura)**.

Notou-se que as argamassas aplicadas sobre os chapiscos 1:3 (sem cura) e o chapisco 1:3+SBR (curado) apresentaram resistência de aderência com valores bem aproximados (menores valores de aderência), nas três idades. Possivelmente, o excesso de umidade pode ter prejudicado, no caso do tratamento de base com adição de polímero (curado), a formação do filme polimérico responsável pelo preenchimento dos poros, e na conseqüente melhora da resistência de aderência da argamassa.

Observou-se ainda que, a cura úmida do chapisco 1:3 propiciou um aumento de cerca de 43% na resistência de aderência em comparação com o não curado. Porém, deve ser ressaltado que mesmo a argamassa aplicada sobre o chapisco 1:3-não curado (referência), apresentou evolução na sua resistência de aderência (cerca de 33%), conforme o avanço das idades. Este crescimento pode está relacionado ao clima da cidade de Belém, onde a umidade relativa do ar fica em torno de 80% e chuvas freqüentes.

Pela análise do tipo de falha nos rompimentos do ensaio de aderência pode-se observar que os tipos de ruptura são muito variados, no entanto, nota-se uma predominância da falha por aderência (Tipos B e C). Estes resultados também foram observados nos estudos de Carasek

(1996) e Carasek *et al.* (1999). A Figura 4.16 mostra as rupturas predominantes na avaliação da aderência, para as idades avaliadas.

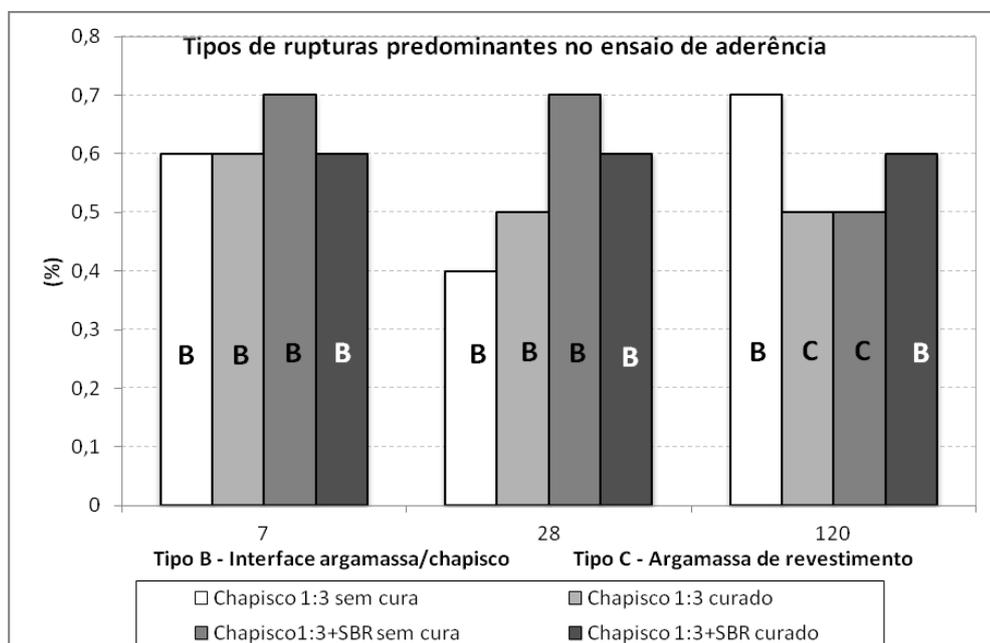


Figura 4.16 – Gráfico indicando os tipos de rupturas predominantes para cada situação de chapisco.

Kazmierczak *et al.* (2007), em estudo sobre a resistência de aderência em diversos tipos de base, observaram que em todos os sistemas nos quais foi utilizado chapisco, a ruptura ocorreu na argamassa (Tipo C) ou na interface argamassa/chapisco (Tipo B). Estes concluíram que a aderência entre o chapisco e o substrato foi superior à sua aderência com a argamassa. O mesmo resultado foi observado por Sabbatini (1998), Scartezini *et al.* (2002) e Angelim *et al.* (2003) para blocos de cerâmica vermelha, evidenciando a importância da aplicação do tratamento de base, independentemente da natureza do substrato empregado.

Scartezini *et al.* (2002), ao verificaram a influência do preparo da base na aderência e na absorção à água dos revestimentos de argamassa, concluíram que o uso da camada de chapisco é favorável ao aumento da resistência de aderência, mas à sua modificação com polímeros não resulta necessariamente em melhoria desta propriedade, podendo até prejudicar o desempenho da argamassa. No estudo destes pesquisadores, o aditivo SBR produziu uma base mais impermeável, dificultando a aderência da argamassa sobre o chapisco devido, segundo eles, a um tamponamento de parte dos poros do chapisco.

Scartezini e Carasek (2003), ao avaliarem alguns fatores que exercem influência na resistência de aderência à tração dos revestimentos, dentre os quais a influência do tipo do bloco da alvenaria (bloco cerâmico ou de concreto), do tipo de preparo do substrato (sem preparo, umedecido, chapiscado e solução de cal) e da adoção da cura úmida dos revestimentos nas idades iniciais, concluíram que o preparo dos substratos influenciou na resistência de aderência dos revestimentos e, que o bloco cerâmico com chapisco na proporção 1:3 (cimento e areia grossa, em volume) aplicado de modo convencional, apresentou maiores valores de resistência de aderência, em média 20% em relação aos outros tratamentos. Com relação à idade do revestimento, os autores concluíram que esta exerce influência na resistência de aderência, porém sem uma coerência física ao longo do tempo.

Diferentemente dos resultados desses autores, na presente pesquisa, os resultados da resistência de aderência foram evoluindo ao longo do tempo, para os quatro tipos de chapisco utilizados. Este fato indica que há influência da idade do revestimento na resistência de aderência, independentemente da composição do chapisco ou cura adotados.

4.5.1 Análise Estatística da Resistência de Aderência

Com os resultados obtidos de resistência de aderência da argamassa de emboço aplicada sobre cada situação de chapisco, realizou-se análise estatística por meio de Análise de Variância – ANOVA. O objetivo da análise de variância é avaliar se as diferenças observadas entre as médias das amostras são estatisticamente significantes. Esta análise foi realizada por meio do software *MINITAB 14*.

Primeiramente comparou-se as médias de resistência de aderência para cada situação de chapisco nas três idades analisadas (7, 28 e 120 dias). Isto foi realizado para se ter idéia da dispersão (ou, inversamente, da precisão) dos dados em relação à grandeza da média pela análise do coeficiente de variação (CV) para cada tratamento. Os resultados estão representados também por meio do gráfico Box-plot. Normalmente, dados muito dispersos são pouco precisos, ou seja, quanto maior é a variância dos dados, menor é a precisão. Então, por definição, coeficiente de variação, que se indica por CV, é a razão entre o desvio padrão (que, na análise de variância, é dado pela raiz quadrada do quadrado médio do resíduo) e a média geral (de todos os dados), isto é,

$$CV = \frac{S}{\bar{X}} \times 100$$

Em seguida realizou-se a análise de variância para cada idade. Nela, as hipóteses testadas foram; H_0 : os tratamentos produzem em média mesma aderência *versus* H_1 : pelo menos um dos tratamentos produz em média aderência diferente dos demais tratamentos.

Para saber se as pressuposições da análise de variância foram satisfeitas, verificou-se: (1) a presença de dados discrepantes; (2) se os erros (resíduos) são independentes e (3) se a distribuição dos erros (resíduos) é normal. Para cada caso foi realizado o Teste de Tukey, para verificar as diferenças das médias a um intervalo de confiança de 95%.

Posteriormente, realizou-se a estatística descritiva para o todo o experimento. Esta análise em conjunto teve como objetivo, observar, por meio do Coeficiente de variação e do gráfico Box-plot, a variação da resistência de aderência de acordo com o avanço das idades, bem como, qual o tratamento apresentou maiores valores de resistência de aderência. A seguir apresentam-se as análises:

a) Tratamento Chapisco 1:3 sem cura

A Tabela 4.6 apresenta as estatísticas descritivas para o tratamento de base chapisco 1:3 sem cura. Nela, pode-se observar que, quanto maior a quantidade de dias do tratamento, maior são os valores médios de aderência.

Tabela 4.6 – Estatísticas Descritivas – Tratamento: Chapisco 1:3 sem cura.

Tratamentos/Idades	Média	D. Padrão	C. Variação
Chapisco 1:3 sem Cura (7)	0,1500	0,0089	5,96%
Chapisco 1:3 sem Cura (28)	0,2267	0,0082	3,60%
Chapisco 1:3 sem Cura(120)	0,3000	0,0089	2,98%
Geral	0,2196	0,0561	25,53%

Além disso, pode-se ver que o chapisco 1:3 sem cura apresenta a menor variabilidade dos dados, aos 120 dias, com 0,0089 no desvio padrão, demonstrando maior precisão, ou menor dispersão dos dados em relação à média. O coeficiente de variação obtido foi: $CV = 25,53\%$.

b) Tratamento Chapisco 1:3 curado

A Tabela 4.7 apresenta as estatísticas descritivas para o Tratamento chapisco 1:3 curado. Nela, pode-se observar que quanto maior o número de dias do tratamento, maiores são os valores médios de aderência.

Tabela 4.7 – Estatísticas Descritivas – Tratamento Chapisco 1:3 curado.

Tratamentos/Idades	Média	D. Padrão	C. Variação
Chapisco 1:3 curado (7)	0,2050	0,0327	15,95%
Chapisco 1:3 curado (28)	0,2867	0,0103	3,60%
Chapisco 1:3 curado (120)	0,3967	0,0175	4,41%
Geral	0,2863	0,0742	25,93%

Pode-se ver que o Tratamento com o chapisco 1:3 curado apresenta a menor variabilidade dos dados, aos 28 dias, com 0,0103 no desvio padrão, demonstrando maior precisão, ou menor dispersão dos dados em relação à média. O coeficiente de variação obtido foi: $CV = 25,93\%$.

c) Tratamento Chapisco 1:3 + SBR sem Cura

A Tabela 4.8 apresenta as estatísticas descritivas para o Tratamento chapisco 1:3 + SBR sem cura. Nela, pode-se observar quanto maior a quantidade de dias do tratamento, maior são os valores médios de aderência.

Tabela 4.8 – Estatísticas Descritivas – Tratamento Chapisco 1:3 + SBR sem Cura

Tratamentos/Idades	Média	D. Padrão	C. Variação
Chapisco 1:3 + SBR sem Cura (7)	0,2183	0,0147	6,74%
Chapisco 1:3 + SBR sem Cura (28)	0,3283	0,0117	3,56%
Chapisco 1:3 + SBR sem Cura (120)	0,6350	0,0378	5,95%
Geral	0,3671	0,1644	44,77%

O Tratamento chapisco 1:3 + SBR sem cura apresenta a menor variabilidade dos dados, aos 28 dias, com 0,0117 no desvio padrão. A partir da relação entre o desvio padrão e da média, obteve-se o $CV = 44,77\%$.

d) Tratamento Chapisco 1:3 + SBR Curado

A Tabela 4.9 apresenta as estatísticas descritivas para o Tratamento chapisco 1:3 + SBR curado. Nela, pode-se observar que, quanto maior a quantidade de dias do tratamento, maior são os valores médios de aderência.

Tabela 4.9 – Estatísticas Descritivas – Tratamento Chapisco Comum + SBR Curado

Tratamentos/Idades	Média	D. Padrão	C. Variação
Chapisco 1:3 + SBR Curado (7)	0,1517	0,0194	12,80%
Chapisco 1:3 + SBR Curado (28)	0,2217	0,0117	5,27%
Chapisco 1:3 + SBR Curado (120)	0,3100	0,0167	5,40%
Geral	0,2200	0,0606	27,57%

O Tratamento chapisco 1:3 + SBR curado apresenta a menor variabilidade dos dados, aos 28 dias, com 0,0117 no desvio padrão. A partir da relação entre o desvio padrão e da média, obteve-se o CV = 27,57%.

Em seguida, analisou-se os resultados de aderência considerando as idades de 7, 28 e 120 dias para os diferentes tipos de chapisco estudados.

e) Experimento em 7 Dias

A Tabela 4.10 e a Figura 4.17 apresentam as estatísticas descritivas para o Experimento em 7 dias. Nela, pode-se ver que o chapisco 1:3 + SBR sem cura apresenta maior valor médio de aderência, com 0,2183 e o Experimento chapisco 1:3 sem cura o menor valor médio de aderência, com 0,1500.

Tabela 4.10 – Estatísticas Descritivas – Experimento em 7 dias.

Tratamentos/Idade	Média	D. Padrão	Variância	C. Variação
Chapisco 1:3 sem Cura (7)	0,1500	0,0089	0,0001	5,96%
Chapisco 1:3 Curado (7)	0,2050	0,0327	0,0011	15,95%
Chapisco 1:3 + SBR sem Cura (7)	0,2183	0,0147	0,0002	6,74%
Chapisco 1:3 + SBR Curado (7)	0,1517	0,0194	0,0004	12,80%
Geral	0,1813	0,0370	0,0014	20,41%

O Chapisco 1:3 sem cura apresenta a menor variabilidade dos dados, com 0,0001 na variância e 0,0089 no desvio padrão.

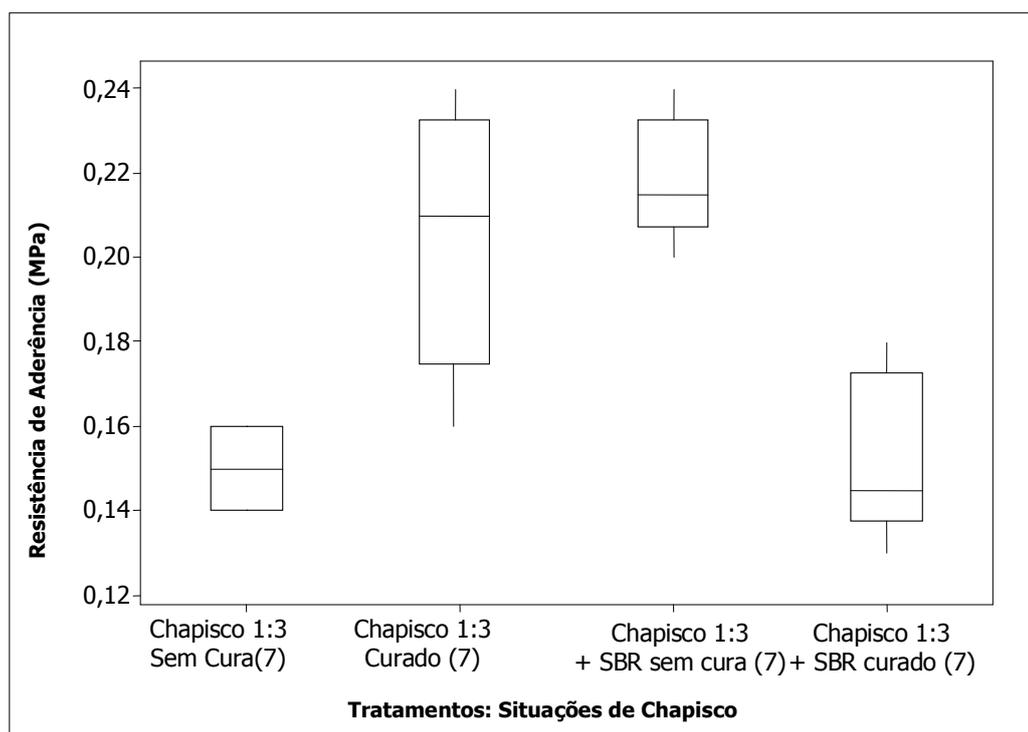


Figura 4.17 – Box Plot - Experimento em 7 dias.

A Figura 4.17 apresenta o gráfico Box-Plot ou Diagrama de Caixa - Experimento com 7 dias. Nela, pode-se observar que o chapisco 1:3 curado apresenta a maior variabilidade dos dados e juntamente com o chapisco 1:3 + SBR sem cura os maiores valores de aderência. O chapisco 1:3 sem cura apresenta a menor variabilidade nos dados e juntamente com o chapisco 1:3 + SBR curado os menores valores de aderência. Confirmando as estatísticas apresentadas na Tabela 4.10. A Tabela 4.11 apresenta a Análise de Variâncias para o Experimento em 7 dias.

Tabela 4.11 – Análise de Variâncias – Experimento em 7 dias.

C. Variação	G. L.	S. Q.	M. Q.	F.calc	Resultado
Tratamentos	3	0,0227	0,0076	17,4	significativo
Resíduos	20	0,0087	0,0004		
Total	23	0,0315			significativo

Coef. Determinação $R^2 = 0,7230$

Coef. Correlação = 0,85

Coefficiente de variação CV = 20,41%

GL = Graus de Liberdade

SQ = Soma dos Quadrados

F = Parâmetro de Fisher para o teste de significância dos efeitos

MQ = Média Quadrada

Resultado = Resultado da análise, o efeito do tratamento considerado é ou não significativo

Para o nível de significância 5% o F crítico $F_c=3,10$ foi obtido com a função estatística INVF registrando a fórmula =INVF (0,05;3;20). Como o valor crítico $F_c=3,10$ é menor que o valor calculado $F_{calc}=17,4$, rejeita-se a hipótese de que as médias de aderência são iguais. Ou seja, pode concluir que, ao nível de 5%, os tratamentos não produzem em média, a mesma aderência. Esta análise mostrou que o modelo adotado é significativo. O coeficiente de determinação R^2 indica que 72,30% da variação total é explicada pela variação de tratamentos.

f) Experimento em 28 Dias

A Tabela 4.12 e a Figura 4.18, apresentam as estatísticas descritivas para o Experimento em 28 dias. Nela, pode-se ver que o chapisco 1:3 + SBR sem cura apresenta maior valor médio de aderência, com 0,3283 e o chapisco 1:3 + SBR curado o menor valor médio de aderência, com 0,2217.

Tabela 4.12 – Estatísticas Descritivas – Experimento aos 28 dias.

Tratamentos/Idade	Média	D. Padrão	Variância	C. Variação
Chapisco 1:3 sem Cura (28)	0,2267	0,0082	0,0001	3,60%
Chapisco 1:3 Curado (28)	0,2867	0,0103	0,0001	3,60%
Chapisco 1:3 + SBR sem Cura (28)	0,3283	0,0117	0,0001	3,56%
Chapisco 1:3 + SBR Curado (28)	0,2217	0,0117	0,0001	5,27%
Geral	0,2658	0,0462	0,0021	17,40%

Pode-se também observar que o experimento chapisco 1:3 sem cura apresenta a menor variabilidade dos dados, com 0,0001 na variância e 0,0082 no desvio padrão.

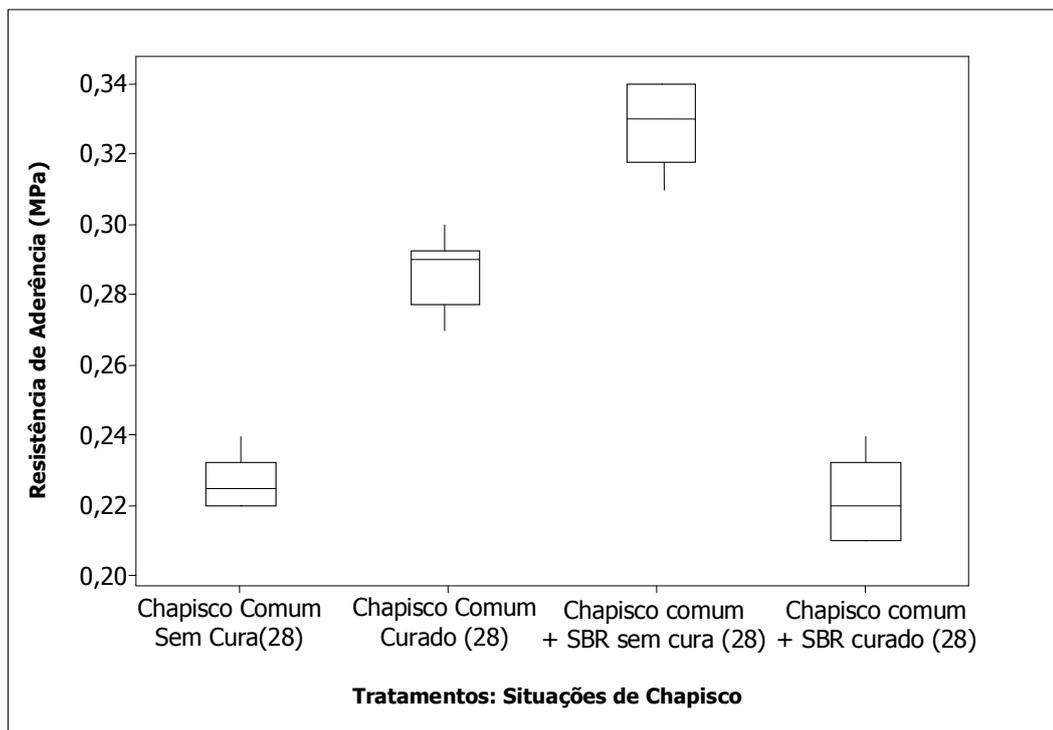


Figura 4.18 – Box Plot - Experimento em 28 dias.

A Figura 4.18 apresenta o gráfico Box-Plot ou Diagrama de Caixa - Experimento em 28 dias. Nela, pode-se observar que os Experimentos chapisco 1:3 + SBR curado e chapisco 1:3 + SBR sem cura apresentam as maiores variabilidade dos dados. O experimento chapisco 1:3 + SBR sem cura apresenta os maiores valores de aderência. Seguido experimento curado. Já o chapisco 1:3 sem cura apresenta a menor variabilidade nos dados e juntamente com o chapisco 1:3 + SBR curado os menores valores de aderência. Confirmando as estatísticas apresentadas na Tabela 4.12. A Tabela 4.13 apresenta a Análise de Variâncias para o Experimento em 28 dias.

Tabela 4.13 – Análise de Variâncias – Experimento em 28 dias.

C. Variação	G. L.	S. Q.	M. Q.	Fcalc	Resultado
Tratamentos	3	0,0470	0,01565	140,15	significativo
Resíduos	20	0,0022	0,000112		
Total	23	0,0492			significativo

Coef. Determinação $R^2 = 0,9546$

Coef. Correlação = 0,98

Coeficiente de variação CV = 17,40%

GL = Graus de Liberdade

F = Parâmetro de Fisher para o teste de significância dos efeitos

Resultado = Resultado da análise, o efeito do tratamento considerado é ou não significativo

Soma dos Quadrados

MQ = Média Quadrada

Para o nível de significância 5% o F crítico $F_c=3,10$ foi obtido com a função estatística INVF registrando a fórmula =INVF (0,05;3;20).

Como o valor crítico $F_c=3,10$ é menor que o valor calculado $F_{calc}=140,15$, rejeita-se a hipótese de que as médias de aderência são iguais. Ou seja, pode concluir que, ao nível de 5%, os tratamentos não produzem em média, a mesma aderência. Esta análise mostrou que o modelo adotado é significativo.

O coeficiente de determinação R^2 , indica que 95,46% da variação total é explicada pela variação de tratamentos.

g) Experimento aos 120 Dias

A Tabela 4.14 e a Figura 4.19 apresentam as estatísticas descritivas para o Experimento em 120 dias. Nela, pode-se ver que o Tratamento chapisco 1:3 + SBR sem cura apresenta maior valor médio de aderência, com 0,6350 e o chapisco 1:3 sem cura o menor valor médio de aderência, com 0,3000.

Tabela 4.14 – Estatísticas Descritivas – Experimento em 120 dias.

Tratamentos/Idade	Média	D. Padrão	Variância	C. Variação
Chapisco 1:3 sem Cura (120)	0,3000	0,0089	0,0001	2,98%
Chapisco 1:3 Curado (120)	0,3967	0,0175	0,0003	4,41%
Chapisco 1:3 + SBR sem Cura (120)	0,6350	0,0378	0,0014	5,96%
Chapisco 1:3 + SBR Curado (120)	0,3100	0,0167	0,0003	5,40%
Geral	0,4104	0,1395	0,0195	34,00%

Pode-se ver que o tratamento chapisco 1:3 sem cura apresenta a menor variabilidade dos dados, com 0,0001 na variância e 0,0089 no desvio padrão.

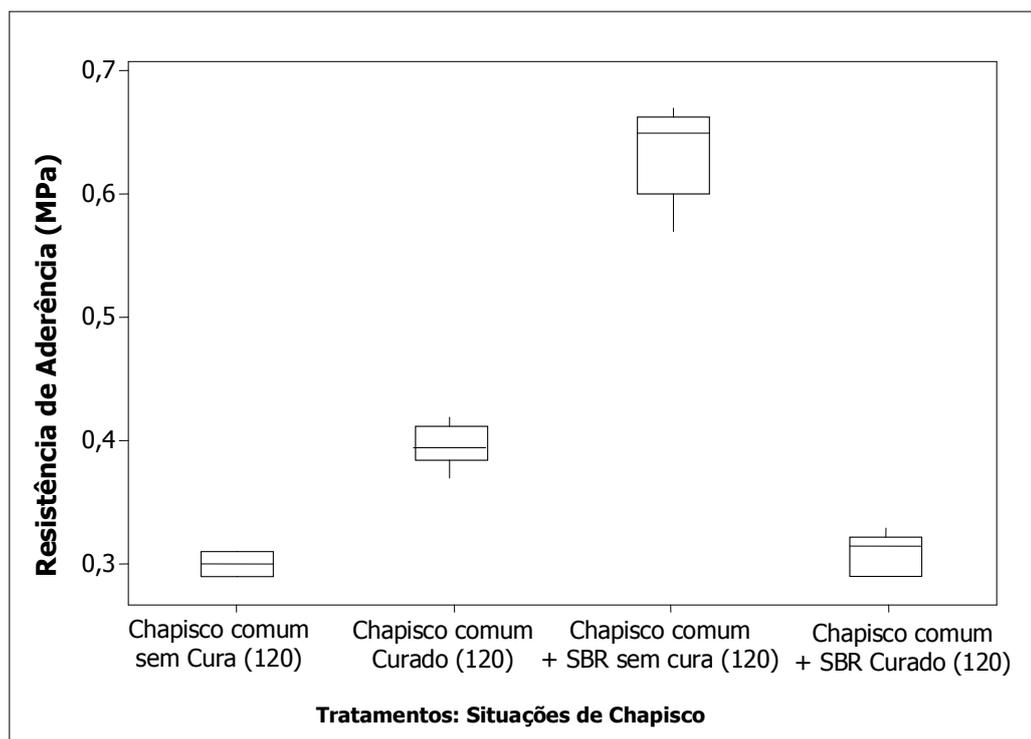


Figura 4.19 – Box Plot - Experimento em 120 dias.

A Figura 4.19 apresenta o gráfico Box-Plot ou Diagrama de Caixa - Experimento em 120 dias. Nela, pode-se observar que o tratamento chapisco 1:3 + SBR sem cura apresenta a maior variabilidade dos dados. Além disso, o tratamento chapisco 1:3 + SBR sem cura apresenta os maiores valores de aderência. Seguido do chapisco 1:3 curado. Já o tratamento chapisco 1:3 sem cura apresenta a menor variabilidade nos dados e juntamente com o chapisco 1:3 + SBR curado os menores valores de aderência. Confirmando as estatísticas apresentadas na Tabela 4.14. A Tabela 4.15 apresenta a Análise de Variâncias para o Experimento em 120 dias.

Tabela 4.15 – Análise de Variâncias – Experimento em 120 dias.

C. Variação	GL	S. Q.	M. Q.	Fcalc	Resultado
Tratamentos	3	0,4374	0,1458	278,16	significativo
Resíduos	20	0,0105	0,0005		
Total	23	0,4479			significativo

Coef. Determinação $R^2 = 0,9766$

Coef. Correlação = 0,98

Coeficiente de variação CV = 34,00%

GL = Graus de Liberdade

Soma dos Quadrados

F = Parâmetro de Fisher para o teste de significância dos efeitos

MQ = Média Quadrada

Resultado = Resultado da análise, o efeito do tratamento considerado é ou não significativo

Para o nível de significância 5% o F crítico $F_c=3,10$ foi obtido com a função estatística INVF registrando a fórmula =INVF (0,05;3;20).

Como o valor crítico $F_c=3,10$ é menor que o valor calculado $F_{calc}=278,16$, rejeita-se a hipótese de que as médias de aderência são iguais. Ou seja, pode concluir que, ao nível de 5%, os tratamentos não produzem em média, a mesma aderência. Esta análise mostrou que o modelo adotado é significativo.

O coeficiente de determinação R^2 , indica que 97,66% da variação total é explicada pela variação de tratamentos.

9) Análise Geral do Experimento

A Tabela 4.16 e a Figura 4.20 apresentam as estatísticas descritivas para o todo o experimento. Nela, pode-se observar que o valor média de aderência é 0,2732, com desvio padrão de 0,1151.

Tabela 4.16 – Estatísticas Descritivas para todo o Experimento

Estatísticas	Média	D. Padrão	C. Variação
Geral	0,2732	0,1151	42,11%

A partir da análise estatística realizada, observou-se que, o conhecimento das diferenças encontradas entre as resistências médias obtidas para cada corpo-de-prova, contribuiu satisfatoriamente para a avaliação dos resultados do ensaio de resistência de aderência à tração. Sendo que as menores variabilidades entre as médias foram observadas para a idade de 28 dias

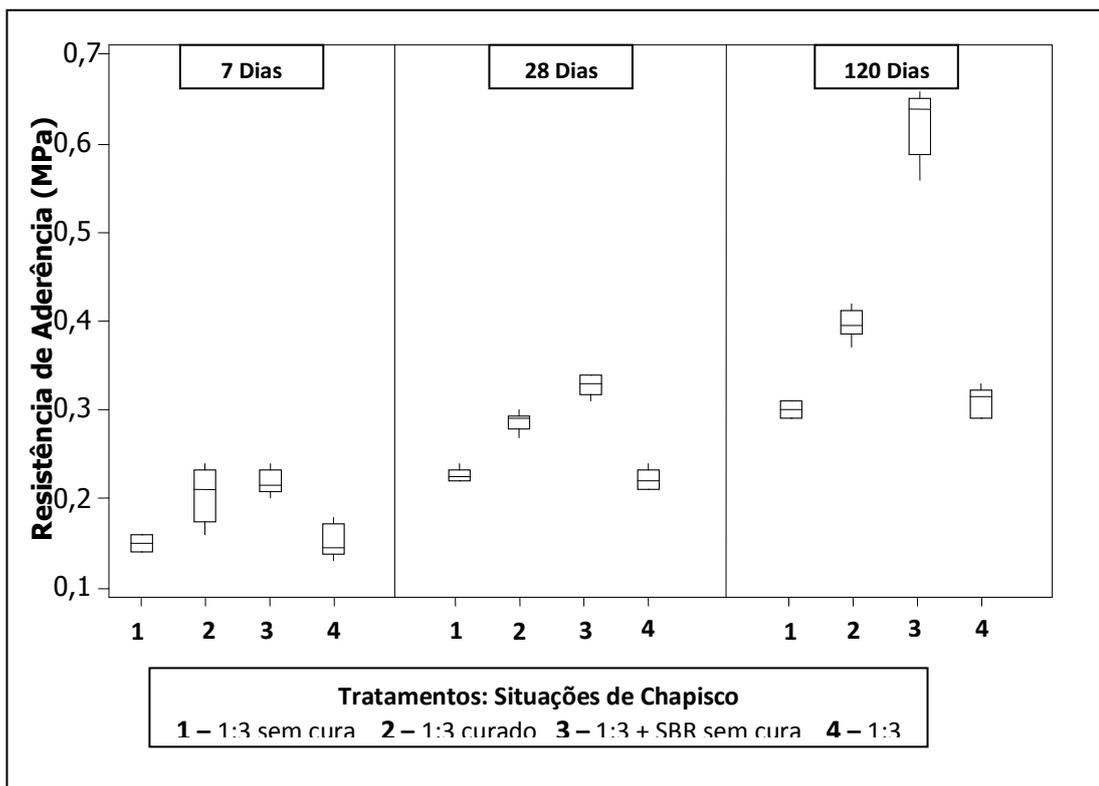


Figura 4.20 – Box Plot – Análise geral do experimento.

Pela análise da Figura 4.20, pode-se observar que, quanto maior a idade em que se realizaram os ensaios, maiores são os valores da resistência de aderência. E que o Tratamento chapisco 1:3 + SBR sem cura é o que apresenta os maiores valores de resistência de aderência, tanto aos 28 como 120 dias.

Geralmente, experimentos realizados em obra (*in situ*), apresentam coeficiente de variação em torno de 30%, sendo este resultado observado em todas as situações de chapisco aqui empregadas, independentemente da idade do ensaio.

Observou-se ainda que, o Tratamento **chapisco 1:3 curado** apresentou resistências médias 23,30% superiores em relação ao tratamento **1:3 não curado**, evidenciando a importância da cura para o aumento da resistência de aderência. Já o Tratamento **1:3 + SBR sem cura**, apresentou resistências de aderência 40,07% superiores em relação ao tratamento **1:3 + SBR curado**.

5- CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES PARA FUTURAS PESQUISAS

A seguir são apresentadas com base nos resultados do programa experimental e das análises realizadas, as conclusões do trabalho, válidas em princípio, para os materiais e condições do estudo em questão, bem como, as sugestões para futuras pesquisas.

5.1- CONCLUSÕES

A realização desta pesquisa experimental teve como principal conclusão que os diferentes tratamentos de base empregados exerceram influência direta nos resultados de resistência de aderência da argamassa.

Esta propriedade (aderência) reflete a interação entre a argamassa e o substrato e, portanto, depende das características associadas a estes dois materiais. A argamassa idêntica, aplicada sobre um mesmo tipo de substrato (alvenaria de blocos cerâmicos) teve valores de resistência de aderência distintos, de acordo com a mudança de tratamento de base aplicado, para todas as idades avaliadas (7, 28 e 120 dias). Esta foi majorada ou minimizada, segundo mudanças do tipo de tratamento adotado.

O fato da areia utilizada na confecção do chapisco e da argamassa de emboço ser de granulometria fina (sendo a mais indicada à areia de granulometria média ou grossa) e ainda, a superfície do bloco cerâmico ser denso, compacto e liso pode formar uma “barreira natural” ao transporte de água entre os materiais, principalmente, nos instantes iniciais. Este fato pode estar relacionado aos valores abaixo do preconizado pela NBR 13749 (ABNT, 1996), na idade de 28 dias, com exceção da argamassa aplicada sobre o **chapisco 1:3+aditivo SBR (sem cura)**.

O chapisco de referência **1:3, sem cura** (caso usual de obra) apresentou sinais de esfarelamento e baixa adesão ao substrato. Este acontecimento indica que a granulometria fina da areia empregada (fora dos padrões normativos recomendados) e a falta de um procedimento contínuo de cura, interferem em suas características e no desempenho futuro do revestimento. A argamassa de emboço aplicada sobre este tratamento de base foi a que apresentou os menores valores de resistência de aderência, independentemente da idade avaliada.

A partir do momento em que, sobre o mesmo tipo de base e com o mesmo traço do chapisco (1:3), porém, adotando-se a cura deste por três dias consecutivos (**1:3, com cura**), as condições de pulverulência e adesão foram sensivelmente melhoradas e os valores de resistência de aderência foram somente inferiores ao do tratamento de base com aditivo SBR (sem cura).

A argamassa aplicada sobre o chapisco **1:3+aditivo SBR (sem cura)**, foi a que teve o melhor resultado de aderência, em todas as idades consideradas. Esta também foi a que apresentou, qualitativamente, o menor índice de pulverulência (do chapisco e do emboço) e de fissuração (emboço).

Contrariamente ao que era esperado, o fato de ter sido realizado a cura úmida no chapisco **1:3+aditivo SBR**, fez com que o seu desempenho fosse inferior ao chapisco sem aditivo, porém, **curado (1:3, curado)**. Tal ocorrência pode estar relacionada ao excesso de umidade (cura e condições ambientais) que pode ter sido prejudicial à formação do filme polimérico e no conseqüente efeito de diminuição da porosidade da argamassa.

Em suma, com relação aos tratamentos de base empregados neste estudo, pode-se concluir que:

- caso se opte pelo uso do chapisco convencional (1:3, cimento: areia úmida, em volume), é primordial o procedimento **contínuo** da cura (por um tempo mínimo de 48 horas). No caso de se escolher o uso do chapisco aditivado (pelo menos nos elementos não estruturais), este não deve ser submetido a umidades excessivas (não deve ser curado).
- As técnicas utilizadas para caracterizar a estrutura porosa da argamassa e do substrato por meio da avaliação do espectro de dimensões de seus poros (porosimetria por intrusão de mercúrio e porosimetria por dessorção de vapor de água) mostraram-se sensíveis para este fim, sendo que as mesmas inversões nos picos de diâmetros característicos das argamassas, observados na porosimetria por intrusão de mercúrio, também foram reproduzidos com o uso da técnica de porosimetria por dessorção, inclusive para o mesmo intervalo de diâmetro de poros. Este fato é relevante, uma vez que permitiu, por meio da porosimetria por dessorção, a validação dos resultados anteriormente

analisados pela porosimetria por mercúrio, mostrando que as duas técnicas podem ser complementares.

- A distribuição dos poros do substrato pela análise conjunta das duas técnicas permitiu observar que o substrato cerâmico tem um grande volume de poros de pequenos diâmetros. Estes, apesar de sua elevada força de sucção, possivelmente, retiram uma menor quantidade de água da argamassa nos instantes iniciais, o que influencia diretamente na deposição dos produtos de hidratação do cimento e conseqüentemente, na resistência de aderência da argamassa. Este fato pôde ser observado por meio da curva de absorção de água do substrato, ao longo do tempo.
- A análise das características de absorção de água livre dos blocos: taxa inicial de absorção de água (IRA); absorção total; absorção de água ao longo do tempo e absorvidade mostrou que cada uma delas avalia uma característica diferente dos substratos. Com relação ao IRA e sua possível analogia direta com a resistência de aderência, percebeu-se que este parâmetro não seria a melhor forma de avaliação.
- A taxa inicial de absorção de água (IRA), serve de “indicador do potencial absorvente” do componente frente à argamassa sendo necessário considerar, dentre outros, a porosidade dos materiais. Neste sentido, a curva de absorção de água ao longo do tempo mostrou ter grande potencial de utilização, uma vez que esta permite observar o comportamento dos componentes (blocos) desde o instante inicial até a sua saturação, mostrando peculiaridades de acordo com a natureza do(s) substrato(s) avaliado(s).

5.2- SUGESTÕES PARA FUTURAS PESQUISAS

Com base no estudo desenvolvido propõe-se a continuação da pesquisa por meio dos tópicos listados a seguir.

- avaliação da resistência de aderência de outros tipos de argamassas (industrializadas, aditivadas), aplicadas sobre diferentes tipos de tratamento e substratos (bloco de concreto, sílico-calcário, estrutura de concreto, concreto celular, etc.);

- avaliar o transporte de água da argamassa e sua posterior aderência levando-se em consideração as condições ambientais;
- avaliação da influência de diferentes composições granulométrica das areias empregadas nas argamassas (chapisco e emboço) e suas correlações com as características e propriedades do revestimento (retração, fissuração, retenção de água, aderência, etc.);
- estudo sobre a influência da porosidade das argamassas e dos substratos no desenvolvimento da aderência com base em sua caracterização microestrutural.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, N. J. D. **Avaliação dos aditivos incorporadores de ar em argamassas de revestimento**. Dissertação (Mestrado) – Programa de pós graduação em Estrutura e Construção Civil, Universidade de Brasília. Brasília, 2002. 175 p.

ANDRADE, N. P. H.; VEIGA, F. N. **Microscopia Eletrônica de Varredura. Informativo**, Furnas Centrais Elétricas S.A, 1998.

ANDRADE, C.; SARRÍA, J. e ALONSO, C. **Relative humidity in the interior of concrete exposed to natural and artificial weathering**. In: *Cement and Concrete Research*, v.29, 1999. 1249 – 1259

ANGELIM, R.R.; Angelim, S.C.M. e Carasek, H. **“Influência da adição de finos calcários, silicosos e argilosos nas propriedades das argamassas e dos revestimentos.”** In: *V Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas*, São Paulo, Brasil, 2003. 519-531.

ANTUNES, R. P. N. **Influência da Reologia e da Energia de Impacto na Resistência de Aderência de Revestimentos de Argamassa**. Tese (Doutorado em Engenharia de Construção Civil e Urbana) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005. 163 p.

ARAÚJO JR, J.M. **Contribuição ao estudo das propriedades físico-mecânicas das argamassas de revestimento**. Dissertação (Mestrado) – Programa de pós-graduação em Estrutura e Construção Civil, Universidade de Brasília. Brasília, 2004. 175p

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM C-67-92a. **Standard test methods of sampling and testing brick and structural clay tile**. Philadelphia, 1992.

_____. ASTM D 4648 – 00; **Standard Test Method for Laboratory Miniature Vane Shear Test for Saturated Fine-Grained Clayey Soil**. Philadelphia, 2003.

_____. ASTM C151 / C151M - 09 **Standard Test Method for Autoclave Expansion of Hydraulic Cement**. Philadelphia, 1993.

_____. ASTM C490 / C490M - 10 **Standard Practice for Use of Apparatus for the Determination of Length Change of Hardened Cement Paste, Mortar, and Concrete**. Philadelphia, 1996.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 7200. **Execução de revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas - Procedimento**. Rio de Janeiro, 1998.

_____. NBR MB - 3459. **Blocos vazados de concreto simples para alvenaria - Métodos de ensaio**, 1991

_____. NBR 5739. **Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos**. Rio de Janeiro, 2007.

_____. NBR 5743. Cimento Portland – Determinação de perda ao fogo. Rio de Janeiro, 1989.

_____. NBR 5744. Cimento Portland – Determinação de resíduo insolúvel. Rio de Janeiro, 1989.

_____. NBR 5745. Cimento Portland – Determinação de anidrido sulfúrico. Rio de Janeiro, 1989b.

_____. NBR 7215. Cimento Portland – Determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, 1996.

_____. NBR 7217. Agregados – Determinação da Composição Granulométrica. Rio de Janeiro, 1987c.

_____. NBR 7219. Agregados – determinação do teor de materiais pulverulentos. Rio de Janeiro. 1987d.

_____. NBR 7224. Cal hidratada para argamassas – Determinação da superfície específica Blaine. Rio de Janeiro, 1984.

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

_____. NBR 8347. Cimento Portland – Determinação do teor de álcalis. Rio de Janeiro, 1991.

_____. NBR 9203. Cimento Portland – Determinação dos óxidos existentes no cimento composto. Rio de Janeiro, 1985.

_____. NBR 9776. Agregados – Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco de Chapman. Rio de Janeiro, 1987.

_____. NBR 9778. Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água por imersão – Índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro, 2005.

_____. NBR 11581. Cimento Portland – Determinação dos tempos de pega. Rio de Janeiro, 1991.

_____. NBR 12826. Cimento Portland – Determinação do resíduo por meio da peneira 325µm. Rio de Janeiro, 1993.

_____. NBR 13277. Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da retenção de água. Rio de Janeiro, 2005.

_____. NBR 13278. Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado. Rio de Janeiro, 2005.

_____. NBR 13279. Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão. Rio de Janeiro, 2005.

_____. NBR 13280. Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido. Rio de Janeiro, 2005.

_____. NBR 13528 – Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – Determinação de aderência à tração – Métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 1995

_____. NBR 13529. Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – Terminologia. Rio de Janeiro, 1995.

_____. NBR 13749. Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – Classificação. Rio de Janeiro, 1996.

_____. NBR 13749. Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas - Especificação. Rio de Janeiro, 1996.

_____. NBR 15258. Argamassa para revestimento de paredes e tetos - Determinação da resistência potencial de aderência à tração, 2010.

_____. NBR 15259 - Argamassa para revestimento de paredes e tetos – Determinação da absorção de água por capilaridade e do coeficiente de capilaridade Rio de Janeiro, 2005.

_____. NBR 15261. Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da variação dimensional (retração ou expansão linear). Rio de Janeiro, 2005.

BAÍÁ, L.L.M. e SABBATINI, F.H. **Projeto e execução de revestimento de argamassa**. O Nome da Rosa, São Paulo, 2004.

BAROGHEL-BOUNY, V. **Caractérisation des pâtes de ciment et des bétons**. Laboratoire Central des Ponts et Chaussées. Paris, 1994.

BAROGHEL-BOUNY, V.; MAINGUY, M.; LASSABATERE, T.; e COUSSY, O. **Characterization and identification of equilibrium and transfer moisture properties for ordinary and high-performance cementitious materials**. Cement and Concrete Research, 29(8), 1999. 1225- 1238.

BASTOS, P. K. X. **Retração e desenvolvimento de propriedades mecânicas de argamassas mistas de revestimento**. Tese (doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2001. 172p

BASTOS, P. K. X; DÉTRICHÉ, C.H.; BALAYSSAC, J. P.; CINCOTTO, M.A. **Retração e desenvolvimento de propriedades mecânicas em argamassas de revestimento**. Ambiente Construído, Porto Alegre, v.2, n.2, p. 57-70, abr./jun. 2002.

BAUER, E. **Resistência à penetração da chuva em fachadas de alvenarias de materiais cerâmicos – Uma análise de desempenho**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS. Porto Alegre, 1987. 168p.

_____. **“Análise da fissuração de argamassa para revestimento de fachadas”**. *Relatório Técnico*, Laboratório de Ensaio de Materiais, Universidade de Brasília, 2000.

_____. (Ed.) **Revestimento de argamassas: características e peculiaridades**. Brasília: LEM- UnB; SINDUSCON, 2005.

BAUER, E.; PAES, I. N. L.; LARA, P. L. O. **Avaliação da microestrutura porosa de materiais empregados na construção civil através da técnica de porosimetria por dessorção de vapor de água**. In: XXXI Jornadas Sud-Americanas de Ingeniería Estructural. Mendoza, Argentina, 17 a 21 de mayo, 2004. **Anais**.

CALLISTER, W. D. **Ciências e engenharia de materiais: uma introdução**. 5.ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 2002. 589p.

CANDIA, M.C. **Contribuição ao estudo das técnicas de preparo da base no desempenho dos revestimentos de argamassa**. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 1998. 262p

CARASEK, Helena. **Aderência de argamassas a base de cimento Portland a substratos porosos – Avaliação dos fatores intervenientes e contribuição ao estudo do mecanismo da ligação**. Tese (doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 1996. 285p.

_____. **Fatores que exercem influência na resistência de aderência de argamassas**. Anais do II Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas. Salvador. 1997. p. 133-146.

CARASEK, H.; SCARTEZINI, L. M. B. **Evolução da resistência de aderência dos revestimentos de argamassa mista**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 1999, Vitória. Anais. ANTAC, 1999. p 503 - 515

CARASEK, H.; CASCUDO, O.; SCARTEZINI, L. M. **Importância dos materiais na aderência dos revestimentos de argamassa**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 4º, Brasília, 23 a 25 de maio de 2001. Anais. Brasília, UnB/ANTAC, 2001. p.43-67.

CARVALHO JR., A. N., **Avaliação da aderência dos revestimentos argamassados: uma contribuição à identificação do sistema de aderência mecânico**. Tese (Doutorado em Engenharia Metalúrgica e de Minas). Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Belo Horizonte, 2005. 331p.

CARVALHO, A. **Avaliação em obra da permeabilidade e absorção de água e da resistência de aderência de revestimentos de argamassa aplicados em estruturas de concreto armado**. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Goiás, 2004. 202p.

CEB – Comité Euro-International du Béton. CEB – FIP Model code 1990, Bulletin d'information N. 213/214, Lausanne, 1993.

CEOTTO, L. H.; Banduk, R. C.; Nakakura, E. H. **Recomendações técnicas habitare – volume 1, revestimentos de argamassas: boas práticas em projeto, execução e avaliação**. Porto Alegre, 2005.

CINCOTTO, M. A.; SILVA, M. A. C.; CARASEK, H. **Argamassas de revestimento: propriedades, características e métodos de ensaios**, IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas, São Paulo, 1995, 118p.

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

CORTEZ, I.M.M. **Contribuição ao estudo dos sistemas de revestimento com a incorporação de fibras sintéticas**. Departamento de Engenharia Civil. Dissertação (mestrado). Universidade de Brasília – UnB. Brasília, 1999. 219p.

DÉTRICHÉ, C.H.; GALLIAS, J.L.; GRANDET, J.; MASO, J.C. Influence des paramètres de mise en oeuvre et de composition sur le comportement des mortiers d'enduit. **Matériaux et Constructions**, v.18, n. 105, p.193-200, 1985.

DÉTRICHÉ, C.H.; GRANDET, J.; MASO, J.C. "Desiccation des mortiers d'enduit." In: *Matériaux et Constructions*, 94 (16),1983.

DÉTRICHÉ, C.H.; MASO, J.C. Differential hydration in rendering mortars. **Cement and Concrete Research**, v.16, p.429-439, 1986.

DIAMOND, S., HUANG. J. The ITZ in concrete – A diferent view based on image analysis and SEM observations – **Cement & Concrete Composites**, Vol 23, pp. 179- 188, 2001.

DO Ó, S. W. **Análise da retenção de água em argamassas de revestimento aditivadas**. Dissertação (Mestrado) – Universidade de Brasília – UnB, Brasília, 2004. 173p.

DUALIBE, R. P.; CAVANI, G. R.; OLIVEIRA, M. C. B. **Influência do tipo de projeção da argamassa na resistência à tração e permeabilidade à água**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, VI., 2005, Florianópolis. Anais... Florianópolis, 2005. p.508-517.

FERNANDES, C. P. **Estudo dos processos de condensação e migração de umidade em meios porosos consolidados. Análise experimental de uma argamassa de cal e cimento**. Dissertação (Mestrado). Florianópolis: Programa de Pós Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC, 1990.

FREITAS, V.P. Transferência de umidade em paredes de edifícios – análise do fenômeno de interface. Tese (Doutorado em engenharia) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Portugal, 1992.

GONÇALVES, S. R. C. **Variabilidade e fatores de dispersão da resistência de aderência nos revestimentos em argamassa – Estudo de caso**. Dissertação (Mestrado) - Universidade de Brasília - UnB. Brasília, 2004. 148p.

GROOT, C. J. W. P. Aspects of mortar-brick bond. In: International Brick and Block Masonry Conference, 8th, Dublin, September. **Proceedings**. Elsevier, 1988. v.1. p.175- 181.

_____. "Effects of water on mortar – brick bond." Technische University Delft, 1993.

HALL, C. **Water movement in porous building materials** – I. Unsaturated flow theory and its applications. In: *Building and Environment*, vol. 12, 1977. p. 117-125.

HAYNES, J. M., **Determination of pore properties of constructional and other materials: general introduction and classification of methods**, *Materiaux et Construction*, Paris 6(33): 169-74, maio/jul. 1973.

HONÓRIO, Túlio e CARASEK, Helena. **Influência da absorção de água do substrato na resistência superficial de revestimentos de Argamassa**. APFAC-PT. 3º Congresso português de argamassas de construção. Lisboa, 2010.

KAZMIERCZAC, C. de S.; BREZEZINSKI, D. E.; COLLATTO, D. Influências do tipo e preparo do substrato na resistência de aderência à tração e na distribuição de poros de uma argamassa industrializada. Artigo 7º. SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, Recife, 2007.

KJELLSSEN, K. O.; ATLISSI, E. H. Pore structure of cement silica fume systems. Presence of hollow-shell pores. **Cement and Concrete Research**. 1999, v. 29, p. 133-142.

LEAL, F. E. C. B. **Estudo do desempenho do chapisco como procedimento de prevenção de base em sistemas de revestimento**. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil) – Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, 2003. 109p.

MEHTA, P.K. e MONTEIRO, P.J.M. **Concreto: estrutura, propriedades e materiais**. PINI, São Paulo, 2008.

MENDONÇA, V. G.; CARASEK, H.; CASCUDO, O. **Estudo de caso: Pulverulência de revestimentos de argamassa**. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, X., 2004. São Paulo. **Anais...** São Paulo: ANTAC, 2004.

MEROUANI, L. **Phenomenes de sorption et de Transfert d'humidite dans de materiaux du batiment. Etude experimentale comparative d'un enduit de facade**. L' Institut National Polytechnique de Grenoble, 1987.

MOURA, Cristiane Borges. **Aderência de revestimentos externos de argamassa em substratos de concreto: Influência das condições de temperatura e ventilação na cura do chapisco**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2007. 173p.

NAKUKARA, E. H.; CINCOTTO, M. A. **Revisão de norma NBR 13581 como instrumento para melhor representar o desempenho de argamassas industrializadas em obra**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 2001, Brasília. **Anais...** Brasília / ANTAC, 2001.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto**. São Paulo: PINI, 1997. 738 p.

OHAMA, Yoshihiko. Polymer – based admixtures. *Cement and Concrete Composites*, n.20, p. 189-212. 1998.

PAES, I.N.L.; BAUER, E.; CARASEK, H. **Revestimento em argamassa: Influência do substrato no transporte e fixação de água, nos momentos iniciais pós-aplicação.** In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 5º, São Paulo, 11 a 13 de junho de 2003. Anais. São Paulo, EPUSP-PCC/ANTAC, 2003. p.533-544.

PAES, I.N.L. **Avaliação do transporte de água em revestimentos de argamassa nos momentos iniciais pós-aplicação.** Tese (Doutorado), Universidade de Brasília, 2004. 242p.

PEL, L. **Moisture transport in porous building materials.** Dissertação (Doutorado). Universidade Técnica de Eindhoven, 1995.

PEREIRA, A.P.C; CARASEK, H.; FRANCINETE, P. **Influência da cura no desempenho de revestimentos com argamassas inorgânicas.** In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, VI., 2005, Florianópolis. Anais. Florianópolis: ANTAC, 2005. p.477-486.

POLITO, G.; JÚNIOR, A. N. de C.; BRANDÃO, P. R. G. Caracterização microestrutural da interface argamassa mista/bloco cerâmico. Artigo 8º. SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, Curitiba, 2009.

POLITO, G. **Avaliação da introdução de cal hidratada nas argamassas aplicadas sobre blocos cerâmicos e sua Influência no desempenho e morfologia.** Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais. Programa de Pós-Graduação em Engenharia civil. Minas Gerais, 2009.

QUARCIONI, V.A.; CHOTOLI, F.F.; ÂNGULO, S.C.; GUILGE, M.S.; CAVANI, G.R.; CASTRO, A.L.; CINCOTTO, M.A. **Estimativa da porosidade de argamassas de cimento e cal pelo método de cálculo de volumes.** Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 9, n. 4, p. 175-187, out./dez. 2009.

QUARCIONI, V. A. **Influência da Matéria Prima e dos Fornos de Calcinação nas Características da Cal Virgem.** São Paulo, 2008, 180p. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

QUENARD, D. A.; XU, K.; KÜNZEL, H. M. BENTZ, D. P.; MARTYS, N, S. **Microstructure and transport properties of porous building materials.** Materials and Structures/Matériaux et Constructions, vol.31, junho, 1998, p. 317-324.

RATO, V. N. P. M. **Influência da microestrutura morfológica no comportamento de argamassas.** Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Ciências e Tecnologia, Faculdade Nova de Lisboa, 2006. 294p.

RECENA, F. A. P. **Conhecendo Argamassa.** Porto Alegre: EDIPUCRS, 2008

ROSSIGNOLO, J. A. **Avaliação da Porosidade e do Teor de CH de Pastas de Cimento Portland com Sílica Ativa e Látex SBR.** Revista Matéria, v. 10, n. 3, 2005. p. 437 – 442.

RUDUIT, F.R. **Contribuição ao estudo da aderência de revestimentos de argamassa e chapiscos em substratos de concreto.** Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio

Grande do Sul. Escola de engenharia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia civil. Porto Alegre, BR-RS, 2009.

SABBATINI, F. H. **Argamassas de assentamento para paredes de alvenaria resistentes – ET-91**. São Paulo: ABCP, 1998. 44p.

SABBATINI, F. H. **Construção crítica**. Revista de Tecnologia das Construções – Techne. n 99, Editora Pini. São Paulo, junho 2005.

SANTOS, C. C. N. **Critérios de projetabilidade para as argamassas industrializadas de revestimento utilizando bomba de argamassa com eixo helicoidal**. Dissertação (Mestrado) – Universidade de Brasília, UnB. Brasília, 2003. 138p.

SATO, N.M.N. **Análise da porosidade e de propriedades de transporte de massa em concretos**. Tese (Doutorado), Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1998. 163p.

SCARTEZINI, L. M. B. **Influência do tipo e preparo do substrato na aderência dos revestimentos de argamassa: estudo da evolução ao longo do tempo, influência da cura e avaliação da perda de água da argamassa fresca**. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás. Goiânia, 2002. 262 p.

SCARTEZINI, L.M.B. e CARASEK, H. “Fatores que exercem influência na resistência de aderência à tração dos revestimentos de argamassa.” In: *IV Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas*, São Paulo, Brasil, 2003. 545-557.

SCARTEZINI, L.M.B; JUCÁ, T. R.; LINHARES, H.; TEIXEIRA, F.; ANTONELLI, G.; CASCUDO, O.; CARASEK, H. Influência do preparo da base na aderência e na permeabilidade à água dos revestimentos de argamassa. *Ambiente Construído*, Porto Alegre, v.2, n.2, p. 85-92, abr./jun. 2002.

SCRIVENER, K. L. **The Microstructure of Concrete**, In: SKALNY, J. P. *Materials Science of Concrete I*, Westerville; American Ceramic Society, 1989. 473 p.

SELMO, S.M.S. **Dosagem de Argamassas de Cimento Portland e Cal para Revestimento Externo dos Edifícios**. Dissertação de Mestrado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1989. 187p.

SILVA, D. A. **Efeitos dos polímeros HEC e EVA na microestrutura de pastas de cimento portland**. Florianópolis: Tese (Doutorado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – PPGEC, Universidade Federal de Santa Catarina- UFSC, 2001.

SILVA, F. G. S. **Proposta de metodologias experimentais auxiliares à especificação e controle das propriedades físico-mecânicas dos revestimentos em argamassa**. Dissertação de Mestrado em Estruturas e Construção Civil, publicação EDM – 007A/06, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília. Brasília, DF, 2006. 266p.

SILVA, L. L. R. da; **Método de intervenção para a melhoria da eficiência na execução de revestimentos de argamassa de fachada**. Dissertação (Mestrado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2002, 215 p.

VOCKA, R.; GALLÉ, C.; DUBOIS, M.; LOVERA, P. **Mercury intrusion porosimetry and hierarchical structure of cement pastes – Theory and experiment.** Cement and Concrete Research, 1999, vol. 30, p. 521-527.

YUNES, P. R. **Determinação da distribuição de poros de uma argamassa de cimento e cal usando as isotermas de equilíbrio e dados de microscopia eletrônica.** Florianópolis: Dissertação (Mestrado). Programa de Pós Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC, 1992.

APÊNDICES

APÊNDICE A

Resultados dos ensaios da caracterização dos materiais, realizados no Laboratório de Materiais de Construção Civil da Universidade Federal do Pará

1 Cimento Portland

Tabela A.1- Caracterização física e química do cimento Portland CP II-Z-32 .

	Método de Ensaio	Características determinadas	Resultados	
	Caracterização física	NBR 9676/1987	Massa específica real (g/cm ³)	3,01
NBR 7251/1982		Massa específica aparente (g/cm ³)	0,97	
NBR 11578/1991		Finura	Resíduo na peneira 200 (%)	1,5
NBR 12826/1993			Resíduo na peneira 325 (%)	6,1
NBR 7224/1984			Área específica (cm ² /g)	3.02
NBR 11581/1991		Tempos de pega	Início da pega (h:min)	2:20
			Fim de pega (h:min)	3:35
ASTM C 151-93 e ASTM C 490-96		Expansão em autoclave (%)		0,00
NBR 7215/1996		Resistência à compressão	3 dias (MPa)	23,7
			7 dias (MPa)	28,4
	28 dias (MPa)		36,5	
Caracterização química (%)	NBR 5743/1989	Perda ao fogo (%)	5,18	
	NBR 5744/1989	Resíduo insolúvel (%)	10,38	
	NBR 5745/1989	Trióxido de enxofre (SO ₃) (%)	2,61	
	NBR 9203/1985	Óxido de magnésio (MgO) (%)	2,06	
		Dióxido de silício (SiO ₂) (%)	25,90	
		Óxido de ferro (Fe ₂ O ₃) (%)	2,75	
		Óxido de alumínio (Al ₂ O ₃) (%)	4,80	
		Óxido de cálcio (CaO) (%)	56,29	
	NBR 8347/1991	Álcalis totais	Óxido de cálcio livre (CaO) (%)	0,71
			Óxido de sódio (Na ₂ O) (%)	0,24
Óxido de potássio (K ₂ O) (%)			0,97	
NBR 8347/1991	Álcalis totais	Equivalente alcalino em Na ₂ O (%)	0,55	
		NBR 5745/1989	Sulfato de cálcio (CaSO ₄) (%)	4,78

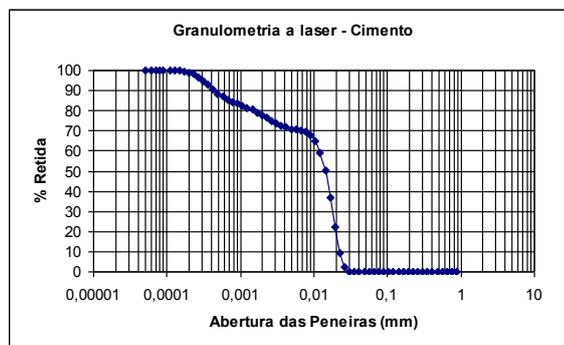


Figura A.1- Caracterização granulométrica do cimento por meio de granulômetro a laser.

2 Agregado Miúdo

Tabela A.2 - Caracterização das areias empregadas nas argamassas de revestimento.

Granulometria Agregado Miúdo - Areia Natural – NBR 7217 (ABNT, 1987)			
Peneiras (mm)	Retido (g)	% Retido	% Retido Acumulado
4,8	2	0,40	0
2,4	6	1,20	2,90
1,2	26	5,20	7,00
0,6	122	24,40	31,00
0,3	201	40,20	71,00
0,15	95	19,00	91,00
0,075	16	3,20	94,00
Fundo	32	6,40	100,00
Totais	500	100	-
Zona granulométrica	Zona 2 (areia fina)		

Propriedades determinadas	Métodos de Ensaio	Resultados
Módulo de Finura	NBR 7217 (ABNT, 1987)	2,02
Diâmetro Max. Caract. (mm)	NBR 7217 (ABNT, 1987)	2,40
Material pulverulento (%)	NBR 7219 (ABNT, 1987)	3,50
Massa unitária (kg/dm ³)	NBR 7251 (ABNT, 1982)	1,33
Massa específica (kg/dm ³)	NBR 9776 (ABNT, 1987)	2,63
Índice de Vazios (%)	-	49
Coefficiente de uniformidade	-	4,40 (areia muito uniforme)

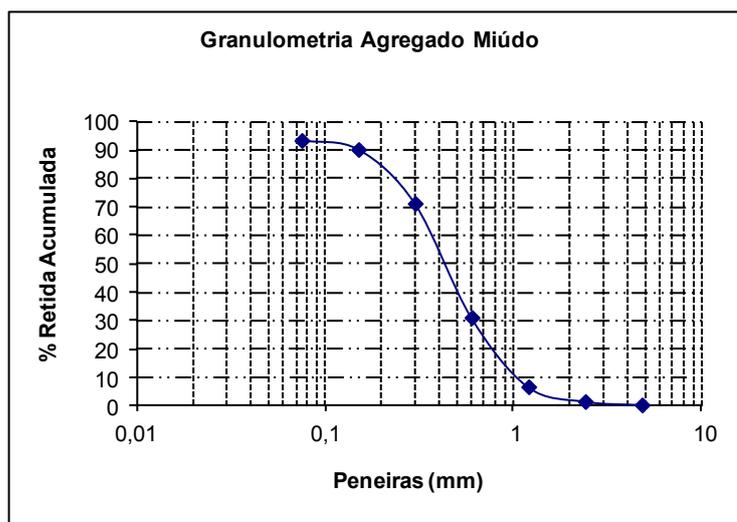


Figura A.2 - Curva granulométrica do agregado miúdo empregado na execução do chapisco e da argamassa de revestimento, com o uso de peneiras da série normal.

APÊNDICE B

Descrição dos ensaios de caracterização da argamassa de revestimento no estado fresco, realizados no Laboratório de Materiais de Construção Civil da Universidade Federal do Pará

a) Índice de consistência pela mesa da ABNT

O índice de consistência das argamassas, em sua maioria, é mensurado segundo a norma NBR 7215 (ABNT,1996). A metodologia de ensaio consiste na medida do espalhamento (diâmetro) de uma amostra de argamassa, moldada em um molde com a forma de um tronco de cone sobre a mesa padrão de ensaio. Esse espalhamento é conseguido por meio da introdução de impactos obtidos, conforme ilustra a Figura B.1.

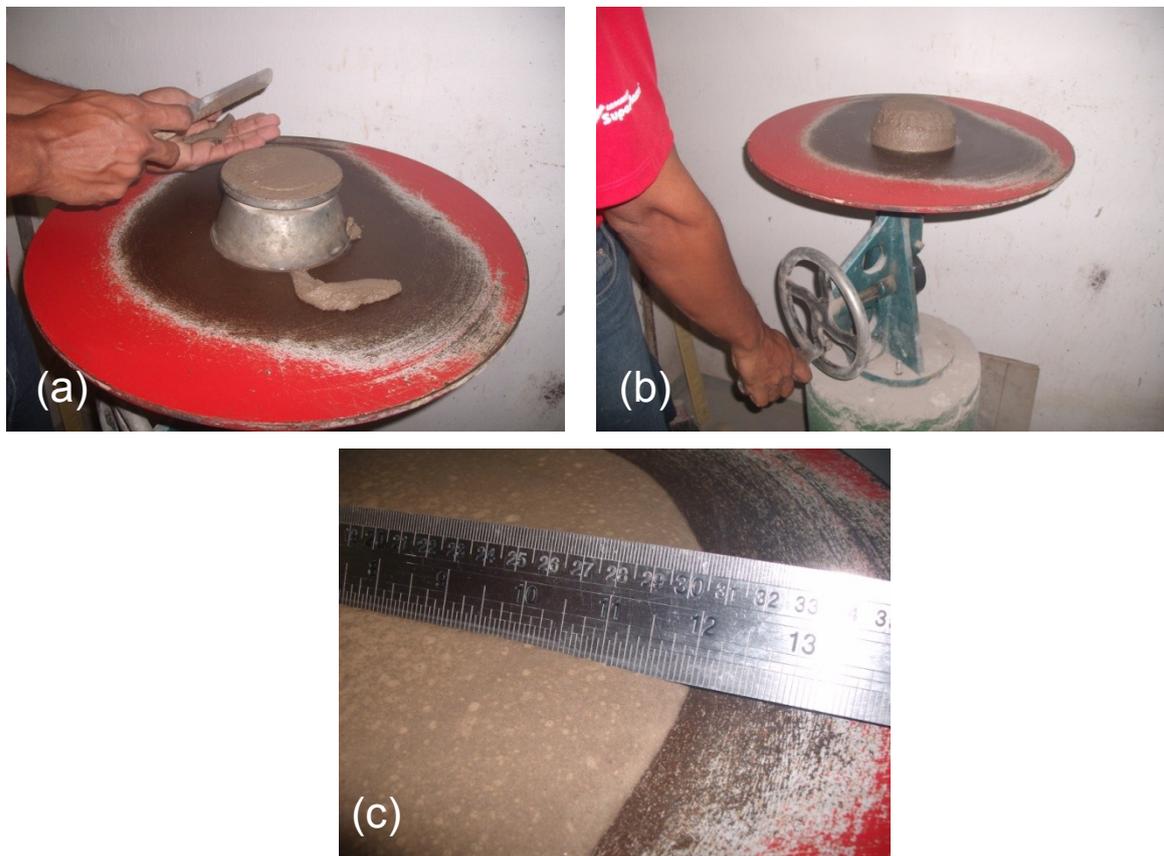


Figura B.1 - Determinação do índice de consistência: (a) retirada de excesso após adensamento executado com soquete. (b) golpes na mesa de ensaio (“flow table”) e (c) medição do diâmetro.

Apesar da grande utilização, este é um dos ensaios mais criticados quanto à avaliação de uma condição de trabalhabilidade. Um dos fatores que contribui para esta discussão, além da própria concepção do ensaio, diz respeito a uma não correspondência de resultados entre os

valores que caracterizam mesmas condições de trabalhabilidade, ou seja, uma avaliação isolada dos resultados do ensaio da mesa de consistência é insuficiente para definir uma argamassa como “trabalhável”.

b) Vane Test ou ensaio de palheta

A metodologia empregada pelo Vane Test (ensaio de palheta), que pode ser utilizada “*in situ*” ou em laboratório, e tem se mostrado um método simples e eficaz na determinação da resistência ao cisalhamento (S_u), ou seja, tensão limite de escoamento¹⁸.de materiais. Este ensaio é adaptado da mecânica dos solos e, atualmente, é utilizado para avaliar o comportamento reológico das argamassas, sendo uma forma indireta de determinação da consistência das mesmas. O equipamento utilizado neste ensaio é mostrado na Figura B.2.

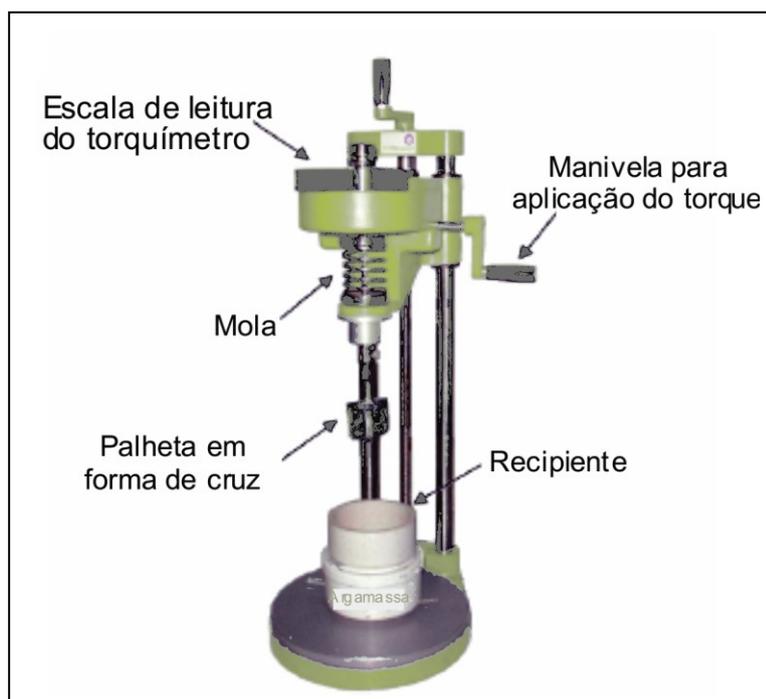


Figura. B.2 – Aparelho Vane Test, utilizado para medir tensão limite de escoamento (τ_0).

As características desse equipamento (Vane Test) são:

- diâmetro da palheta (D) = 2,4 cm;
- altura da palheta (H) = 4,8 cm;

¹⁸.Tensão limite de escoamento – valor da tensão de cisalhamento no qual o gradiente de velocidade é igual a zero. Ou seja, para que um material tenha um fluxo viscoso, a força aplicada nesse, deve ser superior a tensão limite de escoamento do referido material.

- constante da mola = 0,0232 Kgf.cm/°

O procedimento adotado na realização desse ensaio foi o mesmo utilizado por ALVES (2002), SANTOS (2003) DO Ó (2004), e ARAÚJO JÚNIOR (2004), conforme apresentado a seguir:

- primeiramente, preencheu-se um recipiente cilíndrico de PVC de 6,5 cm de diâmetro e 11,5 cm de altura (com capacidade aproximada de 400 ml) com três camadas subseqüentes de argamassa, de alturas aproximadamente iguais. Aplicou-se, em seguida, 20 golpes em cada uma delas, com espátula de bordas retas, rasando-se a superfície. Tal procedimento é semelhante ao prescrito pela norma NBR 13278 (ABNT, 2005) para determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado em argamassas de assentamento e revestimento;
- inseriu-se a palheta na amostra, de forma a submergi-la por completo;
- aplicou-se, manualmente, uma velocidade aproximada de 90°/minuto, registrando por meio da escala de leitura de deformações, localizada na parte superior do aparelho, a deformação medida na fase de cisalhamento. A situação de torque máximo ou ruptura fornece o valor da tensão limite de escoamento, parâmetro reológico que mensura de forma indireta a consistência da argamassa.

No cálculo da tensão limite de escoamento é necessário o conhecimento da geometria da superfície de escoamento, além da distribuição da tensão de cisalhamento nesta superfície.

A mecânica dos sólidos faz uma aproximação dessa distribuição de tensão, onde assume que o escoamento do material se dá ao longo de uma superfície cilíndrica e que a tensão de cisalhamento é uniformemente distribuída ao longo do cilindro, e igual a tensão de escoamento (τ_0). Como a palheta é cravada completamente, a área total a ser considerada no cálculo, é a área lateral do cilindro mais duas vezes a área da base (superior e inferior).

Com essas considerações a resistência de cisalhamento (tensão de limite de escoamento) pode ser obtida pela Equação mostrada a seguir. Com os dados obtidos do ensaio, multiplicam-se

esses pela constante da mola, para obter o torque máximo. Determina-se, então, a tensão limite de escoamento aplicando a Equação abaixo.

$$T_m = \frac{\pi D^3}{2} \left(\frac{H}{D} + \frac{1}{3} \right) \tau_0$$

onde:

T_m = torque máximo, em kgf.cm;

$\tau_0 = S_u$ = tensão limite de escoamento ou resistência ao cisalhamento, em kgf/cm²;

D = diâmetro da palheta, em cm;

H = altura da palheta, em cm.

Os resultados da tensão limite de escoamento (S_u) são mostrados em kPa.

c) Teor de ar incorporado

O teor de ar incorporado foi determinado pelo método pressométrico. Tal ensaio foi baseado no procedimento da NBR 13278 (ABNT, 2005), a qual preconiza dois tipos de aparelhos medidores de teor de ar, o tipo A e tipo B, sendo utilizado neste trabalho o tipo B específico para argamassas, com capacidade de 1 litro, conforme mostrado na Figura B.3.



Figura B.3 – Aparelho utilizado para medir teor de ar incorporado, tipo B.

d) Retenção de água

O princípio desse método de ensaio consiste em medir a massa de água retida em uma amostra de argamassa, após realização de um tratamento padronizado de sucção (50 mmHg) por meio de uma aparelhagem composta, por um funil (funil de Büchner modificado) e uma bomba de vácuo. A aparelhagem utilizada para sua realização é mostrada na Figura B.4.

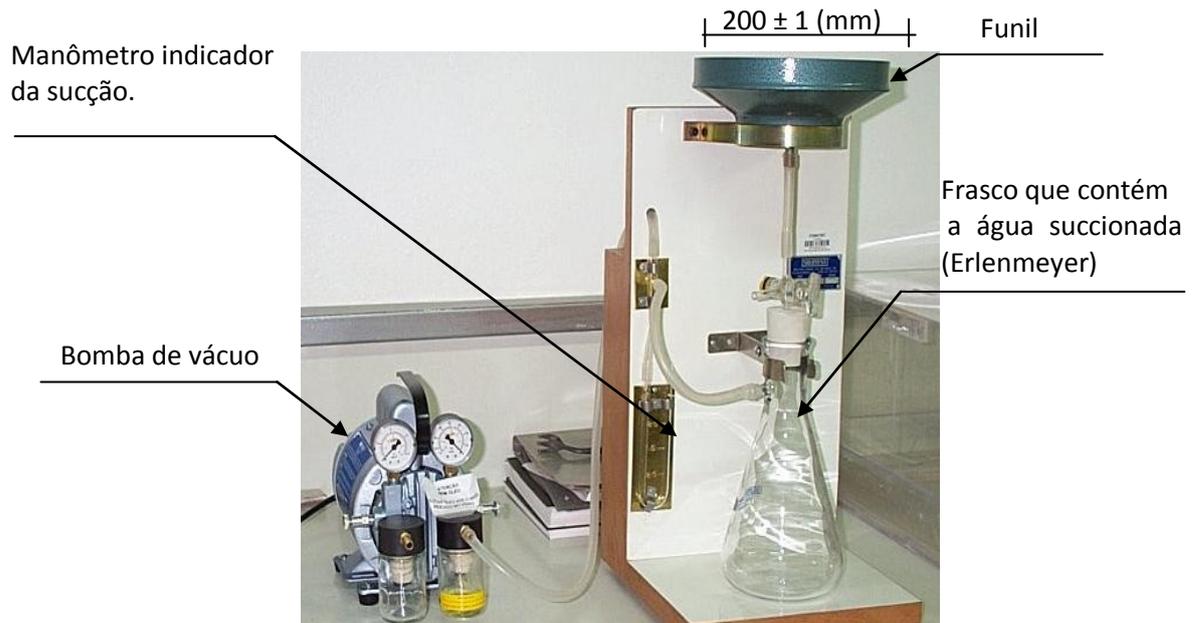


Figura B.4 - Aparelhagem necessária para determinação da retenção de água, por meio do funil de Büchner modificado.

A realização do ensaio de retenção de água consistiu na execução das seguintes etapas:

- colocou-se o papel-filtro sobre o funil e umedeceu-o. Em seguida retirou-se o excesso de água do papel-filtro acionando-se a bomba de vácuo e aplicando-se ao conjunto uma sucção de 50 mm Hg durante aproximadamente 90 segundos;
- pesou-se o conjunto funil/papel-filtro (úmido) em balança com resolução de 0,01g e registrou-se sua massa (M_{fv});
- com a argamassa preparada, preencheu-se o prato do funil até um pouco acima da borda e adensou-se com 37 golpes, sendo 16 desses aplicados uniformemente junto à borda e 21 na parte central;

- após o adensamento retirou-se o excesso de argamassa, mediante o uso de uma régua metálica, de tal forma a obter uma superfície plana. Com um pano úmido limpou-se a parte externa do funil e, assim, pesou-o, registrando sua massa (M_{fc});
- colocou-se na parte superior do funil uma tampa acrílica perfurada, com intuito de amenizar ou evitar a perda de água por evaporação. Em seguida aplicou-se na amostra uma pressão negativa (sucção) correspondente à coluna de 50 mm Hg durante os intervalos de tempo de: 1; 1,5; 3; 5; 10 e 15 minutos (DO Ó, 2004). Para cada um desses tempos, registrou-se a massa correspondente (M_{fi}).

Com os dados obtidos do ensaio, determinou-se a retenção de água das amostras de argamassa ensaiadas por meio da Equação abaixo:

onde:

$$Ra = \left[1 - \frac{(M_{fc} - M_{fi})}{FA \times (M_{fc} - M_{fv})} \right] \times 100$$

Ra = retenção de água³, em %;

M_{fv} = massa do funil vazio e filtro, em g;

M_{fc} = massa do funil cheio e filtro, em g;

M_{fi} = massa do funil para o tempo “i” de exposição à sucção, em g;

FA = Relação água/argamassa fresca; $FA = \frac{M_w}{M + M_w}$

M_w = massa total de água utilizada na argamassa, em g;

M = massa de argamassa industrializada ou soma das massas dos componentes anidros em caso de argamassa dosada, em g.

e) Densidade de massa

A densidade de massa é a massa unitária da argamassa estudada. É definida como a relação entre a massa de material sólido e o volume, incluindo os vazios impermeáveis. O ensaio foi realizado segundo as recomendações da NBR13278 (ABNT, 2005).

Os resultados da densidade de massa da argamassa no estado fresco devem ser determinados por meio da Equação a seguir:

$$d = \frac{(m_c - m_v)}{v_r} \cdot 100$$

³Retenção de água - % da água retida em relação ao teor total de água utilizado.

onde:

d = densidade de massa (Kg/m^3)

m_c = massa do recipiente cilíndrico com argamassa (g)

m_v = massa do recipiente cilíndrico vazio (g)

v_r = volume do recipiente cilíndrico (cm^3)

APÊNDICE C

Descrição dos ensaios da caracterização da argamassa de revestimento no estado endurecido, realizados no Laboratório de Materiais de Construção Civil da Universidade Federal do Pará

No estado endurecido, as propriedades das argamassas avaliadas foram: resistência à tração na flexão, resistência à compressão axial, nas idades de 7, 14 e 28 dias e densidade de massa aparente, absorção de água, índice de vazios e massa específica e absorção de água por capilaridade, aos 28 dias. A seguir são mostrados os ensaios utilizados na caracterização das argamassas no estado endurecido.

a) Resistência à compressão axial

Para este ensaio foram moldados 4 corpos de prova cilíndricos de 5cm x 10cm (Figura C.1), com argamassa recém preparada e consistência padrão. Os corpos de prova foram desmoldados e foram mantidos ao ar até a idade do ensaio, em conformidade com a NBR 5739 (ABNT, 1980).

Para realização dos ensaios, os corpos de prova foram capeados com enxofre e seu diâmetro medido com paquímetro em duas posições ortogonais em seu terço médio, registrando-se a média em milímetros. Após a ruptura axial dos corpos de prova, foram calculadas as resistências dividindo a carga de ruptura pela área da seção do corpo de prova e expressas em MPa. A resistência à compressão axial foi determinada utilizando 4 corpos de prova (50x100) mm para cada idade.



Figura C.1 – Ensaio de resistência à compressão axial aos 28 dias.

b) Resistência à tração na flexão

O ensaio de resistência a tração na flexão, foi realizado conforme a NBR 13279 (ABNT, 2005). Neste ensaio foram utilizados 6 corpos de prova prismáticos de seção transversal quadrada (40x40x160) mm (Figura C.2). Este corpo de prova é submetido a esforços de flexo-tração em três pontos. São avaliados neste ensaio o módulo de ruptura do material e sua tenacidade, onde a carga de ruptura corresponde, geralmente, à tensão máxima obtida no ensaio antes que a fibras passem a atuar, e a tenacidade à medida da quantidade de energia absorvida pelo material até a ruptura.



Figura C.2 – Ensaio de resistência à tração na flexão aos 28 dias.

c) Densidade de massa aparente

A densidade de massa aparente é a relação entre a massa e o volume total da argamassa após 28 dias de cura (Figura C.3).



Figura C.3 – Execução do ensaio de densidade de massa aparente.

Este ensaio foi realizado em 4 corpos de prova (50x100)mm, conforme procedimentos descritos na NBR 13280 (ABNT, 2005), seguindo as etapas abaixo:

- A amostra deve seca em estufa a $(105 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ até constância de massa. Depois de seco, esta deve esfriar a temperatura ambiente até $(23 \pm 2)^{\circ}\text{C}$. Em seguida deve-se determinar a massa da amostra seca e suas dimensões com auxílio de um paquímetro. A determinação da densidade de massa é obtida a partir da seguinte equação:

$$\rho_{ap} = \frac{m}{V} \cdot 1000 \quad (3.14)$$

Onde:

ρ_{ap} = densidade de massa aparente, em kg/m^3 ;

m = massa do corpo-de-prova, em (g)

V = volume do corpo-de-prova, em cm^3 .

d) Absorção de água, índice de vazios e massa específica

Os ensaios para determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica foram realizados nos mesmos 4 corpos-de-prova utilizados no ensaio de densidade de massa aparente conforme a NBR 9778 (ABNT, 2005).

e) Absorção de água por capilaridade

O ensaio de absorção de água por capilaridade consiste na determinação da absorção capilar em um corpo-de-prova ao longo do tempo, em função da variação de massa até sua estabilização (Figura C.4). Este ensaio foi realizado segundo os procedimentos prescritos na NBR 15259 (ABNT, 2005). Os resultados obtidos no ensaio são inseridos na equação abaixo:

$$A_t = \frac{m_t - m_0}{s}$$

onde:

A_t = absorção de água por capilaridade para cada tempo (g/cm^2)

m_t = massa do corpo-de-prova em cada tempo (g)

m_0 = massa inicial do corpo-de-prova (g)

t = corresponde aos tempos de 10min e 90min

s = area do corpo-de-prova (cm^2)

O coeficiente de capilaridade é o coeficiente angular da reta, tomando-se no eixo das abscissas a raiz quadrada dos tempos de 10 minutos e 90 minutos e no eixo das ordenadas as absorções de água correspondentes a estes tempos representando a massa de água absorvida por metro quadrado da argamassa em contato com a água em função da raiz quadrada do tempo decorrido até atingir este ponto de absorção. O coeficiente de capilaridade é calculado pela equação abaixo:

$$C = (m_{90} - m_{10})$$

Onde:

C = coeficiente de capilaridade ($\text{g}/\text{cm}^2 \cdot \text{min}^{1/2}$)

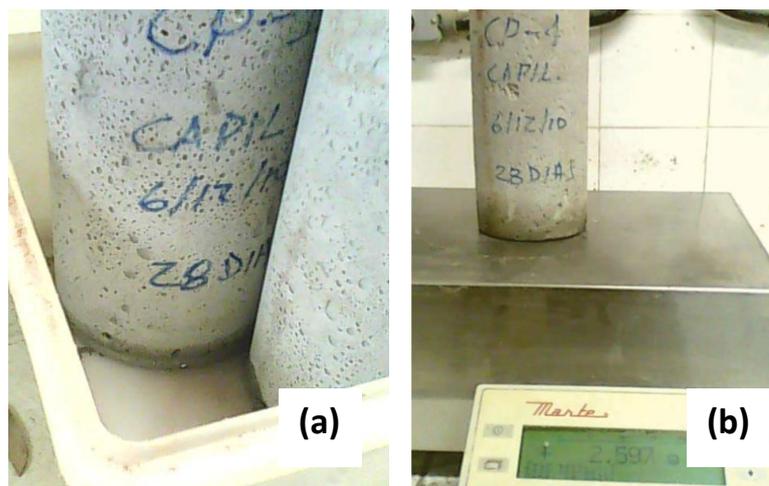


Figura C.4 - (a) Ensaio de absorção de água por capilaridade. (b) Corpo-de-prova na idade de 28 dias.

APÊNDICE D

Resultados dos ensaios da caracterização dos blocos cerâmicos, realizados no Laboratório de Materiais de Construção Civil da Universidade Federal do Pará

Tabela D.1- Resultados de caracterização dos blocos cerâmicos.

Características Determinadas	Método de ensaio	Número de determinações	Resultados médios	Coefficiente de variação (%)
Absorção de água (%)	MB-3459 (ABNT, 1991)	12	21,0%	11,16
Taxa inicial de sucção (IRA)	ASTM C-67	12	11,6 g/194cm ² /min	14,40
Resistência à compressão	MB-3459 (ABNT, 1991)	12	0,56 MPa	16,20
Dimensões	MB-3459 (ABNT, 1991)	12	a = 16,00 cm l = 22,70 cm c = 24,00 cm	13,18

a = altura; l = largura; c = comprimento.

APÊNDICE E

Resultados do ensaio de resistência de aderência à tração

MPA CONCRETOS		DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO									
DATA DO ENSAIO: 08/04/2010		CP	DIÂMETRO	TENSÃO	FORMA DE RUPTURA (%)						
Painel 04 (1:3 sem cura) 7 dias			(mm)	(MPa)	A	B	C	D	E	F	OBS:
DESCRIÇÃO DO REVESTIMENTO ENSAIADO:		1	50	0,12			100				
Substrato: Alvenaria (Bloco cerâmico)		2	50	0,13		100					
Argamassa		3	50	0,16		100					
Local do Ensaio: Obra (in situ)		4	50	0,15		100					
Idade do Revestimento: 7 dias		5	50	0,21			100				
		6	50	0,15					100		
Critério – NBR 13528/1995		7	50	0,11		100					
		8	50	0,14		100					
Resistência de aderência à tração (MPa)		9	50	0,11			100				
		10	50	0,19		100					
Forma de Ruptura:											
Mediana	0,16										
Média (MPa)	0,15										
D. Padrão	0,01										
C. Variação	5,96%										

FORMA DE RUPTURA:		LIMITES MÍNIMOS DE RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO – NBR 13749		
		PAREDE INTERNA	PAREDE EXTERNA	
INTERFACE CHAPISCO/SUBSTRATO				
INTERFACE ARGAMASSA/CHAPISCO		Pintura/base reboco	Pintura/base reboco	0,30 Mpa
ARGAMASSA DE REVESTIMENTO		Cerâmica e laminado	Cerâmica	0,30 Mpa
SUBSTRATO			TETO	0,20 Mpa
INTERFACE REVESTIMENTO/COLA				
INTERFACE COLA/PASTILHA				

MPA CONCRETOS		DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO									
DATA DO ENSAIO: 08/04/2010		CP	DIÂMETRO	TENSÃO	FORMA DE RUPTURA (%)						
Painel 04 (1:3 curado) 7 dias			(mm)	(MPa)	A	B	C	D	E	F	OBS:
DESCRIÇÃO DO REVESTIMENTO ENSAIADO:		1	50	0,18		100					
Substrato: Alvenaria (Bloco cerâmico)		2	50	0,15			100				
Argamassa		3	50	0,23			100				
Local do Ensaio: Obra (in situ)		4	50	0,22		100					
Idade do Revestimento: 7 dias		5	50	0,17				100			
		6	50	0,22		100					
Critério – NBR 13528/1995		7	50	0,25		100					
		8	50	0,17			100				
Resistência de aderência à tração (MPa)		9	50	0,15		100					
		10	50	0,24		100					
Forma de Ruptura:											
Mediana	0,21										
Média (MPa)	0,20										
D. Padrão	0,03										
C. Variação	15,95%										

FORMA DE RUPTURA:	LIMITES MÍNIMOS DE RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO – NBR 13749		
INTERFACE CHAPISCO/SUBSTRATO	PAREDE INTERNA	PAREDE EXTERNA	
INTERFACE ARGAMASSA/CHAPISCO	Pintura/base reboco	Pintura/base reboco	0,30 Mpa
ARGAMASSA DE REVESTIMENTO	Cerâmica e laminado	Cerâmica	0,30 Mpa
SUBSTRATO		TETO	0,20 Mpa
INTERFACE REVESTIMENTO/COLA			
INTERFACE COLA/PASTILHA			

MPA CONCRETOS		DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO									
DATA DO ENSAIO: 26/04/2010		CP	DIÂMETRO	TENSÃO	FORMA DE RUPTURA (%)						
Painel 04 (1:3 + SBR sem cura) 7 dias			(mm)	(MPa)	A	B	C	D	E	F	OBS:
DESCRIÇÃO DO REVESTIMENTO ENSAIADO:		1	50	0,17		100					
Substrato: Alvenaria (Bloco cerâmico)		2	50	0,25		100					
Argamassa		3	50	0,23		100					
Local do Ensaio: Obra (in situ)		4	50	0,21				100			
Idade do Revestimento: 7 dias		5	50	0,22			100				
		6	50	0,18		100					
Critério – NBR 13528/1995		7	50	0,17		100					
		8	50	0,15				100			
Resistência de aderência à tração (MPa)		9	50	0,22		100					
		10	50	0,21		100					
Forma de Ruptura:											
Mediana	0,21										
Média (MPa)	0,22										
D. Padrão	0,01										
C. Variação	6,74%										

FORMA DE RUPTURA:		LIMITES MÍNIMOS DE RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO – NBR 13749		
		PAREDE INTERNA	PAREDE EXTERNA	
INTERFACE CHAPISCO/SUBSTRATO				
INTERFACE ARGAMASSA/CHAPISCO		Pintura/base reboco	Pintura/base reboco	0,30 Mpa
ARGAMASSA DE REVESTIMENTO		Cerâmica e laminado	Cerâmica	0,30 Mpa
SUBSTRATO			TETO	0,20 Mpa
INTERFACE REVESTIMENTO/COLA				
INTERFACE COLA/PASTILHA				

MPA CONCRETOS		DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO									
DATA DO ENSAIO: 26/04/2010		CP	DIÂMETRO	TENSÃO	FORMA DE RUPTURA (%)						
Painel 04 (1:3 + SBR curado) 7 dias			(mm)	(MPa)	A	B	C	D	E	F	OBS:
DESCRIÇÃO DO REVESTIMENTO ENSAIADO:		1	50	0,23		100					
Substrato: Alvenaria (Bloco cerâmico)		2	50	0,12			100				
Argamassa		3	50	0,13		100		100			
Local do Ensaio: Obra (in situ)		4	50	0,16		100					
Idade do Revestimento: 7 dias		5	50	0,17							
		6	50	0,22				100			
Critério – NBR 13528/1995		7	50	0,17		100					
		8	50	0,12			100				
Resistência de aderência à tração (MPa)		9	50	0,21		100					
		10	50	0,15		100					
Forma de Ruptura:											
Mediana	0,18										
Média (MPa)	0,15										
D. Padrão	0,01										
C. Variação	12,80%										

FORMA DE RUPTURA:		LIMITES MÍNIMOS DE RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO – NBR 13749		
		PAREDE INTERNA		PAREDE EXTERNA
INTERFACE CHAPISCO/SUBSTRATO		Pintura/base reboco		Pintura/base reboco
INTERFACE ARGAMASSA/CHAPISCO		Cerâmica e laminado		Cerâmica
ARGAMASSA DE REVESTIMENTO				TETO
SUBSTRATO				0,30 Mpa
INTERFACE REVESTIMENTO/COLA				0,30 Mpa
INTERFACE COLA/PASTILHA				0,20 Mpa

MPA CONCRETOS		DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO									
DATA DO ENSAIO: 29/04/2010		CP	DIÂMETRO	TENSÃO	FORMA DE RUPTURA (%)						
Painel 04 (1:3 sem cura) 28 dias			(mm)	(MPa)	A	B	C	D	E	F	OBS:
DESCRIÇÃO DO REVESTIMENTO ENSAIADO:		1	50	0,20			100				
Substrato: Alvenaria (Bloco cerâmico)		2	50	0,25	100						
Argamassa		3	50	0,20			100				
Local do Ensaio: Obra (in situ)		4	50	0,24	100						
Idade do Revestimento: 28 dias		5	50	0,21		100					
		6	50	0,18			100				
Critério – NBR 13528/1995		7	50	0,24		100					
		8	50	0,21		100					
Resistência de aderência à tração (MPa)		9	50	0,20			100				
		10	50	0,21		100					
Forma de Ruptura:											
Mediana	0,22										
Média (MPa)	0,23										
D. Padrão	0,00										
C. Variação	3,60%										

FORMA DE RUPTURA:		LIMITES MÍNIMOS DE RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO – NBR 13749		
		PAREDE INTERNA	PAREDE EXTERNA	
INTERFACE CHAPISCO/SUBSTRATO				
INTERFACE ARGAMASSA/CHAPISCO		Pintura/base reboco	Pintura/base reboco	0,30 Mpa
ARGAMASSA DE REVESTIMENTO		Cerâmica e laminado	Cerâmica	0,30 Mpa
SUBSTRATO			TETO	0,20 Mpa
INTERFACE REVESTIMENTO/COLA				
INTERFACE COLA/PASTILHA				

MPA CONCRETOS		DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO									
DATA DO ENSAIO: 29/04/2010		CP	DIÂMETRO	TENSÃO	FORMA DE RUPTURA (%)						
Painel 04 (1:3 curado) 28 dias			(mm)	(MPa)	A	B	C	D	E	F	OBS:
DESCRIÇÃO DO REVESTIMENTO ENSAIADO:		1	50	0,24		100					
Substrato: Alvenaria (Bloco cerâmico)		2	50	0,25		100					
Argamassa		3	50	0,26		100					
Local do Ensaio: Obra (in situ)		4	50	0,24		100					
Idade do Revestimento: 28 dias		5	50	0,21			100				
		6	50	0,28				100			
Critério – NBR 13528/1995		7	50	0,27		100					
		8	50	0,31			100				
Resistência de aderência à tração (MPa)		9	50	0,27			100				
		10	50	0,22			100				
Forma de Ruptura:											
Mediana	0,28										
Média (MPa)	0,29										
D. Padrão	0,01										
C. Variação	3,60%										

FORMA DE RUPTURA:	LIMITES MÍNIMOS DE RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO – NBR 13749		
INTERFACE CHAPISCO/SUBSTRATO	PAREDE INTERNA	PAREDE EXTERNA	
INTERFACE ARGAMASSA/CHAPISCO	Pintura/base reboco	Pintura/base reboco	0,30 Mpa
ARGAMASSA DE REVESTIMENTO	Cerâmica e laminado	Cerâmica	0,30 Mpa
SUBSTRATO		TETO	0,20 Mpa
INTERFACE REVESTIMENTO/COLA			
INTERFACE COLA/PASTILHA			

MPA CONCRETOS		DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO									
DATA DO ENSAIO: 17/05/2010		CP	DIÂMETRO	TENSÃO	FORMA DE RUPTURA (%)						
Painel 04 (1:3 + SBR sem cura) 28 dias			(mm)	(MPa)	A	B	C	D	E	F	OBS:
DESCRIÇÃO DO REVESTIMENTO ENSAIADO:		1	50	0,30			100				
Substrato: Alvenaria (Bloco cerâmico)		2	50	0,21				100			
Argamassa		3	50	0,26		100					
Local do Ensaio: Obra (in situ)		4	50	0,33		100					
Idade do Revestimento: 28 dias		5	50	0,28		100					
		6	50	0,38		100					
Critério – NBR 13528/1995		7	50	0,25		100					
		8	50	0,21		100					
Resistência de aderência à tração (MPa)		9	50	0,42		100					
		10	50	0,21	100						
Forma de Ruptura:											
Mediana	0,30										
Média (MPa)	0,33										
D. Padrão	0,01										
C. Variação	3,56%										

FORMA DE RUPTURA:		LIMITES MÍNIMOS DE RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO – NBR 13749		
		PAREDE INTERNA	PAREDE EXTERNA	
INTERFACE CHAPISCO/SUBSTRATO				
INTERFACE ARGAMASSA/CHAPISCO		Pintura/base reboco	Pintura/base reboco	0,30 Mpa
ARGAMASSA DE REVESTIMENTO		Cerâmica e laminado	Cerâmica	0,30 Mpa
SUBSTRATO			TETO	0,20 Mpa
INTERFACE REVESTIMENTO/COLA				
INTERFACE COLA/PASTILHA				

MPA CONCRETOS		DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO									
DATA DO ENSAIO: 17/05/2010		CP	DIÂMETRO	TENSÃO	FORMA DE RUPTURA (%)						
Painel 04 (1:3 + SBR curado) 28 dias			(mm)	(MPa)	A	B	C	D	E	F	OBS:
DESCRIÇÃO DO REVESTIMENTO ENSAIADO:		1	50	0,20			100				
Substrato: Alvenaria (Bloco cerâmico)		2	50	0,25		100					
Argamassa		3	50	0,18				100			
Local do Ensaio: Obra (in situ)		4	50	0,24		100					
Idade do Revestimento: 28 dias		5	50	0,21			100				
		6	50	0,18			100				
Critério – NBR 13528/1995		7	50	0,17		100					
		8	50	0,21		100					
Resistência de aderência à tração (MPa)		9	50	0,2		100					
		10	50	0,25		100					
Forma de Ruptura:											
Mediana	0,23										
Média (MPa)	0,22										
D. Padrão	0,01										
C. Variação	5,27%										

FORMA DE RUPTURA:		LIMITES MÍNIMOS DE RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO – NBR 13749		
		PAREDE INTERNA		PAREDE EXTERNA
INTERFACE CHAPISCO/SUBSTRATO		Pintura/base reboco		Pintura/base reboco
INTERFACE ARGAMASSA/CHAPISCO		Cerâmica e laminado		Cerâmica
ARGAMASSA DE REVESTIMENTO				TETO
SUBSTRATO				0,30 Mpa
INTERFACE REVESTIMENTO/COLA				0,30 Mpa
INTERFACE COLA/PASTILHA				0,20 Mpa

MPA CONCRETOS		DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO									
DATA DO ENSAIO: 01/07/2010		CP	DIÂMETRO	TENSÃO	FORMA DE RUPTURA (%)						
Painel 04 (1:3 sem cura) 120 dias			(mm)	(MPa)	A	B	C	D	E	F	OBS:
DESCRIÇÃO DO REVESTIMENTO ENSAIADO:		1	50	0,21		100					
Substrato: Alvenaria (Bloco cerâmico)		2	50	0,25		100					
Argamassa		3	50	0,34			100				
Local do Ensaio: Obra (in situ)		4	50	0,26		100					
Idade do Revestimento: 120 dias		5	50	0,21		100					
		6	50	0,38				100			
Critério – NBR 13528/1995		7	50	0,47		100					
		8	50	0,21		100					
Resistência de aderência à tração (MPa)		9	50	0,42			100				
		10	50	0,21		100					
Forma de Ruptura:											
Mediana	0,25										
Média (MPa)	0,30										
D. Padrão	0,01										
C. Variação	2,98%										

FORMA DE RUPTURA:		LIMITES MÍNIMOS DE RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO – NBR 13749		
		PAREDE INTERNA	PAREDE EXTERNA	
INTERFACE CHAPISCO/SUBSTRATO				
INTERFACE ARGAMASSA/CHAPISCO		Pintura/base reboco	Pintura/base reboco	0,30 Mpa
ARGAMASSA DE REVESTIMENTO		Cerâmica e laminado	Cerâmica	0,30 Mpa
SUBSTRATO			TETO	0,20 Mpa
INTERFACE REVESTIMENTO/COLA				
INTERFACE COLA/PASTILHA				

MPA CONCRETOS		DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO									
DATA DO ENSAIO: 01/07/2010		CP	DIÂMETRO	TENSÃO	FORMA DE RUPTURA (%)						
Painel 04 (1:3 curado) 120 dias			(mm)	(MPa)	A	B	C	D	E	F	OBS:
DESCRIÇÃO DO REVESTIMENTO ENSAIADO:		1	50	0,15			100				
Substrato: Alvenaria (Bloco cerâmico)		2	50	0,26		100					
Argamassa		3	50	0,34			100				
Local do Ensaio: Obra (in situ)		4	50	0,26		100					
Idade do Revestimento: 120 dias		5	50	0,47		100					
		6	50	0,38				100			
Critério – NBR 13528/1995		7	50	0,47		100					
		8	50	0,21			100				
Resistência de aderência à tração (MPa)		9	50	0,42			100				
		10	50	0,21		100					
Forma de Ruptura:											
Mediana	0,26										
Média (MPa)	0,40										
D. Padrão	0,02										
C. Variação	4,41%										

FORMA DE RUPTURA:	LIMITES MÍNIMOS DE RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO – NBR 13749		
INTERFACE CHAPISCO/SUBSTRATO	PAREDE INTERNA	PAREDE EXTERNA	
INTERFACE ARGAMASSA/CHAPISCO	Pintura/base reboco	Pintura/base reboco	0,30 Mpa
ARGAMASSA DE REVESTIMENTO	Cerâmica e laminado	Cerâmica	0,30 Mpa
SUBSTRATO		TETO	0,20 Mpa
INTERFACE REVESTIMENTO/COLA			
INTERFACE COLA/PASTILHA			

MPA CONCRETOS		DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO									
DATA DO ENSAIO: 19/08/2010		CP	DIÂMETRO	TENSÃO	FORMA DE RUPTURA (%)						
Painel 04 (1:3 + SBR sem cura) 120 dias			(mm)	(MPa)	A	B	C	D	E	F	OBS:
DESCRIÇÃO DO REVESTIMENTO ENSAIADO:		1	50	0,62		100					
Substrato: Alvenaria (Bloco cerâmico)		2	50	0,59		100					
Argamassa		3	50	0,55			100				
Local do Ensaio: Obra (in situ)		4	50	0,76		100					
Idade do Revestimento: 120 dias		5	50	0,72		100					
		6	50	0,63				100			
Critério – NBR 13528/1995		7	50	0,49		100					
		8	50	0,78		100					
Resistência de aderência à tração (MPa)		9	50	0,58			100				
		10	50	0,60		100					
Forma de Ruptura:											
Mediana	0,62										
Média (MPa)	0,63										
D. Padrão	0,04										
C. Variação	5,96%										

FORMA DE RUPTURA:		LIMITES MÍNIMOS DE RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO – NBR 13749		
		PAREDE INTERNA	PAREDE EXTERNA	
INTERFACE CHAPISCO/SUBSTRATO				
INTERFACE ARGAMASSA/CHAPISCO		Pintura/base reboco	Pintura/base reboco	0,30 Mpa
ARGAMASSA DE REVESTIMENTO		Cerâmica e laminado	Cerâmica	0,30 Mpa
SUBSTRATO			TETO	0,20 Mpa
INTERFACE REVESTIMENTO/COLA				
INTERFACE COLA/PASTILHA				

MPA CONCRETOS		DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO									
DATA DO ENSAIO: 19/08/2010		CP	DIÂMETRO	TENSÃO	FORMA DE RUPTURA (%)						
Painel 04 (1:3 + SBR curado) 120 dias			(mm)	(MPa)	A	B	C	D	E	F	OBS:
DESCRIÇÃO DO REVESTIMENTO ENSAIADO:		1	50	0,30			100				
Substrato: Alvenaria (Bloco cerâmico)		2	50	0,25			100				
Argamassa		3	50	0,26		100					
Local do Ensaio: Obra (in situ)		4	50	0,34		100					
Idade do Revestimento: 120 dias		5	50	0,21			100				
		6	50	0,38				100			
Critério – NBR 13528/1995		7	50	0,47		100					
		8	50	0,21		100					
Resistência de aderência à tração (MPa)		9	50	0,42			100				
		10	50	0,21		100					
Forma de Ruptura:											
Mediana	0,26										
Média (MPa)	0,31										
D. Padrão	0,02										
C. Variação	5,50%										

FORMA DE RUPTURA:		LIMITES MÍNIMOS DE RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO – NBR 13749		
		PAREDE INTERNA	PAREDE EXTERNA	
INTERFACE CHAPISCO/SUBSTRATO				
INTERFACE ARGAMASSA/CHAPISCO		Pintura/base reboco	Pintura/base reboco	0,30 Mpa
ARGAMASSA DE REVESTIMENTO		Cerâmica e laminado	Cerâmica	0,30 Mpa
SUBSTRATO			TETO	0,20 Mpa
INTERFACE REVESTIMENTO/COLA				
INTERFACE COLA/PASTILHA				