UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

AVALIAÇÃO DE REVESTIMENTOS DE ARGAMASSA À PERMEABILIDADE AO VAPOR DE ÁGUA

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Aldo Leonel Temp

Santa Maria, RS, Brasil
2014

PPGEC,UFSM,RS TEMP, Aldo Leonel Mestre 2014

AVALIAÇÃO DE REVESTIMENTOS DE ARGAMASSA À PERMEABILIDADE AO VAPOR DE ÁGUA

Aldo Leonel Temp

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Área de Concentração em Materiais de Construção, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM,RS),como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Engenharia Civil

Orientador: Prof. Dr. Gihad Mohamad
Co-Orientador:Prof. Dr. Rogério Cattelan Antocheves de Lima

Santa Maria,RS, Brasil
2014

Ficha catalográfica elaborada através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Central da UFSM, com dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Temp, Aldo Leonel.
Avaliação de revestimentos de argamassa à permeabilidade ao vapor de água

Orientador: Gihad Mohamad
Co-orientador: Rogério Cattelan Antocheves de Lima
Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, RS, 2014.

A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova a Dissertação de Mestrado

AVALIAÇÃO DE REVESTIMENTOS DE ARGAMASSA À PERMEABILIDADE AO VAPOR DE ÁGUA

elaborada por
Aldo Leonel Temp

como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Engenharia Civil

COMISSÃO EXAMINADORA

_____
Prof. Dr. Gihad Mohamad (UFSM)
(Presidente/Orientador)

_____
Prof. Dr. Rogério Cattelan Antocheves de Lima (UFSM)
Coorientador

_____
Prof. Dr. Alexandre Silva de Vargas(FEEVALE)
Examinador Externo

_____
Prof. Dr. Eduardo Rizzatti(UFSM)
Examinador Interno

Santa Maria,26 de setembro de 2014.

“O único homem que está isento de erros, é aquele que não arrisca acertar”

Albert Einstein

AGRADECIMENTOS

A minha família que me auxiliou nesta empreitada (esposa, mãe e irmão).

Ao meu pai Armindo Leonel Temp (em memória), pelo exemplo de vida e ensinamento.

Ao meu orientador, prof. Dr. Gihad Mohamad, e coorientador, Prof. Dr. Rogério Antocheves, pela paciência, dedicação e ensinamentos repassados, durante o tempo que dedicaram para que eu pudesse estar aqui realizando este sonho.

Aos meus colegas de mestrado Diego, Ana Cláudia, Poliana, Usama e Marcelo pela ajuda no laboratório e apoio. A professora Juliana Antoniazzi pela leitura da dissertação e pelo auxílio na etapa final.

A secretária do PPGEC Marília que nos auxiliou em todas instancias necessárias.

A todas as pessoas que direta e indiretamente ajudaram de uma maneira ou outra para a realização deste trabalho.

RESUMO

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção
Universidade Federal de Santa Maria

AVALIAÇÃO DE REVESTIMENTOS DE ARGAMASSA À PERMEABILIDADE AO VAPOR DE ÁGUA

Autor: Aldo Leonel Temp

Orientador: Gihad Mohamad

Co-orientador: Rogério Catellan Antocheves de Lima

Data e Local da Defesa: Santa Maria, 26 de Setembro de 2014.

Neste estudo foram avaliados: o desempenho de aderência à tração e permeabilidade à água no estado líquido e ao vapor de sistemas de revestimento argamassados. Como conclusões gerais do trabalho, podem destacar as seguintes: argamassa tradicional de cimento, cal e areia apresentaram os menores valores de resistência de aderência e os maiores valores de absorção de água para os diferentes substratos – bloco cerâmico estrutural, bloco de vedação liso e bloco de vedação ranhurado; a partir dos resultados experimentais recomenda-se o uso da base do sistema de revestimento (chapisco) para aumentar o desempenho de aderência à tração e permeabilidade a água das argamassas de revestimento; a presença do chapisco aumentou o nível de resistência de aderência para todas as argamassas avaliadas e não se observou mudança significativa no nível de absorção de água produzido pela presença do chapisco; de uma forma geral, os blocos cerâmicos estruturais foram os que produziram os menores níveis de absorção de água; os blocos de vedação ranhurados apresentaram níveis de resistência de aderência maiores do que os blocos de vedação lisos; a determinação do coeficiente de permeabilidade ao vapor de água utilizando o copo teste de 100 mm mostrou-se favorável para as amostras de argamassas estudadas com espessura de 20 mm; as argamassas industrializadas apresentaram coeficientes de permeabilidade ao vapor de água dispersos,

ficando evidente que existe a influência da estrutura interna de poros na transmissão de vapor; foi verificado que a cerâmica tem uma grande restrição ao fluxo de vapor, devido a sua microestrutura; visualmente foi observado a presença de sais na superfície das amostras, isso ocorreu pelo fato de que o fluxo é contínuo interagindo com a solução salina de cloreto de lítio; verificou-se que, as argamassas apresentam diferentes arranjos internos, com poros de diferentes geometrias.

Palavras-chave: argamassas de revestimento, aderência, permeabilidade.

ABSTRACT

M.Sc. Dissertation
Graduate Program in Civil Engineering
Federal University of Santa Maria

EVALUATION OF DIFFERENT TYPES OF MORTAR BY PERMEABILITY WATER VAPOUR

Author: Aldo Leonel Temp

Supervisor: Gihad Mohamad

Co-Supervisor: Rogério Catellan Antocheves de Lima

Date and venue of presentation: Santa Maria, September26^{th}, 2014.

The present study evaluates: the performance of tensile adhesion and water and vapour permeability of mortar rendering systems.The study can highlight the following conclusions: the traditional cement, lime and sand mortars presented the lower adherence values and the highest water absorption values independent of the substrate used - loadbearing ceramic masonry block, nonbearing block with smooth surface and nonbearing block with rugged surface; through the results of the experiments it can be recommended the use of the corse mortar as the basis of the coating system to increase the adhesion and water permeability; the presence of the coarse layer elevated the adherence capacity of all mortars tested but no significant change was noticed in the water absorption; Generally the loadbearing ceramic masonry blocks presented the lower values of water absorption; the nonbearing rugged blocks showed higher adherence levels than the smooth surface blocks; the water vapour permeability coefficient was determined using a test cup with 100mm and worked well with mortar specimens with 20mm thickness; the industrialized mortars presented scattered results in the water vapour permeability test, prooving that the internal pore structure has influence in the vapour transmission; it was also verified that the ceramic material has a great restriction to vapour transmission because of its microstructure; it was also possible to notice the presence of salts in the surface of the samples, that occurred because the water vapour flow is continuous when interacting with the

saline solution of lithium chloride; it was also verified that the mortars present different internal arrangements with pores that have distinct geometries.

Key-words: rendering mortar, adhesion, permeability.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Diferentes alternativas de revestimento de parede;(a) emboço + reboco + pintura(sistema mais antigo); (b) camada única + pintura; (c) revestimento decorativo monocamada (RDM). 27
Figura 2 - Tipos de ruptura sem chapisco (SC) 33
Figura 3 – Tipos de rupturas com chapisco (CC) 33
Figura 4 - Representação esquemática de um meio poroso 41
Figura 5 – Fluxo de umidade ascendente em parede de alvenaria 44
Figura 6 - Modos de condensação de umidade Fernandes (1990 apud NETO, 2010, p.13) 45
Figura 7 – Copos teste 48
Figura 8 – Resultados experimentais de permeabilidade ao vapor de água em argamassas de Penas (2008) 53
Figura 9 – Moldes após ensaio de permeabilidade ao vapor d'água 54
Figura 10 - Etapas da pesquisa 55
Figura 11 - Fluxograma da primeira etapa 56
Figura 12 - Blocos cerâmicos de vedação lisos 57
Figura 13 - Blocos de vedação nervurados 58
Figura 14 - Blocos cerâmicos estruturais 58
Figura 15 - Prismas de blocos cerâmicos estruturais 59
Figura 16 - Prismas com blocos cerâmicos de vedação lisos 59
Figura 17 - Prismas com blocos cerâmicos de vedação nervurados 60
Figura 18 - Prismas com chapisco 60
Figura 19 - Curva granulométrica 62
Figura 20 - Equipamento de arrancamento e serra diamantada 64
Figura 21 – Prismas revestidos de argamassa com 7 furos preparadas para o ensaio de aderência à tração 65
Figura 22 - Cachimbo de vidro 67
Figura 23 - Ensaio de permeabilidade de água no estado líquido 68
Na Figura 24 são apresentados os testes de permeabilidade de água no estado líquido pelo método do cachimbo da argamassa tradicional com e sem chapisco, e, utilizando os substratos de blocos cerâmicos estruturais (BCE), blocos de vedação lisos (BVL) e blocos de vedação nervurados (BVN). 69
Figura 24 - Resultados experimentais dos sistemas de revestimentos com argamassa tradicional 70
Figura 25 - Resultados de absorção de água dos sistemas de revestimentos com argamassa de projeção 71
Na Figura 27 são apresentados os testes de permeabilidade de água no estado líquido pelo método do cachimbo da argamassa reboco médio com e sem chapisco, e, utilizando os substratos de blocos cerâmicos estruturais (BCE), blocos de vedação lisos (BVL) e blocos de vedação nervurados (BVN). 72
Figura 27 - Resultados de absorção de água dos sistemas de revestimentos com argamassa reboco médio 73
Figura 28 - Resultados do ensaio de aderência utilizando blocos estruturais cerâmicos 76
Figura 29 - Resultados do ensaio de aderência utilizando blocos de vedação liso 77
Figura 30 - Resultados do ensaio de aderência utilizando blocos de vedação nervurado 78
Figura 31 - Parede moldada com blocos cerâmicos estruturais 80

Figura 32 - Ruptura na argamassa (B-SC).....80
Figura 33 - Ruptura na interface argamassa-substrato (A-SC) 80
Figura 34 - Ruptura na interface argamassa-substrato (A-SC) 81
Figura 35 - Ruptura na argamassa (B-SC).....81
Figura 36 - Substrato com blocos cerâmicos estruturais revestidos com argamassa tradicional e fissuras no terço médio e extremidades da parede.....82
Figura 37 - Ruptura na argamassa (B-SC) utilizando substrato de blocos cerâmicos estruturais 83
Figura 38 - Ruptura na argamassa (A-SC) utilizando substrato de blocos de vedação lisos.....83
Figura 39 - Ruptura na argamassa (A-SC) utilizando substrato de blocos de vedação nervurados.....84
Figura 40 - Ruptura na argamassa (B-SC) e ruptura na interface argamassa-substrato (A-SC) utilizando substrato de blocos cerâmicos estruturais.....84
Figura 41 - Ruptura na interface argamassa-chapisco (A-CC) substrato de blocos cerâmicos estruturais revestidos com argamassa tradicional. 85
Figura 42 - Ruptura na argamassa (B-CC) e ruptura na interface argamassa-chapisco (A-CC) paredes moldadas com blocos de vedação lisos. 85
Figura 43 - Parte da ruptura ocorreu na argamassa (B-CC) e parte na interface argamassa-substrato (A-CC) utilizando substrato de blocos de vedação nervurados. 85
Figura 44 - Parte da ruptura ocorreu na interface chapisco-substrato (F-CC) e parte na interface argamassa-chapisco (A-CC) utilizando substrato de blocos cerâmicos estruturais. 86
Figura 45 - Fluxograma da segunda etapa 88
Figura 46 - Amostras cerâmicas obtidas a partir de blocos cerâmicos estruturais....89
Figura 47 - Moldagem das amostras dos conjuntos de revestimentos argamassados.....90
Figura 48 - Copos teste.....92
Figura 49 – Medidas adaptadas do copo teste descrito na norma EN 1015-19 (2000), vista lateral e superior. 93
Figura 50 - Corpo de prova de argamassa.....94
Figura 51 - Solução salina saturada de cloreto de lítio.....94
Figura 52 - Câmara climática 97
Figura 53 - Resultados de ganha de massa (sistemas) 99
Figura 54 - Resultados de ganho de massa (componentes isolados).....101
Figura 55 - Resultados de ganho total de massa (componentes isolados) 102
Figura 56 - Resultados de ganho de massa (sistemas) 103
Figura 57 - Resultados de permeabilidade ao vapor d'água (componentes isolados).....104
Figura 58 - Resultados de permeabilidade ao vapor d'água (sistemas).....105
Figura 59 – Verificação de eflorêscencia 106
Figura 60 - Amostra de argamassa reboco médio 107
Figura 61 - Amostra de argamassa de alta porosidade.....107
Figura 62 - Amostra argamassa de alta porosidade.....108
Figura 63 - Amostra do conjunto cerâmica/argamassa de alta porosidade.....109
Figura 64 - Amostra do conjunto cerâmica/argamassa reboco médio 109
Figura 65 - Amostra do conjunto cerâmica/argamassa estabilizada 110
Figura 66 - Imagens da superfície da amostra de argamassa estabilizada 112
Figura 67 - Imagens da superfície da amostra de argamassa reboco médio.....114

Figura 68 - Esquema do efeito de transferência de vapor de água.....115
Figura 69 - Imagens da superfície da amostra de argamassa de alta porosidade..116

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Espessuras recomendadas para revestimentos argamassados 28
Tabela 2 - Limites de resistência de aderência à tração, NBR 13749 (ABNT,2013) 32
Tabela 3 – Resultados do ensaio de permeabilidade.....52
Tabela 4 – Caracterização física do cimento CP – IV 61
Tabela 5 – Distribuição granulométrica do agregado miúdo 62
Tabela 8 – Resultados dos coeficientes de variação do ensaio de aderência à tração 75
Tabela 9 – Tipologia de rupturas.....79
Tabela 6 – Caracterização física do cimento CP-II-Z 90
Tabela 7 – Espessuras recomendadas para revestimentos argamassados 91
Tabela 10 - Resultados experimentais ensaio de permeabilidade ao vapor d'água 100

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Tipos de cimentos e sua contribuição nas argamassas e concretros.....37
Quadro 2 – Especificações de cura.....48
Quadro 3 – Permeabilidade ao vapor de água (estudos realizados no LNEC) 51
Quadro 4 - P1 - Blocos Cerâmicos Estruturais - Argamassa Tradicional (sem chapisco).....126
Quadro 5 - P2 - Blocos de Vedação Lisos - Argamassa Tradicional (sem chapisco).....127
Quadro 6 - P3 - Blocos de Vedação Nervurados - Argamassa Tradicional (sem chapisco).....128
Quadro 7 - P1 - Blocos Cerâmicos Estruturais - Reboco Médio (sem chapisco) 129
Quadro 8 - P2 - Blocos de Vedação Lisos - Reboco Médio (sem chapisco) 130
Quadro 9 - P3 - Blocos de Vedação Nervurados - Reboco Médio (sem chapisco).....131
Quadro 10 - P1 - Blocos Cerâmicos Estruturais - Argamassa Projeção (sem chapisco).....132
Quadro 11 - P2 - Blocos de Vedação Lisos - Argamassa Projeção (sem chapisco).....133
Quadro 12 - P3 - Blocos de Vedação Nervurados - Argamassa Projeção (sem chapisco).....134
Quadro 13 - P1 - Blocos Cerâmicos Estruturais - Argamassa Tradicional (com chapisco).....135
Quadro 14 - P2 - Blocos de Vedação Lisos - Argamassa Tradicional (com chapisco).....136
Quadro 15 - P3 - Blocos de Vedação Nervurados - Argamassa Tradicional (com chapisco).....137
Quadro 16 - P1 - Blocos Cerâmicos Estruturais - Reboco Médio (com chapisco) ..138
Quadro 17 - P2 - Blocos de Vedação Lisos - Reboco Médio (com chapisco).....139
Quadro 18 - P3 - Blocos de Vedação Nervurados - Reboco Médio (com chapisco).....140
Quadro 19 -P1 - Blocos Cerâmicos Estruturais - Argamassa Projeção (com chapisco).....141
Quadro 20 -P2 - Blocos de Vedação Lisos - Argamassa Projeção (com chapisco).....142
Quadro 21 - P3 - Blocos de Vedação Nervurados - Argamassa Projeção (com chapisco).....143
Quadro 22 - Bloco Cerâmico Estrutural - Argamassa Tradicional - Com Chapisco 144
Quadro 23 - Bloco Cerâmico Estrutural - Argamassa Tradicional - Sem Chapisco 144
Quadro 24 - Bloco Cerâmico Estrutural - Argamassa Reboco Médio - Com Chapisco 145
Quadro 25 - Bloco Cerâmico Estrutural - Argamassa Reboco Médio - Sem Chapisco 145
Quadro 26 - Bloco Cerâmico Estrutural - Argamassa Projeção - Com Chapisco....146
Quadro 27 - Blocos de Vedação - Lisos - Argamassa Projeção - Com Chapisco...146
Quadro 28 - Blocos de Vedação - Lisos - Argamassa Projeção - Sem Chapisco ...147
Quadro 29 - Blocos de Vedação - Lisos - Argamassa Reboco Médio - Com Chapisco 147

Quadro 30 - Blocos de Vedação - Lisos - Argamassa Reboco Médio - Sem Chapisco 148
Quadro 31 - Blocos de Vedação - Lisos - Argamassa RebocoTradicional - Com Chapisco 148
Quadro 32 - Blocos de Vedação - Lisos - Argamassa Reboco Tradicional -Sem Chapisco 149
Quadro 33 - Blocos de Vedação - Nervurados - Argamassa RebocoTradicional - Com Chapisco.....149
Quadro 34 - Blocos de Vedação - Nervurados - Argamassa Reboco Tradicional -Sem Chapisco.....150
Quadro 35 - Blocos de Vedação - Nervurados - Argamassa Projeção- Com Chapisco 150
Quadro 36 - Blocos de Vedação- Lisos - Argamassa Projeção -Sem Chapisco 151
Quadro 37 - Blocos de Vedação Nervurados - Argamassa Reboco Médio- Com Chapisco 151
Quadro 38 - Blocos de Vedação Nervurados - Lisos - Argamassa Reboco Médio -Sem Chapisco 152

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 21
1.1 Justificativa 22
1.2 Objetivos 23
1.2.Objetivo Geral 23
1.2.2 Objetivos Específicos 23
1.3 Estrutura do trabalho 24
2 REVESTIMENTO ARGAMASSADO 25
2.1 Estrutura dos revestimentos 25
2.1.1 Substrato 25
2.1.2.Camadas de Revestimentos 26
2.1.3 Espessuras recomendadas para o revestimento 27
2.2 Avaliação das propriedades das argamassas e revestimentos no estado fresco 28
2.2.1 Trabalhabilidade 28
2.2.2 Aderência Inicial 29
2.2.3 Retenção de água 30
2.3 Avaliação das propriedades das argamassas e revestimentos no estado endurecido 31
2.3.1 Aderência 31
2.3.2 Capacidade de absorver deformações 33
2.3.3 Retração 34
2.3.4 Resistência Mecânica 34
2.3.5 Permeabilidade 35
2.4 Materiais componentes das argamassas de revestimento 35
2.4.1 Cimento 35
2.4.2 Cal 37
2.4.3 Agregados 38
2.4.4 Água 38
2.5 Argamassas industrializadas e dosada em central 38
2.5.1. Argamassa industrializada 38
2.5.2 Argamassa dosada em central 39
2.6 Umidade nas construções 40
2.6.1 Estrutura porosa dos materiais 41
2.6.2 Mecanismo de transferência de umidade nos materiais 42
2.6.3 Higroscopicidade 43
2.6.4 Condensação 44
2.6.5 Capilaridade 46
2.7 Comentários sobre as normas de revestimento argamassados 47
2.8 Resumo dos principais estudos de permeabilidade ao vapor d'água 50
3 PROGRAMA EXPERIMENTAL, MATERIAIS E MÉTODOS 55
3.1 Programa experimental – Etapa I 55
3.1.1 Materiais – Etapa I 57
3.1.2 Tipos de substratos – Etapa I 57
3.1.3 Confecção dos prismas 59
3.1.4 Preparo do substrato 60
3.1.5 Tipos e preparo de argamassas – Etapa I 61
3.1.5.1 Argamassa tradicional de cimento, cal hidratada e areia 61
3.1.5.2 Argamassa industrializada 63
3.1.5.3 Argamassa industrializada de projeção 63

3.1.6 Métodos e procedimentos de ensaio – Etapa I 64
3.1.6.1 Argamassas no estado endurecido 64
3.1.6.2 Determinação da resistência de aderência à tração 64
3.1.6.3 Definição da amostragem 65
3.1.6.4 Execução dos cortes nos corpos-de-prova 65
3.1.7 Método do Cachimbo 66
3.1.7.1 Aparelhagem 67
3.1.7.2 Procedimentos para a realização do ensaio 67
3.2 Resultados – Etapa I 69
3.2.1 Avaliação de permeabilidade e absorção de água no estado líquido 69
3.2.1.1 Argamassa tradicional 69
3.2.1.2 Argamassa de projeção 71
3.2.1.3 Argamassa industrializada reboco médio 72
3.2.3 Análise do ensaio de aderência à tração 74
3.2.3.1 Coeficiente de variação das amostras 74
3.2.3.2 Resistências de aderência à tração 75
3.2.3.3 Avaliação dos tipos de rupturas 78
4 PROGRAMA EXPERIMENTAL – ETAPA II 87
4.1 Materiais – Etapa II 88
4.1.1 Tipo de Substrato – Etapa II 88
4.1.1.1 Blocos Estruturais Cerâmicos 88
4.1.2 Argamassas utilizadas na Etapa II do programa experimental 89
4.1.2.1 Argamassas industrializadas 89
4.1.2.2 Argamassa Estabilizada 90
4.1.3 Espessura da camada de revestimento argamassado 90
4.1.4 Métodos e procedimentos de ensaio – Etapa II 91
4.1.4.1 Argamassas no estado endurecido 91
4.1.4.2 Avaliação da permeabilidade ao vapor de água 91
4.1.4.3 Microscopia Eletrônica de Varredura 97
4.2 Resultados – Etapa II 98
4.2.1 Avaliação de permeabilidade ao vapor d'água 98
4.2.2 Análise visual pós-ensaio de permeabilidade ao vapor d'água 106
4.2.3 Caracterização morfológica das argamassas com a microscopia eletrônica de varredura - MEV 110
4.2.3.1 Argamassa estabilizada 110
4.2.3.2 Argamassa reboco médio 112
4.2.3.3 Argamassa de alta porosidade 115
4 CONSIDERAÇÕES FINAIS 117
4.1 Ensaio de aderência à tração nos sistemas de revestimentos argamassados 117
4.2 Ensaio de absorção de água no estado líquido 118
4.3 Ensaio de permeabilidade ao vapor d'água 118
4.4 Microscopia eletrônica de varredura - MEV 119
4.5 Recomendações para trabalhos futuros 119
5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 121

1 INTRODUÇÃO

A evolução da tecnologia e o avanço no desenvolvimento de novos materiais e técnicas para os sistemas de revestimentos argamassados empregados na construção civil nem sempre são acompanhados pela cadeia produtiva. Muitas vezes, as falhas e a falta de detalhamento na elaboração de projetos, a inexperiência de projetistas, a falta de qualificação da mão-de-obra e a redução forçada no prazo de execução das obras, dentre outros fatores, acabam acarretando uma série de problemas vinculados à durabilidade e ao desempenho destes sistemas.

O sistema de revestimento argamassado é empregado para regularizar a base (substrato) e auxiliar na proteção da edificação contra as intempéries, como a ação de umidade. Entretanto, apesar de ser um elemento importante que compõe a edificação, na maioria das vezes, não é tratado com devida importância, levando a práticas construtivas meramente empíricas. Desta forma, estes sistemas de revestimento são, frequentemente, alvo de inúmeras manifestações patológicas dentre as quais, pode-se destacar: problemas gerados pela utilização de materiais inadequados ao tipo de substrato, penetração de umidade, falta de preparo da base e camadas muito espessas que induzem a anomalias como fissuração, perda de aderência, desplacamentos, degradação e eflorescências.A maioria dos materiais de construção que compõem os sistemas de revestimento argamassado possuem uma estrutura de configuração porosa. Assim, permitem que elementos ou substâncias de natureza diversa penetrem em seu interior, tornando o revestimento mais susceptível à ação de agentes de degradação, tais como, o ambiente, o clima e diversos agentes químicos físicos ou biológicos (MAGALHÃES, 2002).

A presença de umidade é, de fato, uma das principais causas do surgimento de patologias em fachadas. Elemento fundamental da sua envolvente exterior, as fachadas de edifícios ficam expostas à água proveniente das chuvas. Além das umidades que advém da água da chuva (umidades de infiltração), outros tipos de umidades podem atuar nas fachadas, sendo elas, umidades de microcapilaridade, de condensação e acidentais (CHAVES, 2009).

Veiga (1998) afirma que a água que penetra nas alvenarias e rebocos, não sendo necessária para a hidratação, deve evaporar quando estiver em condições atmosféricas ideais. Logo, um aspecto importante é que o reboco e a pintura

aplicada sobre o revestimento sejam permeáveis ao vapor de água para que se evite a entrada de fungos, tornando os ambientes insalubres.

O processo de evaporação nos sistemas de revestimentos, ao longo do tempo, pode produzir, durante a secagem, desagregação resultante da cristalização dos sais solúveis. A cristalização dos sais solúveis aumenta o volume intersticial devido aos diversos ciclos de umedecimento e secagem. Por esta razão, são visíveis, em muitas paredes afetadas pela umidade do terreno, zonas em que as superfícies se encontram erodidas pelo resultado de evaporações continuas (HENRIQUES,2007).

Com base neste contexto, torna-se evidente a necessidade de pesquisas científicas que visem compreender os fenômenos envolvidos na transmissão de vapor nos revestimentos argamassados. Desta forma, o trabalho se propõe a explorar os métodos de ensaio mais utilizados para análise da percolação de água no estado de vapor em revestimentos argamassados, adotando normas e procedimentos internacionais, visto que, não há uma normatização nacional sobre o assunto.

O objeto deste estudo é a compreensão dos mecanismos que ocorrem nos sistemas de revestimentos argamassados frente ao fluxo de vapor de água, pois essa capacidade de transmissão de vapor no revestimento argamassado desempenha um papel fundamental na estrutura interna dos componentes do sistema no que diz respeito a sua durabilidade. Embora os avanços dos estudos com relação às propriedades e desempenho de revestimentos argamassados estejam em ascensão, ainda existe uma lacuna no que diz respeito aos novos materiais que, cada vez mais, são introduzidos no mercado da construção civil brasileira.

1.1 Justificativa

As argamassas têm um papel preponderante nas construções de edifícios, tanto para assentamento quanto para revestimento. A diminuição no uso das argamassas dosadas em obra e o aparecimento de argamassas industriais tem impulsionado a construção civil, logo, surge à necessidade de se controlar os materiais e o desempenho do sistema de revestimento.

No decorrer dos últimos anos, a crescente preocupação com os sistemas de revestimentos argamassados, em especial, com a grande incidência de manifestações patológicas nas fachadas, desencadeou maior interesse em novos estudos sobre o desempenho das argamassas, uma vez que, incompatibilidades na combinação do substrato com as argamassas industrializadas e estabilizadas são frequentes.

Portanto, este trabalho vem ao encontro de uma necessidade de se conhecer os mecanismos de permeabilidade ao vapor e avaliar o desempenho desses sistemas de revestimento argamassado.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Geral

O objetivo da presente pesquisa consiste na avaliação de desempenho experimental do transporte de água no estado de vapor em revestimentos de argamassa.

1.2.2 Objetivos Específicos

Após o entendimento da proposta geral do trabalho, são apresentados os objetivos específicos da pesquisa, conforme dispostos nos tópicos a seguir:

- Avaliar o fenômeno de permeabilidade ao vapor de água de argamassas industrializadas e estabilizada;
- Verificar se os sistemas de revestimentos empregados na região atendem aos critérios de desempenho com foco na durabilidade;
- Analisar por imagens de microscopia eletrônica de varredura a superfície das argamassas no intuito de descrever os tipos e formatos de poros;
- Avaliar argamassas produzidas industrialmente descritas pelo fabricante como de alta porosidade aberta;

1.3 Estrutura do trabalho

Este trabalho esta divididos em cinco capítulos, assim descritos:

- O capítulo 1 introduz a importância do tema pesquisado, apresentando os problemas de pesquisa, os objetivos e as justificativas para abordar o estudo sobre revestimento argamassado frente à permeabilidade ao vapor de água.
- No capítulo 2 é apresentada a revisão bibliográfica, abordando as características dos diferentes sistemas de revestimentos argamassados.
- Nos capítulos 3 e 4 apresentam-se a metodologia abordada conforme as recomendações das normas vigentes para argamassa de revestimento, bem como os procedimentos laboratoriais para a execução do experimento referentes a Etapa 1 e Etapa 2.
- Nos capítulos 3 e 4 são apresentados os resultados dos ensaios experimentais com as respectivas análises da Etapa 1 e Etapa 2;
- No capítulo 5 são apresentadas as principais conclusões dos ensaios sobre os diferentes sistemas de revestimentos e as sugestões para trabalhos futuros.

2 REVESTIMENTO ARGAMASSADO

O revestimento argamassado é definido pela NBR 13529 (1995), como um sistema formado pela mistura homogênea de aglomerantes inorgânicos, agregados miúdos e água, contendo ou não aditivos ou adições. A mesma norma ainda define o sistema de revestimento como o “conjunto composto por revestimento em argamassa e acabamento decorativo, compatível com a natureza da base, condições de exposição, acabamento final e desempenho previsto em projeto”.

Este revestimento deve ter textura uniforme, sem imperfeições, tais como cavidades, fissuras, manchas e eflorescências, devendo ser prevista na especificação de projeto a aceitação ou rejeição, conforme níveis de tolerâncias admitidas (NBR 13749,1996).

Além destes componentes essenciais presentes nas argamassas, podem ainda ser incluidos produtos especiais, no intuito de melhorar ou conferir determinadas propriedades no estado fresco e endurecido ao conjunto do revestimento argamassado (PETRUCCI,2007).

Os sistemas de revestimentos de argamassas apresentam importantes funções, dentre as quais: proteger os elementos de vedação da construção frente a ação direta dos agentes agressivos; auxiliar as vedações no cumprimento de isolantes termoacústicos e estanqueidade à água e aos gases; deixar a superfície dos elementos de vedação plana, proporcionando base regular e adequada para o recebimento de outros acabamentos, além de contribuir para a estética da fachada. No entanto, cabe salientar que não é função do revestimento argamassado esconder falhas da execução como, por exemplo, o desaprumo da alvenaria (BAÍA & SABBATINI,2000).

2.1 Estrutura dos revestimentos

2.1.1 Substrato

No Brasil, os substratos mais utilizados são os com tijolos, blocos cerâmicos e blocos de concreto. Desta forma, se tratando de estruturas de concreto armado, geralmente formam-se painéis compostos com diferentes materiais. Essa diferença

se dá principalmente pela estrutura interna dos materiais, os quais possuem uma distribuição de poros muitas vezes distinta, influenciando diretamente no desempenho do revestimento argamassado.

Existem diversos tipos de substratos ou bases, podendo ser classificados pelos materiais constituintes, se possuem função estrutural ou de vedação, pela sua porosidade e absorção de água ou, ainda, pela sua superfície externa do tipo nervurado ou liso (CORTEZ, 1999).

A NBR 7200 (1998) especifica que as bases de revestimentos devem atender às exigências de planeza, prumo e nivelamento fixados nas normas de alvenaria e estrutura de concreto. Além disso, quando a base for composta por diferentes materiais e for submetida a esforços que gerem deformações diferenciais consideráveis, tais como, balanços, platibandas e últimos pavimentos, deve-se utilizar tela metálica, plástica (ou de outro material semelhante) na junção destes materiais, criando uma zona capaz de suportar as movimentações diferenciais a que estará sujeita. Outra alternativa oferecida pela norma, é a especificação de uma junta que una o revestimento aplicado sobre os dois materiais, permitindo que cada parte se movimente separadamente.

2.1.2. Camadas de Revestimentos

As camadas de revestimentos argamassados são elementos importantes no conjunto do sistema que tem como finalidade auxiliar a proteção da edificação contra intempéries e outros agentes.

De acordo com Carasek (2007), o revestimento argamassado pode ser constituído por várias camadas com características e funções específicas descritas a seguir:

a) Chapisco: é a camada de preparo da base, aplicada de forma contínua ou descontínua, com finalidade de uniformizar a superfície quanto à absorção e melhorar a aderência do revestimento argamassado;

b) Emboço: camada de revestimento executada para cobrir e regularizar a base, propiciando uma superfície que permita receber outra camada, de reboco ou de revestimento decorativo;

c) Reboco: camada de revestimento utilizada para cobrimento do emboço, propiciando uma superfície que permita receber o revestimento decorativo (por exemplo, pintura) ou que se constitua no acabamento final;

d) Camada única: popularmente chamado de “massa única” ou “ reboco paulista” é o revestimento de um único tipo de argamassa aplicada à base, sobre o qual é aplicada uma camada decorativa, como , por exemplo, a pintura;

e) Revestimento decorativo monocamada (ou monocapa) – RDM: trata-se de um revestimento aplicado em uma única camada, que faz , simultaneamente, a função de regularização e decorativa, muito utilizado. A argamassa de RDM é um produto industrializado, com composição variável de acordo com o fabricante, contendo geralmente: cimento branco, cal hidratada, agregados de várias naturezas, pigmentos inorgânicos, fungicidas, além de vários aditivos (plastificante, retentor de água, incorporador de ar, etc.).

Na Figura 1 observa-se as camadas e os tipos de sistemas de revestimento argamassados tipicamente empregados.

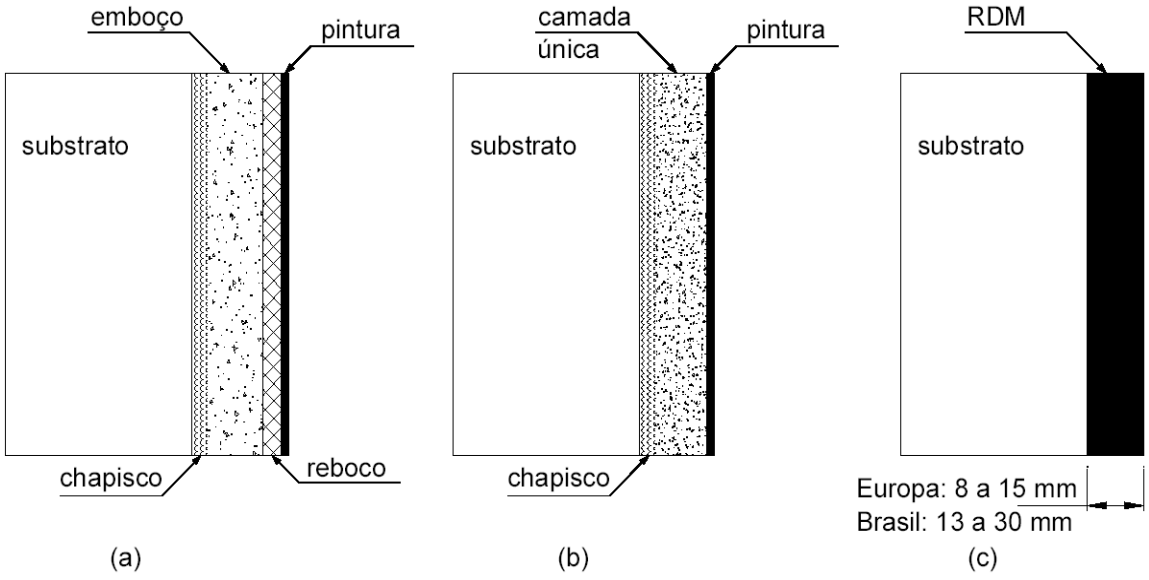

Figura 1 **-** Diferentes alternativas de revestimento de parede;(a) emboço + reboco + pintura(sistema mais antigo); (b) camada única + pintura; (c) revestimento decorativo monocamada (RDM).
Fonte: Adaptado Carasek,2007

2.1.3 Espessuras recomendadas para o revestimento

Os revestimentos compostos por argamassas são constituídos por camadas com diferentes espessuras, onde o excesso pode influenciar diretamente no desempenho do sistema substrato/argamassa.

A NBR 13749 (2013) especifica as espessuras admissíveis para o revestimento argamassado, Tabela 1.

Tabela 1 – Espessuras recomendadas para revestimentos argamassados

REVESTIMENTO	ESPESSURA (mm)
Parede Interna	5 ≤ e ≤ 20mm
Parede Externa	20 ≤ e ≤ 30mm
Tetos	e ≤ 20mm

Fonte: NBR 13749 (2013)

Conforme Baía & Sabbatini (2000), para o caso do revestimento do tipo emboço e reboco, a camada de reboco deve ter, no máximo, 5 mm, sendo o restante da espessura referente à camada de emboço. No revestimento do tipo massa única ou popularmente conhecido como “paulistão”, a espessura admissível é a mesma do emboço mais reboco.

2.2 Avaliação das propriedades das argamassas e revestimentos no estado fresco

A seguir são descritas as principais propriedades das argamassas de revestimento no estado fresco.

2.2.1 Trabalhabilidade

A trabalhabilidade pode ser considerada como uma das mais importantes propriedades no estado fresco das argamassas, pois está intimamente ligada ao desempenho da adesão inicial que, consequentemente, influência na aderência do revestimento no estado endurecido.

Baía & Sabbatini (2000) diz que trabalhabilidade é uma propriedade de avaliação qualitativa da argamassa. Uma argamassa para revestimentos é considerada trabalhável quando:

- deixa penetrar facilmente a colher de pedreiro, sem ser fluida;
- mantém-se coesa ao ser transportada, mas pode aderir à colher ao ser lançada;

- preenche todas reentrancias da base;
- não endurece rapidamente quando aplicada.

Já Carasek (2007) refere-se a trabalhabilidade como a propriedade das argamassas no estado fresco que determina a facilidade com que a mesma pode ser misturada, transportada, aplicada, consolidada e acabada, em uma condição homogênea. Associa a maneira como as argamassas se comportam ou “trabalham” na prática. Uma argamassa é chamada “trabalhável” quando permite que o pedreiro ou o aplicador execute bem o seu trabalho, ou seja, no caso de revestimento, por exemplo, que ele possa executar o serviço com boa produtividade, garantindo que o revestimento fique adequadamente aderido à base e apresente o acabamento superficial especificado.

2.2.2 Aderência Inicial

A aderência inicial ou adesão inicial está interligada a algumas propriedades da argamassa no estado fresco. As características da base como a rugosidade e a porosidade são elementos potencializadores para o bom desempenho com relação a adesão inicial. em que se está sendo aplicado o revestimento.

De acordo com Baía & Sabbatini (2000), aderência inicial é a propriedade que está relacionada ao fenômeno mecânico que ocorre em superfícies porosas pela ancoragem da argamassa na base, através da entrada da pasta nos poros, reentrâncias e saliências, seguido do endurecimento progressivo da pasta.Para se obter uma adequada aderência inicial, a argamassa deve apresentar trabalhabilidade e retenção de água adequadas à sucção da base e às condições de exposição. Caso estas condições não sejam atendidas, pode haver, por exemplo, a perda de aderência em razão da entrada rápida da pasta nos poros da base, o que acontece devido à sucção da base ser maior que a retenção de água da argamassa, causando a descontinuidade da camada de argamassa sobre a base.

De acordo com Carasek (2007), a redução da tensão superficial da pasta favorece a “molhagem” do substrato, reduzindo assim o ângulo de contato entre as superfícies e contribuindo para a adesão. Esse fenômeno propicia um maior contato físico da pasta com os grãos de agregado e também com a base, melhorando, assim, a adesão.

A tensão superficial da pasta ou argamassa pode ser modificada pela alteração de sua composição, sendo ela a função inversa do teor de cimento. A adição de cal hidratada à argamassa de cimento também diminui a sua tensão superficial, contribuindo para molhar de maneira mais efetiva a superfície dos agregados e do substrato. Efeitos semelhantes também são propiciados pelos aditivos incorporadores de ar e retentores de água.

2.2.3 Retenção de água

Sob o âmbito de definição, de acordo com Carasek (2007), retenção de água é uma propriedade que está associada à capacidade da argamassa fresca em manter a sua trabalhabilidade quando sujeita a solicitações que provocam perda de água de amassamento, seja por evaporação ou pela absorção de água da base. Assim, essa propriedade torna-se mais relevante quando a argamassa é aplicada sobre substratos com alta sucção de água ou quando as condições climáticas estão mais desfavoráveis (alta temperatura, baixa umidade relativa do ar e ventos fortes).Esta propriedade interfere no comportamento da argamassa tanto no estado fresco quanto no estado endurecido, pois as argamassas dependem, na maioria das vezes, de uma adequada retenção de água para que as reações químicas de endurecimento dos aglomerantes se efetuem de maneira correta. Dentre estas propriedades, podem ser citadas a aderência, a resistência mecânica final e a durabilidade do material aplicado.

Segundo Baía & Sabbatini (2000), esta propriedade representa a capacidade da argamassa de manter a água de amassamento contra a sucção da base ou contra a evaporação. A retenção permite que as reações de endurecimento da argamassa se tornem mais gradativas, promovendo a adequada hidratação do cimento e consequentemente ganho de resistência.

A rápida perda da água compromete a aderência, a capacidade de absorver deformações, a resistência mecânica e, por esses fatores, estanqueidade e a durabilidade do revestimento e da vedação ficam comprometidas.

Os limites de retenção de água de argamassas industrializadas para assentamento e revestimento de paredes e tetos são estabelecidos pela NBR 13277 (2005). A retenção de água é classificada como alta se for maior que 90%, e como normal se estiver compreendida no intervalo de 80% a 90%. Este método toma

como base a quantificação da massa de água retida na argamassa, depois de ser submetida a uma sucção realizada por discos de papel de filtro colocado sobre a argamassa fresca, sob uma dada pressão. Entretanto, a perda de água, será dada através da sucção ocasionada pela absorção de água dos papéis de filtros.

2.3 Avaliação das propriedades das argamassas e revestimentos no estado endurecido

A seguir são descritas as principais propriedades das argamassas de revestimento no estado endurecido.

2.3.1 Aderência

É a propriedade do revestimento em manter-se fixo ao substrato, através da resistência às tensões normais e tangenciais que surgem na interface substrato-revestimento. É resultante da resistência de aderência à tração, da resistência ao cisalhamento e da extensão de aderência da argamassa (BAÍA E SABBATINI, 2000).

A avaliação de desempenho de um sistema de revestimento argamassado frente a aderência à tração é verificada de acordo com ensaios normatizados, tendo em vista direcionar parâmetros de verificação de confiabilidade do conjunto. Porém os resultado possuem na maioria das vezes grande variabilidade de resultados (CARASEK, 2009).

A aderência depende das propriedades da argamassa no estado fresco, dos procedimentos de execução do revestimento, da natureza e características da base e da sua limpeza superficial.

Carasek (2007) descreve o termo aderência para traduzir a resistência e a extensão do contato entre a argamassa e a base, sendo o substrato, geralmente representado não só pela alvenaria, como também pela estrutura de concreto, que pode ser moldado in loco ou pré-moldada. A aderência é uma propriedade que depedende da interação entre o substrato e o revestimento argamassado. Pode-se dizer que a aderência deriva da conjunção de três propriedades da interface argamassa-substrato que são: a resistência de aderência à tração, cisalhamento e a

extensão de aderência (razão entre a área de contato efetivo e a área total possível de ser unida).

A metodologia de determinação da resistência de aderência à tração de revestimentos de paredes e tetos de argamassas inorgânicas está descrito na NBR 13528 (2010). Já a NBR 13749 (2013) fixa as condições exigíveis de aderência à tração, incluindo os limites mínimos de resistência,como mostrado na (Tabela 2).

Tabela 2 - Limites de resistência de aderência à tração, NBR 13749 (ABNT,2013)

Local de Aplicação	**Acabamento**	**Resistência de Aderência (MPa)**
Parede Interna	Pintura ou base para reboco	≥ 0,20
	Cerâmica ou laminados	≥ 0,30
Parede Externa	Pintura ou base para reboco	≥ 0,30
	Cerâmica	≥ 0,30
Teto		≥ 0,20

Os resultados desses ensaios apresentam normalmente altos índices de dispersão, resultando em um coeficiente de variação da ordem de 10% a 35%. Isso ocorre pelo fato de que a resistência de aderência é influenciada por diversos fatores (CARASEK,2009).

Quando realizado o ensaio de aderência à tração nos sistemas de revestimentos argamassados deve-se analisar com cautela os tipos de rupturas que ocorrem. Se a ruptura for de maneira coesiva ocorre no interior da argamassa ou substrato, e, se for do tipo adesiva, observa-se a ocorrência na interface. A seguir, nas Figuras 2**Figura 2** e 3, são apresentados os tipos possíveis de rupturas, respectivamente, sem e com chapisco.

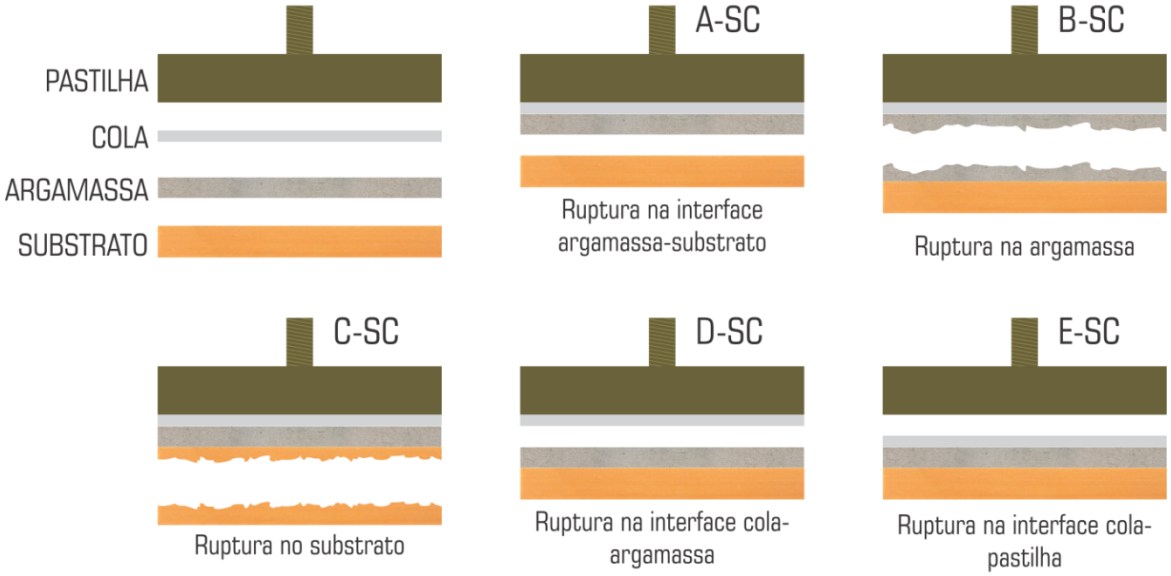

Figura 2 - Tipos de ruptura sem chapisco (SC)
Fonte: Adaptado Carasek (2007)

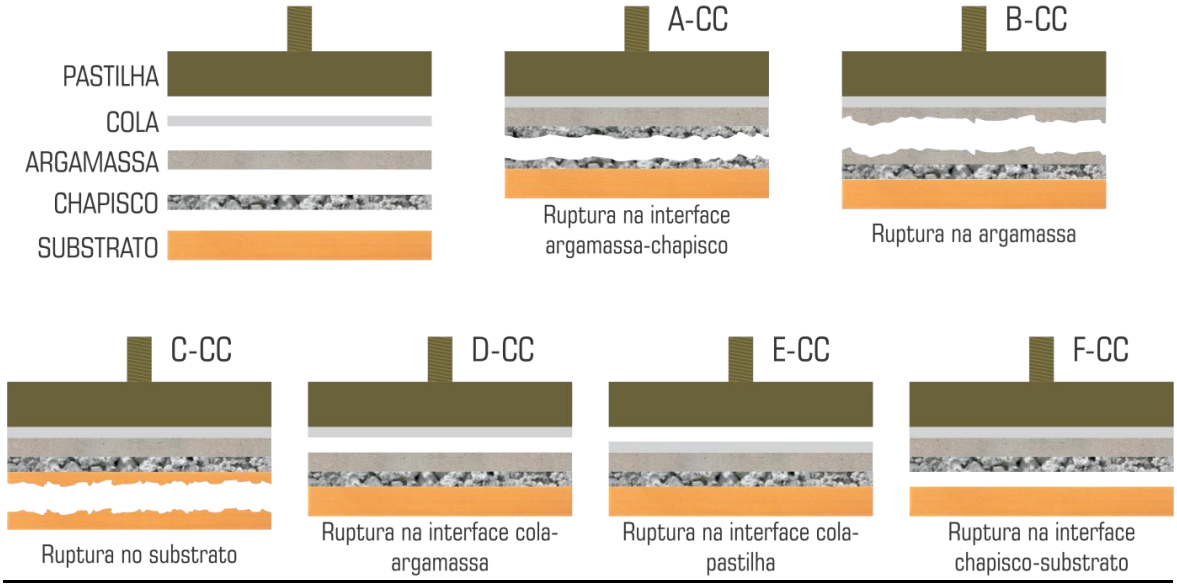

Figura 3 – Tipos de rupturas com chapisco (CC)
Fonte: Adaptado Carasek (2007)

2.3.2 Capacidade de absorver deformações

Dentro de um sistema de revestimento há uma interconectividade entre os diferentes materiais que o compõe. No entanto, por existirem diferentes elementos, a tendência é a geração de diferentes esforços atuando nas interfaces destes sistemas, provocando pequenas fissuras em grande parte das fachadas dos prédios.

Baía & Sabbatini (2000) refere-se a capacidade de absorção e deformação como a propriedade do revestimento capaz de suportar tensões sem romper, sem apresentar fissuras prejudiciais e sem perder a aderência. As fissuras são decorrentes do alívio de tensões originadas pelas deformações da base. São consideradas prejudiciais quando permitem a percolação de água no revestimento e comprometem a aderência, a estanqueidade, o acabamento superficial e a durabilidade do conjunto. As deformações podem ser de grande ou de pequena amplitude. O revestimento tem a responsabilidade de absorver as deformações de pequena amplitude, que ocorrem em consequência da ação da umidade ou da temperatura, mas não as de grande amplitude, provenientes de outros fatores que podem ser por exemplo recalques estruturais.

De acordo com Carasek (1996) os revestimentos devem possuir capacidade de absorver deformação para que, no momento em que ocorra movimentação do substrato, a argamassa possa deformar o necessário sem se romper ou para que no máximo, se produzam microfissuras, que não comprometam a aderência e a estanquiedade.

2.3.3 Retração

A retração é o resultado de um mecanismo complexo que está associado com a variação de volume da pasta aglomerante. Apresenta papel fundamental no desempenho das argamassas aplicadas, especialmente quanto à estanqueidade e à durabilidade (CARASEK, 2007).

Bastos (2001), diz que o efeito físico da retração está sempre vinculado a uma deformação na estrutura da pasta hidratada devido a ocorrência de fenômenos de naturezas diversas, contribuindo, assim, cada um com uma parcela diferente para a deformação total externa do compósito de cimento.

2.3.4 Resistência Mecânica

De acordo com Baía & Sabbatini (2000) a resistência mecânica é a propriedade dos revestimentos de suportarem as ações de diferentes naturezas. Essa propriedade depende tanto do consumo e da natureza dos agregados e aglomerantes da argamassa empregada como da técnica de execução, a qual deve

buscar a compactação da argamassa durante a sua aplicação e acabamento. A resistência mecânica aumenta com a redução da proporção de agregado na argamassa e varia inversamente com a relação água/cimento da argamassa.

A normalização brasileira, referente à determinação das propriedades mecânicas (tração na flexão e a compressão) das argamassas de revestimentos, é preconizada na NBR 13279 (2005) – Argamassa para assentamento de paredes e revestimentos de paredes e tetos – Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão. Para a realização deste ensaio são necessários corpos de prova com seção transversal de 40 mm x 40 mm e 160 mm de comprimento.

2.3.5 Permeabilidade

A permeabilidade está relacionada à passagem de água pela camada de argamassa, que é um material poroso e permite a percolação desta tanto no estado líquido como no de vapor. É uma propriedade bastante relacionada ao conjunto base-revestimento. O revestimento deve ser estanque à água, impedindo a sua percolação, mas deve ser permeável ao vapor para favorecer a secagem de umidade de infiltração (como a água da chuva, por exemplo) ou decorrente da ação direta do vapor de água (principalmente nos banheiros) (BAÍA & SABBATINI,2000).

Ao contrário da estanqueidade a água, é relevante que o revestimento da parede exterior seja o mais permeável possível ao vapor de água proveniente do interior do edifício. Esta característica é fundamental para que a água da chuva absorvida pelas paredes possa ser mais tarde transmitida ao exterior, quando as condições atmosféricas permitirem. Desta maneira, um revestimento exterior considerado ideal é aquele que consegue a melhor relação entre a impermeabilização à água e a permeabilidade ao vapor de água (SILVA, 2013).

2.4 Materiais componentes das argamassas de revestimento

2.4.1 Cimento

O Boletim Técnico BT-106 ABCP/2002 descreve que, o cimento Portland é um pó fino com propriedades aglomerantes, aglutinantes ou ligantes, que endurece quando reage com a ação da água. Depois de endurecido, mesmo que seja

novamente submetido à ação da água, o cimento Portland não se transforma mais. Misturado com água e outros materiais de construção, tais como agregado miúdo (areia), agregado graúdo (pedra britada, pó-de-pedra), a cal entre outros, resulta nos concretos e nas argamassas utilizadas na construção de casas, edifícios, pontes, barragens etc.

Dentre os aglomerantes hidráulicos, os cimentos Portland são os mais empregados na produção das argamassas de revestimentos no Brasil. Tais cimentos precisam da água para que se processem as reações de hidratação (resultando no endurecimento), como também, após este processo, formam produtos resistentes à água (JUNIOR, 2004).

Existem vários tipos de cimento disponíveis no mercado e normatizados pela ABNT, sendo o mais comum, o cimento Portland. São encontrados com diferentes graus de pureza, composições e adições. Os principais e mais empregados tipos aplicados nas diversas obras de construção civil são:

- cimento portland comum;
- cimento portland composto;
- cimento portland de alto-forno;
- cimento portland pozolânico.

O cimento tem papel fundamental nas argamassas, onde a resistência e a impermeabilidade das pastas de cimento hidratadas estão mutuamente relacionadas através da porosidade capilar, que é controlada pela relação água/cimento e pelo grau de hidratação (METHA & MONTEIRO, 2008).

No Quadro 1 pode ser visualizado a influência dos tipos de cimento nas argamassas e concretos.

Quadro 1 – Tipos de cimentos e sua contribuição nas argamassas e concretros

Propriedade	Tipos de Cimento Portland						
	Comum e Composto	**Alto-Forno**	**Pozolânico**	**Alta Resistência Inicial**	**Resistente aos Sulfatos**	**Branco Estrutural**	**Baixo Calor de Hidratação**
Resistência à Compressão	Padrão	Menor nos primeiros dias e maior no final da cura	Menor nos primeiros dias e maior no final da cura	Muito maior nos primeiros dias	Padrão	Padrão	Menor nos primeiros dias e maior no final da cura
Calor gerado na reação do cimento com a água	Padrão	Menor	Menor	Maior	Padrão	Maior	Menor
Impermeabilidade	Padrão	Maior	Maior	Padrão	Padrão	Padrão	Padrão
Resistência aos agentes agressivos (água do mar e de esgotos)	Padrão	Maior	Maior	Menor	Maior	Menor	Maior
Durabilidade	Padrão	Maior	Maior	Padrão	Maior	Padrão	Maior

2.4.2 Cal

A cal hidratada pode ser definida como um pó obtido pela hidratação da cal virgem, formado basicamente de uma mistura de hidróxido de cálcio e hidróxido de magnésio, ou ainda, de uma mistura de hidróxido de cálcio, hidróxido de magnésio e óxido de magnésio (NBR 7175, 2003).

De acordo com Cincotto e Carneiro (1999), a cal no estado fresco proporciona maior plasticidade à argamassa, traduzindo em uma melhor trabalhabilidade e, consequentemente, maior produtividade na execução do revestimento. Outra propriedade importante no estado fresco da cal é a retenção de água, por não permitir a perda excessiva de água.

A incorporação da cal hidratada em argamassas de cimento CP I diminui de forma importante o módulo de elasticidade, porém, sem afetar na mesma proporção à resistência à tração, que em última análise é a máxima resistência de aderência da argamassa e, assim, tende a aumentar a vida útil do revestimento (JOHN, 2003).

Segundo Carasek (2007), muitos estudos indicam que a medida que se aumenta a percentagem de hidróxido de magnésio na composição da cal, em relação ao hidróxido de cálcio, existe também um aumento na capacidade de aderência da argamassa.

2.4.3 Agregados

Os agregados devem ser escolhidos cuidadosamente, uma vez que, representam cerca de 60% a 80% do consumo dos materiais da argamassa pronta. Por esta razão, resultam em significativa influência no seu comportamento no estado fresco, bem como, no desempenho do revestimento. Normalmente o agregado empregado para as argamassas de revestimento é areia natural, proveniente de leitos de rios, constituída, na maioria das vezes, por quartzo.

Para Bauer (2000), agregado é o material particulado, constituinte de argamassas e concretos, coesivos e de atividade química praticamente nula, constituído de misturas de partículas cobrindo extensa gama de tamanhos.

2.4.4 Água

A água utilizada para o amassamento da argamassa não pode conter matéria orgânica e coloidal em suspensão, e, tampouco, resíduo. Deve ser armazenada em caixas estanques e protegida para evitar contaminação por substâncias estranhas. Pode-se considerar toda água potável como adequada para uso em argamassas.

2.5 Argamassas industrializadas e dosada em central

No mercado brasileiro da construção civil existe uma grande variedade de diferentes tipos de argamassas para revestimento. As argamassas industrializadas se destacam devido à facilidade de preparo, visto que, no canteiro de obras, só ocorre à mistura dos componentes secos do traço (já dosados em fábrica) com a água, de acordo com as proporções estipuladas pelo fabricante. Também existem as argamassas industrializadas do tipo estabilizadas e possuem uma vantagem no que diz repeito à produtividade, pois a mistura é dosada em central e já está pronta para o uso, dispensando a dosagem e interferência da mão de obra no canteiro.

2.5.1. Argamassa industrializada

As argamassas industrializadas ensacadas, com alto teor de porosidade, atribuem o funcionamento a sua estrutura física e não a um bloqueio por aditivos

químicos, que repelem água e perdem suas características com o passar do tempo. O sistema de poros que se forma é visualizado no preparo da argamassa e quando aplicado na parede, possui 45 % de porosidade, sem comprometer o acabamento.

Os fabricantes explicam que o exclusivo sistema de poros não transporta água no estado líquido, pois não possui poros capilares. Em função de sua propriedade hidrofílica, consegue dispersar rapidamente a água através do revestimento, aumentando a área de evaporação e, por ser extremamente permeável ao vapor d'água, leva a secagem da alvenaria. Porém, este sistema de poros não tem a capacidade de suportar água sob pressão, não podendo ser utilizado, por exemplo, em reservatórios de água.

Segundo o manual técnico da empresa fabricante da argamassa de alta porosidade os poros de gel, ou nanoporos, possuem raio menor que um centésimo de micrômetros (<0,01µm ou <0,00001mm). Os microporos possuem raio menor que um décimo de micrômetros (0,01µm até 0,1µm). Já os macroporos se dividem em dois tipos, os poros capilares, com raio menor que um décimo de milímetro (0,1µm - 100µm), e os poros de ar, com raio maior que um décimo de milímetro (>100µm). A argamassa industrializada de alta porosidade indica, além de eliminar a umidade do interior da alvenaria, gerar uma proteção na parede contra a entrada de água, visto que, diz ser totalmente impermeável à água no estado líquido.

Pode ser observado também que o tempo de desumidificação da alvenaria depende de vários fatores, podendo durar alguns dias para paredes com tijolos de seis furos e até meses em casos de paredes muito espessas, de tijolos maciços e em locais muito úmidos. Para melhor desempenho em casos de extrema umidade, recomenda-se a utilização de produtos que não bloqueiam a difusão do vapor, como por exemplo, argamassas com sistema de poros capilares que facilitam a transmissão de vapor.

2.5.2 Argamassa dosada em central

As argamassas dosadas em central são argamassas prontas, contendo em sua composição aglomerantes, agregados, água e aditivos e eventualmente adições (CARVALHO JR, 2005).

Dentre as argamassas dosadas em central desataca-se a estabilizada, onde seus constituintes são dosados em peso e misturados até se obter uma mistura homogênea. Notoriamente tem-se um controle de qualidade de toda a matéria prima, as quais são pesadas em balanças calibradas, com ajustes da sua composição de acordo com as condições climáticas (por exemplo, aferir a umidade da areia), proporcionando uma qualidade total do produto final.

Neste tipo de argamassa, são utilizados aditivos retardadores de pega, que a mantém trabalhável durante longos períodos de tempo sem segregação e sem perder suas características. Estes aditivos podem manter a argamassa estabilizada por 24 horas (usadas para regularização de contra piso), 36 ou 72 horas (utilizadas para revestimentos e assentamentos), conservando suas características de consistência adequada à utilização e ótima trabalhabilidade, o que facilita a aplicação e proporciona agilidade às obras.

Fiorito (1994) salienta que o emprego de aditivos estabilizantes, plastificantes ou incorporadores de ar, pode proporcionar melhorias nas características destas argamassas, tais como: redução da exsudação, aumento da aderência ao substrato, maior retenção de água, reduzindo significativamente o fator água-cimento.

2.6 Umidade nas construções

A umidade nas construções pode ocorrer de diversas formas, como, condensações superficiais e internas, higroscopicidade, fuga nas instalações, umidade de construção e capilaridade, sendo a capilaridade o mecanismo preponderante para que haja umidade ascencional (FREITAS;TORRES;GUIMARÂES,2008).

O conhecimento do desempenho termo-higroscópico dos materiais de construção é fundamental para evitar a formação umidade do superficial devido ao ambiente ou fatores de construção (por exemplo, absorção de umidade de ar, o aumento de capilaridade), bem como para avaliar a extensão de fenômenos de condensação (DONDI *et al.*, 2003).

A umidade exagerada, ou em limites inadequados, pode ser um dos principais agentes de degradação de um sistema composto por revestimento argamassado, além de afetar a saúde dos usuários.

Diversas manifestações patológicas estão ligadas à presença ou variação da umidade nas edificações, podendo-se destacar, dentre outras: corrosão; manchas de umidade; bolor, fungos e líquens; escorrimento e/ou gotejamento de água líquida; água condensada; deslocamento e mudança de coloração dos revestimentos; fissuras e odores desagradáveis (NETO,2010).

2.6.1 Estrutura porosa dos materiais

Os materiais porosos estão presentes em diferentes elementos de uma edificação como por exemplo os tijolos,concretos, argamassas, dentre outros. A diferente microestrutura desses materiais promove uma certa influência no diz repeito ao seu desempenho quanto a permeabilidade resistência e durabilidade (CNUDDE *et al.* ,2009)**.** De acordo Herve;Care;Seguin (2010**)** no que tange a microestrutura das argamassas diz que a possível distribuição da porosidade depende do tipo de areia (tamanho, propriedades mecânicas, espessura, composição).

Segundo Mendes (1997) os materiais utilizados em edificações podem ser representados, como observado na Figura 4 - Representação esquemática de um meio poroso, por uma estrutura sólida porosa,física e quimicamente indepente do fluído nela contido.

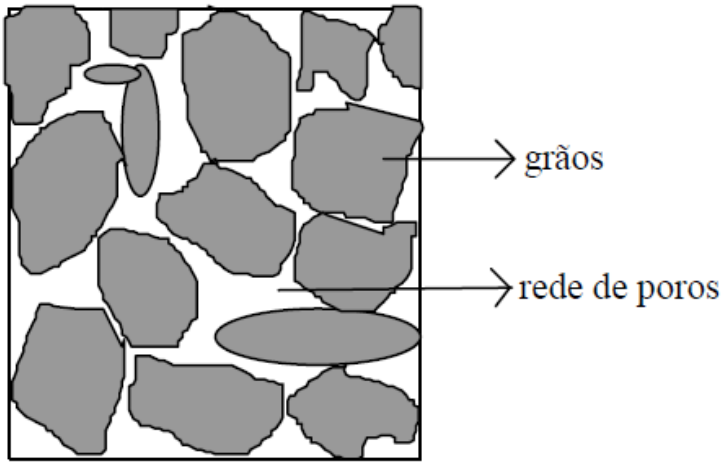

Figura 4 - Representação esquemática de um meio poroso
Fonte: Mendes (1997)

Dullien (1977 apud RATO,2006,p.33) refere-se a um material poroso como aquele que cumpre pelo menos um dos requisitos a seguir:

a) Contém espaços intersticiais não preenchidos por matéria sólida (poros), distribuídos na matriz sólida ou semi-sólida; estes espaços são geralmente ocupados por um fluido como ar, água ou vapor de água;
b) É permeábel ao fluxo de diversos fluidos, assumindo neste caso a designação de material poroso permeável.

Podem distinguir-se dois tipos de porosidade: a aberta e a fechada. Considera-se porosidade aberta aquela constituída pelos poros que comunicam entre si, formando uma rede contínua de vazios. Já a porosidade fechada, constituída por poros, ou agrupamentos de poros, isolados no interior do material, estando portanto excluídos daquela rede contínua (RATO, 2006).

Em materiais compostos como as argamassas, pode-se classificar a porosidade de acordo com a sua localização no interior do material. Os poros que se encontram entre a matriz de pasta ligante e as partículas de areia compõem a porosidade de interface, os poros que se encontram no interior da pasta formam a porosidade da matriz (RATO, 2006).

2.6.2 Mecanismo de transferência de umidade nos materiais

A maioria dos materiais de construção apresenta porosidade aberta, o que permite aos elementos fixar umidade líquida e gasosa em seus poros, alterando suas características físicas.

As moléculas d’água, na fase líquida, aderidas a uma superfície, podem ser de natureza pluvial e/ou originadas da condensação de vapor d’água do ar circulante. Geralmente esta retenção de umidade resulta da ação, por vezes conjunta, de três mecanismos físicos fundamentais: adsorção, condensação e capilaridade, sendo que a relevância relativa de cada um destes depende de diversos parâmetros, tais como: porosidade, superfície específica, natureza da fase aquosa em contato com o material (vapor ou líquido), temperatura e pressão (SANTOS,2006).

De acordo com Freitas,Torres e Guimarães (2008) existe uma complexidade nos mecanismos que condicionam o transporte da umidade em elementos

construtivos. No entanto, a difusão e os movimentos convectivos condicionam o transporte na fase de vapor, enquanto que a capilaridade, a gravidade e o efeito do gradiente de pressão controlam a transferência de umidade na fase líquida.

Existem basicamente três mecanismos fundamentais de fixação de umidade: higroscopicidade, condensação e capilaridade onde serão descritos nos itens seguir.

2.6.3 Higroscopicidade

Muitos materias de construção civil apresentam na sua composição sais solúveis em água. O mesmo ocorre nos solos, especialmente, os quais são ricos em matérias orgânicas. A presença destes sais no interior das paredes não causa prejuízo aos elementos, porém, cabe salientar que, enquanto houver umidade, os sais irão se dissolver e migrar juntamente com a água até a superfície, onde se cristalizam. A cristalização, quando ocorre nos elementos, é denominada de eflorêscencia e criptoflorescência (HENRIQUES, 2005). Na Figura 5, pode ser visualizado o mecanismo de formação de eflorêscencias e criptoflorêscencias.

As eflorescências e criptoflorescências são exsudações de sais minerais solúveis em água, que se caracterizam pela formação de uma substância de aparência cristalina, geralmente de cor esbranquiçada e que aflora à superfície, modificando o aspecto do revestimento ou alvenaria (LEAL,2009).

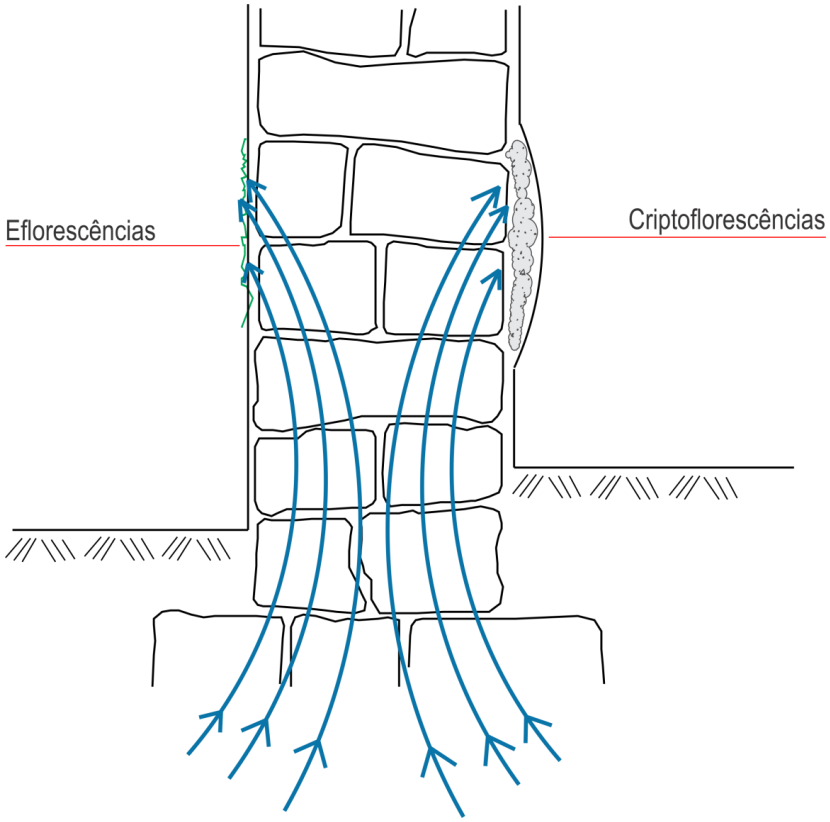

Figura 5 – Fluxo de umidade ascendente em parede de alvenaria

Torres (1998 apud HATTGE,2004, p.45) diz que, alguns destes sais são higroscópicos, isto é, tem a capacidade de absorverem umidade do ar, dissolvendo-se quando a umidade relativa do ar está em uma faixa superior de 65-75%, voltando a cristalizar com um aumento considerável de volume, quando a umidade relativa baixa daqueles valores. Dessa forma, esses tipos de sais são suceptíveis de provocarem não só o umedecimennto das superfícies sobre as quais se encontram, mas, também, darem origem a fenômenos de degradação, resultantes dos aumentos de volume que acompanham a sua cristalização, em consequência da sucessão de ciclos de dissolução-cristalização.

2.6.4 Condensação

A condensação pode ser provocada pelo fato da temperatura superficial das paredes ser menor do que a temperatura do ar no ambiente, assim, dando origem a um aumento da umidade relativa na camada de ar em contato com a superficie (HATTGE, 2004).

Henriques (2007), descreve formas de evitar condensações superficiais nas edificações:

- Controlando as condições de ocupação, das quais depende a produção de vapor nas edificações;
- Ventilação dos locais;
- Aumento da temperatura superficial do elemento de construção, obtida através do correto isolamento térmico das paredes em contato com espaços mais frios;
- Controle da temperatura ambiente no interior da edificação.

Fernandes (1990 apud NETO, 2010, p.12) realizou uma análise de dois diferentes modelos de condensação de água em argamassas (adsorção e capilaridade). A água adsorvida é composta por camadas de moléculas que condensam sobre a superfície dos poros. Já a água capilar, por sua vez, representa uma fase contínua do líquido que completa totalmente certos poros do material.

Na Figura 6 podem ser visualizadas as formas de condensação de água,onde verifica-se a presença de poros com dimensões que permitem a condensação capilar, a partir de valores médios de umidade relativa, resulta em um aumento sensível do conteúdo de umidade, levando à argamassa uma grande capacidade de retenção de água no estado endurecido.

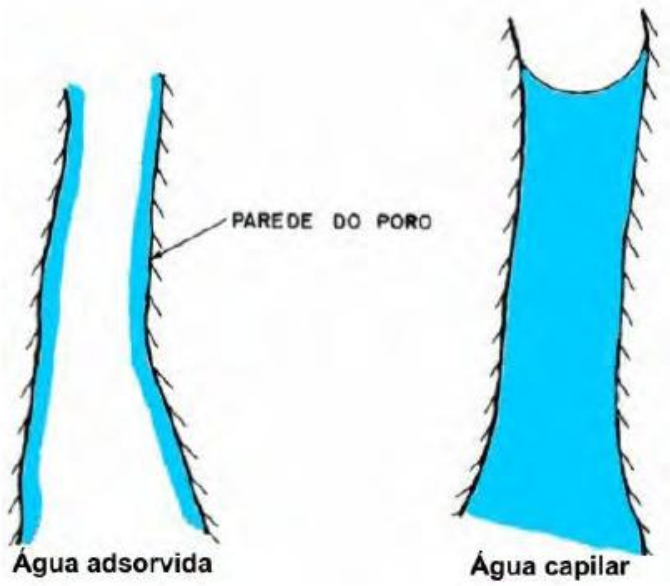

Figura 6 - Modos de condensação de umidade Fernandes (1990 apud NETO, 2010, p.13)

As condensações no interior das paredes ocorrem sempre que, em um dado ponto, a pressão parcial do vapor de água que atravessa a parede por difusão iguala a pressão de saturação correspondente à temperatura nesse ponto (HENRIQUES, 2007).

2.6.5 Capilaridade

O transporte de água por capilaridade é resultado da força de sucção capilar, que é exercida nos poros de um material hidrófilo. Esta força é uma ação combinada da tensão superficial da água e da adesão das moléculas de água na superfície interna do poro (CSTC, 1982 apud HATTGE,2004).

Segundo Rato (2006), o fenômeno da capilaridade assume um significado de grande relevância no estudo de argamassas, sendo considerado o fator privilegiado de penetração de umidade no estado líquido em um revestimento. Independentemente da sua origem, a absorção inicial de água é decorrencia da ação da capilaridade, seja isoladamente, seja em conjunto com outras ações, como a pressão pelo vento em situações de chuva. Depois da absorção de água inicial, que está ligada a ação da capilaridade, a transferência de massa é o resultado da migração simultânea das fases de vapor e líquida que dependem, respectivamente, dos fenômenos de difusão e convecção e da ação da capilaridade associada aos gradientes externos de pressão. Desta maneira, o transporte de umidade está agregado à difusividade e à permeabilidade do material específicas para o fluído em questão.

A transferência de massa em sólidos relativamente homogêneos, como compostos orgânicos e gelatinosos, é descrita eficientemente pela teoria da difusão molecular. Materiais de construção civil e meios porosos em geral, por sua vez, possuem a migração de umidade fortemente influenciada pela estrutura porosa, não permitindo considerar que o fluxo de líquido seja governado pela teoria da difusão (MENDES, 1997).

De acordo com Neto (2010), a ação capilar dos líquidos se deve à tendência que os mesmos possuem de subir pelas paredes de tubos capilares (tubos muito finos) e é uma consequência da tensão superficial. Para que haja invasão de água por capilaridade é necessário que a interação entre as moléculas do líquido seja

mais importante que a interação delas com a superfície sólida, possibilitando a formação de pontes de líquido entre superfícies opostas.

A continuidade do transporte de água por capilaridade, para o interior do substrato, irá depender se a pressão de sucção é suficiente para implementar um mecanismo de difusão de água na região já saturada (interface). Assim, se a difusividade for baixa, em virtude da estrutura de poros dos materiais, o transporte passa a ser controlado pela difusão e não mais pela absorção capilar (HALL, 1977).

2.7 Comentários sobre as normas de revestimento argamassados

No Brasil nota-se que a Associação Brasileira de Normas Técnicas dispõe de recomendações para sistemas de revestimentos, sobretudo as normas: NBR 13749 (1996): revestimentos de paredes e tetos de argamassas inorgânicas (Especificação), NBR 7200 (1998) - execução de revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas (Procedimentos), NBR 13281(2005) - argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos (Requisitos), NBR 13528 (2010) - revestimento de parede e tetos de argamassas inorgânica (Determinação da resistência de aderência à tração). Dentre as principais normas voltadas para argamassa e sistemas de revestimentos argamassados nota-se que, não há prescrições e recomendações para determinação de permeabilidade ao vapor de água, tanto para argamassas isoladas quanto para o conjunto substrato/argamassa.

A norma europeia EN 1015-19 (2000) permite determinar o regime permanente da permeabilidade ao vapor de água em argamassas no estado endurecido, levando em consideração a parte mais alta e mais baixa do intervalo higroscópico. A mesma norma descreve que devem ser produzidos corpos de prova em forma de disco, com espessura uniforme, que devem variar entre os 10 mm e os 30 mm. Para a determinação do ensaio são necessários copos teste circulares com uma abertura de 0,02 m² para encaixar os corpos de prova cilíndricos (Figura 7), que deverão ser selados na abertura superior dos copos, para que a pressão do vapor de água no interior dos copos (no qual é constante por meio de uma solução salina saturada) seja diferente da existente no ambiente exterior.

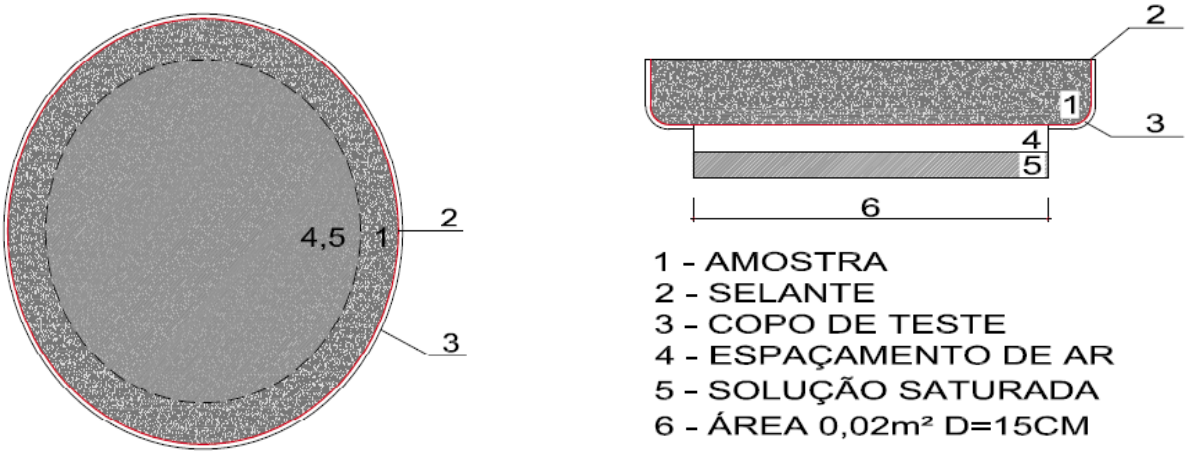

Figura 7 – Copos teste

Os moldes de argamassa devem ser armazenados em uma câmara climática para a cura respeitando as prescrições do Quadro 2 .

Quadro 2 – Especificações de cura

Tipo de Argamassa	**Tempo de Armazenamento (Dias)**	
	Condições de Cura:	
	20°C ±2°C e HR de 95 % ±5%*	*20°C ±2°C e HR* de 50 % ±5%*
Argamassas	5	23
Argamassas areia-cal	5	23
Argamassas areia-cal/ de cimento que não excedam 50% de massa ligante total	5	23
Cimento e outras argamassas areia-cal/ de cimento com massa de areia-cal que não excedam 50% da massa ligante total	2	26
Argamassas com outros ligantes hidráulicos	2	26
HR* = umidade relativa		

Para que o regime de fluxo de vapor de água seja contínuo, são utilizadas duas soluções salinas para um intervalo higroscópico superior e um inferior. A substância Cloreto de Lítio (LiCl) fornece uma umidade relativa de 12,5 % (intervalor higroscópico inferior), já o Nitrato de Potássio (KNO_3) proporciona umidade de 93,2% (intervalo higroscópio superior).

Posteriormente às etapas preliminares, os moldes (copos teste) de ensaio são mantidos em ambiente climatizado para que, tanto quanto possível, a temperatura ambiente e a pressão do vapor de água sejam constantes no exterior dos copos

teste. É recomendado dois tipos de ambientes, sendo a temperatura na faixa de 20°C ± 2°C e umidade relativa de 95% ± 5% ou 50% ±5 %.

Os critérios de cálculo são estabelecidos na forma de permeância ao vapor de água (ʌ), isto é, o fluxo de vapor de água que passa por uma área sob condições de equilíbrio, por unidade de diferença na pressão de vapor de água entre dois lados do mesmo material, onde é determinado pela seguinte expressão (Equação 1):

$$\Lambda = \frac{1}{\frac{A\Delta p}{\frac{\Delta G}{\Delta t}} - RA} \quad \text{em Kg/m}^2\text{.s.Pa (1)}$$

Onde:

A – área da abertura do copo de ensaio (m²)

Δ_p – diferença de pressão do vapor de água entre ar ambiente e a solução salina saturada, calculado em quadros adequados (Pa)

ΔG/Δt – corresponde ao fluxo do vapor de água (kg/s)

ʌ - permeância ao vapor de água (kg/m².s.Pa)

R_A – resistência ao vapor de água da folga de ar entre o provete e a solução salina (0,048x109 Pa m² s/kg por 10 mm de folga)

O cálculo da pressão de vapor de água (Δp) entre os dois lados do corpo de prova é composto pela diferença de pressão de cada um dos ambientes (P), em que P determina-se pela seguinte expressão:

$$P = Ps \times \frac{HR}{100} \text{ (Pa) (2)}$$

A pressão parcial de saturação (Ps) , à temperatura de 22ºC, corresponde a 2640 Pa.

A permeabilidade ao vapor de água corresponde ao valor da permeância multiplicado pela espessura do corpo de prova, (Equação 3).

$$\pi = \Lambda \times e \text{ (kg/m.s.Pa) (3)}$$

A espessura da camada de ar de difusão equivalente Sd é determinada a partir das permeabilidades ao vapor de água, Equação 4.

$$\mathbf{Sd = 1{,}95 \times 10^{-10} \times e/\pi \ (m) \qquad (4)}$$

Os resultados obtidos no decorrer do ensaio que corresponde à variação do ganho ou perda de massa do sistema pelo tempo são introduzidos na parcela ΔG/Δt que corresponde ao fluxo do vapor de água (kg/s), visto que a EN 1015-19 (2000) não descreve o período máximo nem mínimo necessário para a realização do experimento.

2.8 Resumo dos principais estudos de permeabilidade ao vapor d'água

De acordo com Veiga (1998) um dos primeiros estudos de relevância sobre permeabilidade ao vapor de água em argamassas foi executado no LNEC (Laboratório Nacional de Engenharia Civil) de Portugal que realizou ensaios sobre uma gama variada de argamassas com composições tradicionais de reboco. Estes valores que permitem compreender melhor a permeabilidade ao vapor de água em argamassas. No Quadro 3 pode ser visualizado os resultados experimentais do ensaio de permeabilidade ao vapor de água realizado no LNEC para diferentes traços de argamassas.

Quadro 3 – Permeabilidade ao vapor de água (estudos realizados no LNEC)

Nome do Código	Classificação	Composição	Traço - Tipo	Idade (dias)	Espessura de camada de ar de difusão equivalente a 1 cm de reboco (m)
A1	Tradicional	ci:ar r	1:4	28	0,07
AP	Tradicional	ci:ar r	1:3	28	0,17
BP	Tradicional	ci:ar r	1:3	28	0,1
B2	Tradicional	ci:ch:ar c+r	1:1:8	28	0,1
B3	Tradicional	ci:ch:ar c	1:1:8	28	0,15
C2	Tradicional	ci:ar c+r	1:4	28	0,09
CP	Tradicional	ci:ca:ar r	1:1:6	28	0,09
D1	Tradicional	ci:ca:ar r	1:1:6	28	0,1
DP	Tradicional	ci:ca:ar r	1:1:6	28	0,11
E1	Tradicional	ci:ca:ar r	1:2:9	28	0,09
E2	Tradicional	ci:ca:ar c+r	1:2:9	28	0,11
F1	Tradicional	ci:ca:ar r	1:3:12	28	0,1
MISTO 1	Não-Tradicional	-	Monocapa	28	0,21
MONOC 1	Não-Tradicional	-	Pré-dosado	28	0,12

ci:cimento; ca- cal aérea; ch- cal hidráulica; ar- areia; ar r – areia do rio; ar c + r – areia de Corroios e do rio Tejo (50% de cada); ar c – areia de Corroios;

Nos estudos do LNEC pode ser observado que o traço utilizado, o tipo de ligante (cimento, cal aérea, cal hidráulica), a areia adotada, o tipo de cura, e vários outros fatores influenciaram a permeabilidade ao vapor de água. Pelos ensaios realizados pode-se concluir que as argamassas com alto teor de cimento e as argamassas com areia muito argilosa são menos permeáveis ao vapor de água. Já os rebocos não tradicionais do tipo monocapa apresentam permeabilidade relativamente elevadas.

Penas (2008) avaliou a permeabilidade ao vapor de água em seis tipos de argamassas, sendo três delas compostas por cal hidráulica como ligante único, com o traço volumétrico de 1:3 (ligante/areia). Nas demais foi utilizada a cal aérea misturada com cal hidráulica com o traço volumétrico de 1:1:6 (cal hidráulica:cal aérea:areia). Em seus experimentos, o autor utilizou os copos teste sugerido pela EN 1015-19 (2000), a espessura das amostras fixou-se em 2 cm, assim como a solução saturada para o intervalo higroscópico superior KNO_3 (nitrato de potássio). O

nível de controle de umidade relativa da câmara climática ficou em 50% e a temperatura em 20°C. Como foi adotado o intervalo superior, o sistema perdeu massa, havendo um fluxo de vapor contínuo da parte do interior do copo para o ambiente externo da câmara climática. Para avaliação da permeância, estipulou-se no mínimo 15 dias de ensaio para se alcançar uma perda de água constante. Então a conclusão principal dos estudos de Penas (2008) foi que, no momento em que é introduzido na mistura a cal aérea, os resultados da permeabilidade ao vapor de água se acentuam, favorecendo assim a secagem da argamassa. Os resultados onde as argamassas eram compostas por ligante único de cal hidráulica apresentaram menor coeficiente de permeabilidade ao vapor de água do que as argamassas com cal aérea. A Tabela 3 e a Figura 8 pode se visualizar os resultados experimentais da pesquisa.

Tabela 3 – Resultados do ensaio de permeabilidade

Argamassa	Permeabilidade [ng/m.s.Pa]
	Valores Individuais
A	25,89
B	27,59
C	26,37
D	30,56
E	29,51
F	28,31

Fonte: Penas (2008)

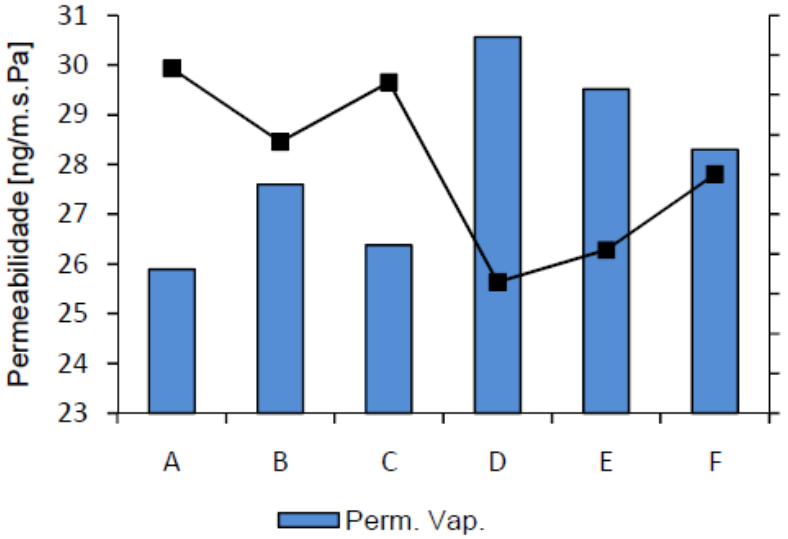

Figura 8 – Resultados experimentais de permeabilidade ao vapor de água em argamassas de Penas (2008)

Os experimentos de Faria (2011) empregaram duas composições de argamassas, sendo uma formada por cal aérea, metacaulim e aditivo, e a segunda argamassa composta por cal aérea, pó de pasta cerâmica e aditivo. Nesta pesquisa, foi realizado apenas a determinação da permeabilidade ao vapor de água para o intervalo higroscópico superior, adotando a solução saturada de nitrato de potássio, que fornece uma umidade relativa de 93,2% à temperatura de 20ºC. Para cada composição em estudo foram produzidos cinco corpos de prova cilíndricos com espessura de 2 cm. Logo, a autora não estipulou intervalo mínimo para a realização do ensaio. Em seus estudos sobre permeabilidade ao vapor de água Faria (2011) concluiu que, ambas as composições apresentaram valores de espessura da camada de ar de difusão equivalente e inferior ao valor de referência para rebocos interiores e exteriores proposto por (VEIGA, 1998). Depois de finalizada a etapa do ensaio de permeabilidade ao vapor, Faria (2011) realizou uma inspeção visual que tinha intuito de procurar manchas superficiais de sais, onde constatou-se que houve em grande parte dos moldes uma camada fina de sais dissolvidos, como mostra a Figura 9.

Figura 9 – Moldes após ensaio de permeabilidade ao vapor d’água

Fonte: Faria (2011)

3 PROGRAMA EXPERIMENTAL, MATERIAIS E MÉTODOS

Os capítulos 3 e 4 apresentam de forma detalhada as etapas de desenvolvimento da pesquisa, assim como, serão apresentados os materiais empregados, as suas principais características, técnicas de preparo referentes aos componentes dos corpos-de-prova, além dos procedimentos experimentais adotados em cada ensaio. De forma a compreender melhor as fases da pesquisa, a Figura 10 esquematiza as etapas do processo.

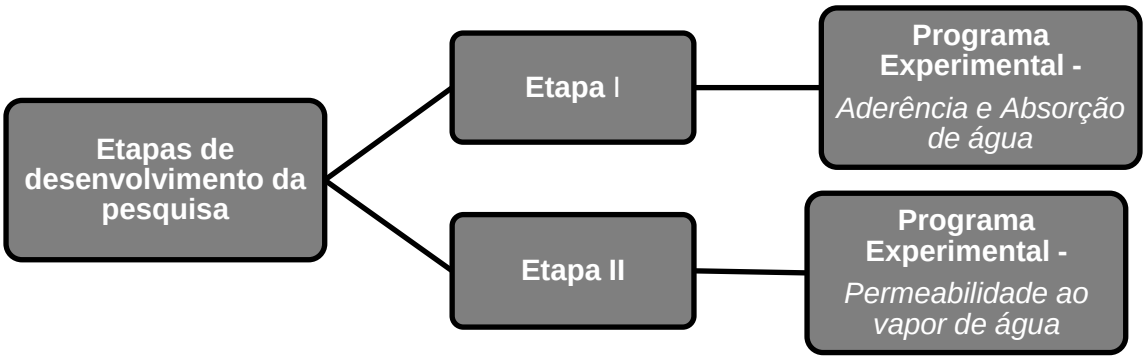

Figura 10 - Etapas da pesquisa

A elaboração da metodologia proposta para este estudo visou avaliar experimentalmente, na primeira etapa, a resistência de aderência à tração e a permeabilidade a água no estado líquido nos sistemas de revestimentos argamassados (Etapa I). Em uma segunda etapa, se propôs verificar a permeabilidade ao vapor de água e analisar imagens de microscopia eletrônica de varredura das argamassas em questão (Etapa II).

3.1 Programa experimental – Etapa I

A primeira etapa desta pesquisa consistiu em uma análise de sistemas de revestimento argamassado frente à aderência à tração e absorção de água no estado líquido, adotando diferentes tipos de argamassas e substratos.

Notou-se a necessidade de partir para o desenvolvimento de um método de ensaio que reproduzisse em laboratório condições próximas da realidade em obra, nas quais as argamassas de revestimento estão expostas. Com isso, seria possível acompanhar o seu desempenho com relação à absorção de água no estado líquido e aderência à tração, a fim de melhor entender os fenômenos de permeabilidade

que ocorrem nos sistemas de revestimentos argamassados. Este estudo serviu como suporte no processo evolutivo para a definição da fase seguinte da pesquisa (etapa II), onde foram verificadas questões relacionadas ao desempenho de revestimento com relação à permeabilidade ao vapor de água.

Na Figura 11, pode ser visualizado o fluxograma de apresentação geral da primeira etapa de desenvolvimento desta pesquisa.

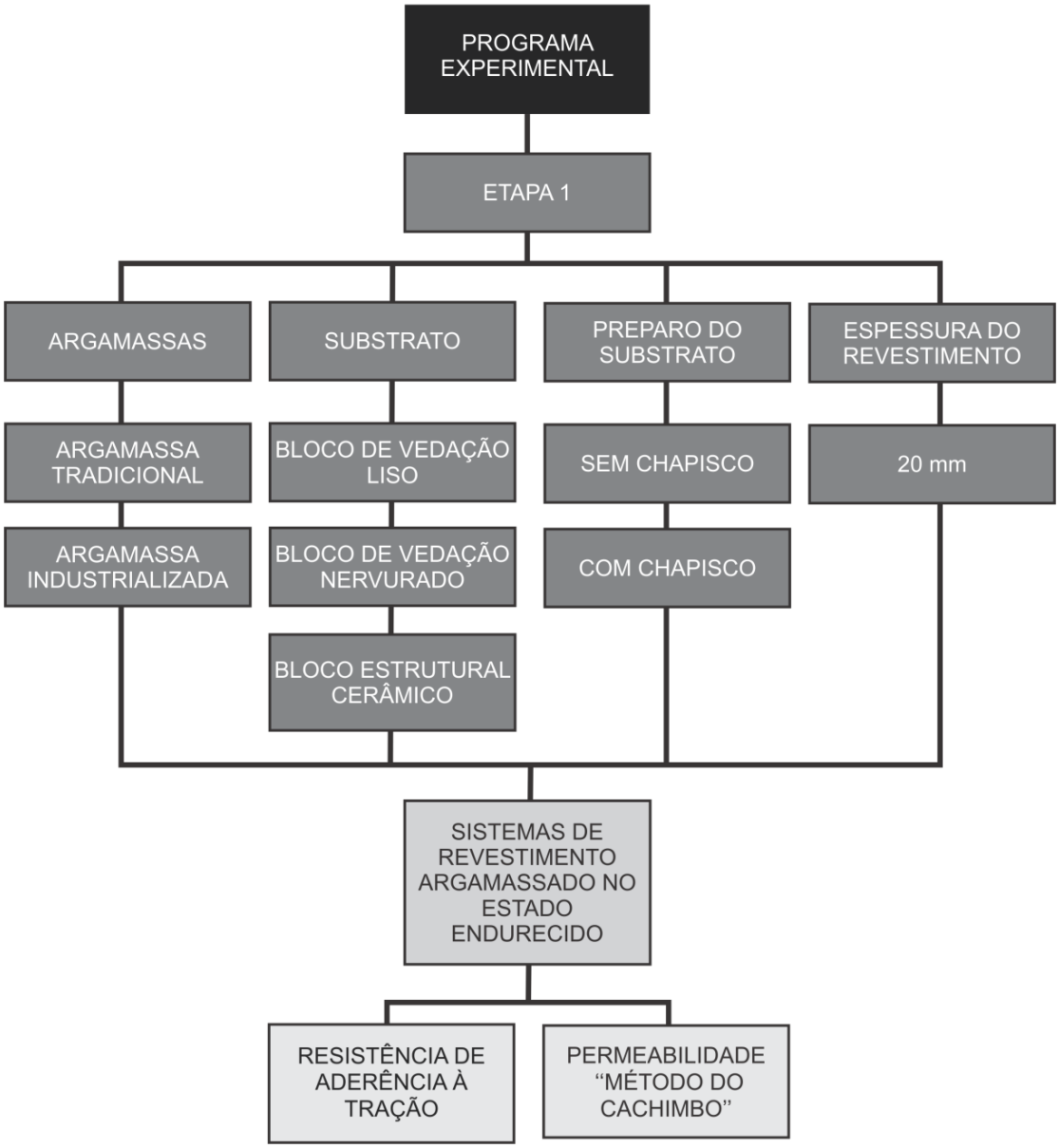

Figura 11 - Fluxograma da primeira etapa

3.1.1 Materiais – Etapa I

Nesta seção são apresentados os materiais utilizados e as suas respectivas caracterizações, ou seja, os substratos, representados pelos blocos cerâmicos e blocos de vedação, as argamassas do tipo industrializadas e tradicional com os seus respectivos constituintes.

3.1.2 Tipos de substratos – Etapa I

Para o estudo de avaliação de aderência à tração, permeabilidade e absorção de água foram utilizados três tipos de substratos. Estes substratos foram escolhidos devido as suas características apresentarem propriedades distintas com relação às suas estruturas de poros e textura superficial, além de serem os tipos mais empregados nas obras correntes da região.

O primeiro substrato adotado foi o de blocos cerâmicos de vedação lisos, com as dimensões de 9x19x24cm (largura, altura e comprimento), como mostra a Figura 12. O segundo com blocos cerâmicos de vedação nervurados com as dimensões de 9x14x19cm (largura, altura e comprimento), como pode ser visualizado na Figura 13. E o terceiro substrato com bloco cerâmico estrutural com as dimensões de 14x29x19cm (largura, altura e comprimento), como mostra a Figura 14. Todos os blocos empregados nos experimentos foram produzidos na mesma indústria.

Figura 12 - Blocos cerâmicos de vedação lisos;

Figura 13 - Blocos de vedação nervurados;

Figura 14 - Blocos cerâmicos estruturais

Para o assentamento dos blocos cerâmicos de vedação foi utilizado argamassa mista de traço de 1:0,5:5 (cimento, cal hidratada, areia) em volume com a relação a/c de 0,6. Já para o assentamento dos blocos cerâmicos estruturais foi utilizado argamassa estrutural de 4 MPa, sendo preparado conforme as indicações do fabricante.

Os blocos de vedação lisos apresentaram uma absorção média de água em 24 horas de 15,7%, os blocos de vedação nervurados uma absorção média de água em 24 horas de 14,0%, enquanto os blocos estruturais apresentaram uma absorção média em 24 horas de 14,4%. Estes indicam que estão de acordo com a NBR 15270 (2005).

3.1.3 Confecção dos prismas

Foram executadas 3 (três) paredes com dimensões de 60x60cm (largura e altura), utilizando blocos cerâmicos estruturais, 3 (três) prismas com blocos cerâmicos de vedação lisos com dimensões de 50x60cm (largura e altura) e 3 (três) paredes com o tamanho de 60x50cm (largura e altura) com blocos cerâmicos de vedação nervurados, Figuras 15,16 e 17 . Todas as paredes foram confeccionadas por um mesmo profissional respeitando o nível e prumo.

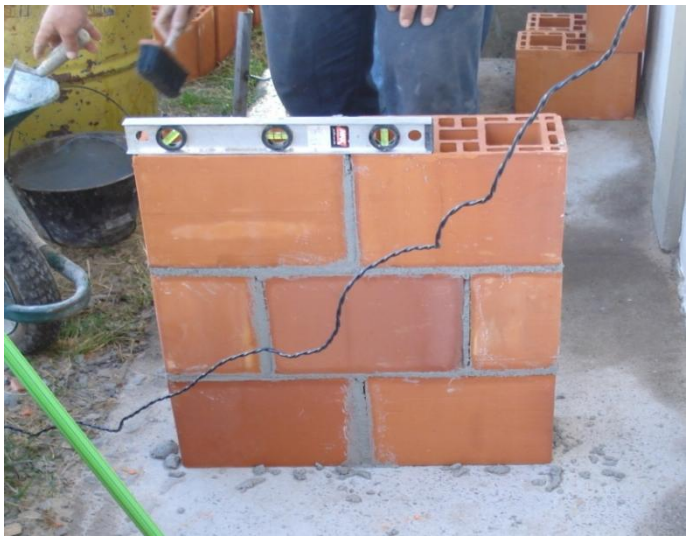

Figura 15 - Prismas de blocos cerâmicos estruturais

Figura 16 - Prismas com blocos cerâmicos de vedação lisos

Figura 17 - Prismas com blocos cerâmicos de vedação nervurados

3.1.4 Preparo do substrato

Inicialmente estabeleceu-se que uma das faces dos prismas seria executado com e sem chapisco, para que, assim, fosse possível analisar a diferença de aderência e absorção de água que os diferentes substratos pudessem apresentar. Para a aplicação do chapisco ,com espessura média de 5 mm, foi adotado o traço volumétrico de 1:3 (cimento:areia grossa), sendo utilizado cimento CPIV-32 e areia grossa, Figura 18. A Tabela 4 apresenta a caracterização física do cimento CPIV-32 proveniente de um mesmo lote, produzida pela empresa Votorantim Cimentos e adquirida no mercado local em embalagens de 50 kg.

Figura 18 - Prismas com chapisco

Tabela 4 – Caracterização física do cimento CP IV-32

Finura	**Tempo de Pega**		**Resistência a Compressão (MPa)**			
NBR 11579 (2013)	NBR NM 65 (2003)		NBR 7215 (2009)			
Resíduo na peneira 75 mm (%)	Início (h)	Término (h)	1 dia	3 dias	7 dias	28 dias
≤ 8,0	≥ 1	≤ 12	-	≥ 10	≥ 20	≥ 32

3.1.5 Tipos e preparo de argamassas – Etapa I

Neste trabalho foram utilizadas as argamassas do tipo tradicional (cimento, cal hidratada e areia) e industrializadas (reboco médio e de projeção). A seguir são descritos os procedimentos de preparado destes materiais.

3.1.5.1 Argamassa tradicional de cimento, cal hidratada e areia

O preparo deste tipo de argamassa foi de acordo com o traço volumétrico 1:2:6 (cimento, cal hidratada e areia). Este traço foi adotado por ser largamente empregado na região, sendo aplicado na forma de monocamada ou reboco *paulistão*. A quantidade de água utilizada foi determinado de acordo com o ensaio de consistência conforme estabelecido pela NBR 13276 (2002), onde foi fixado em 250 mm o espalhamento na mesa de consistência.

Na confecção da argamassa tradicional (cimento, cal e areia), o agregado miúdo utilizado neste trabalho foi proveniente do Rio Ibicuí. Os resultados obtidos no ensaio de granulometria e de massa específica real encontram-se na Tabela 5 e Figura 19.

Tabela 5 – Distribuição granulométrica do agregado miúdo

COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA - NBR NM 248 - AREIA							
PENEIRAS		AMOSTRA 1		AMOSTRA 2			
N°	mm	MASSA RETIDO (g)	% RETIDA	MASSA RETIDO (g)	% RETIDA	% RETIDA MÉDIA	% RETIDA ACUMULADA
3/8"	9,5	0	0	0	0	0	0
1/4"	6,3	0	0	0	0	0	0
4	4,8	1,1	0,4	0,3	0,1	0,2	0,2
8	2,4	1,6	0,5	1,8	0,6	0,6	0,8
16	1,2	4,9	1,6	5,7	1,9	1,8	2,6
30	0,6	16,1	5,4	18,8	6,3	5,8	8,4
50	0,3	103,1	34,5	127,2	42,4	38,5	46,9
100	0,15	151,4	50,7	128	42,7	46,7	93,6
FUNDO	0,01	20,6	6,9	18	6	6,4	100
TOTAL		298,8	100	299,8	100	100	252,43
DIÂMETRO MÁXIMO		1,2		MÓDULO DE FINURA		2,52	
Massa específica Real						2,604 Kg/dm³	

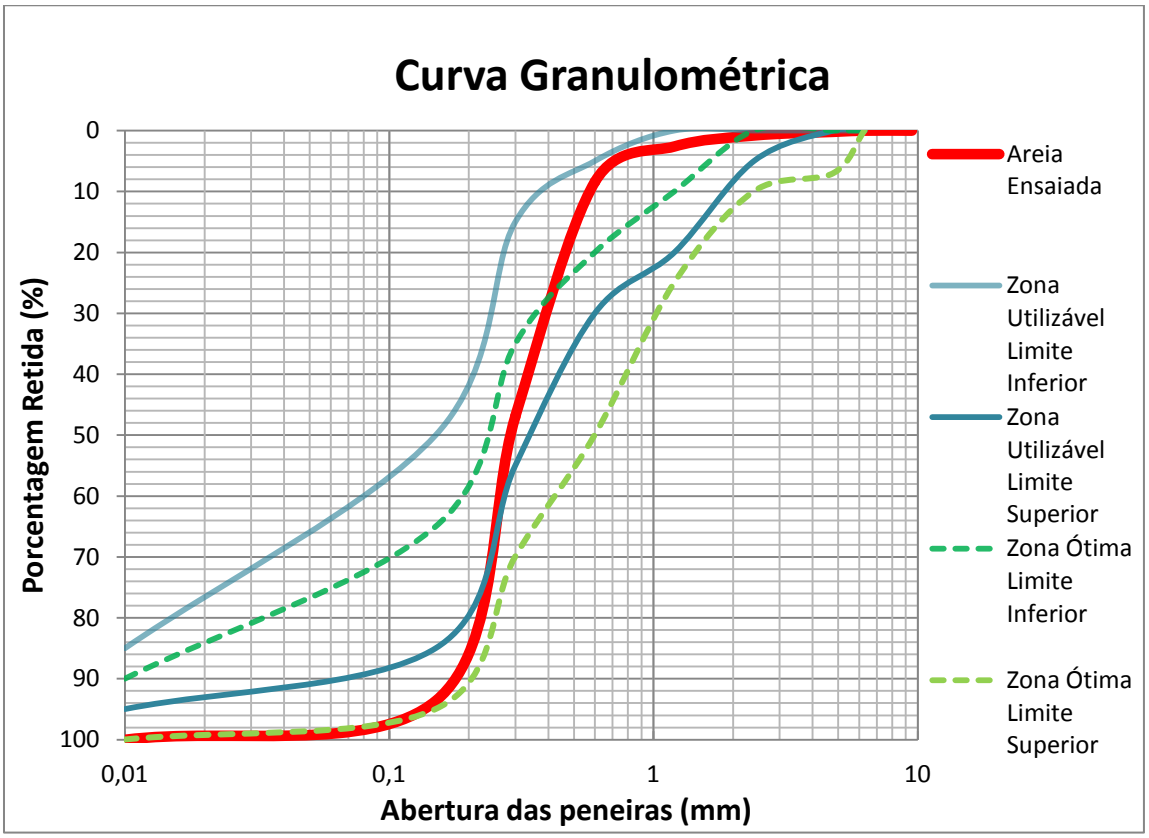

Figura 19 - Curva granulométrica da areia utilizada para o traço de argamassa tradicional

Verificando a granulometria da areia utilizada pode-se observar que, com relação ao módulo de finura (MF) a areia ensaiada está dentro da faixa ótima considerando esse agregado miúdo como areia média que pela NBR 7211 (2005) e, parte da distribuição granulométrica encontra-se na faixa da zona utilizável.

Optou-se pela utilização desta areia por ser o agregado mais utilizado para a confecção de argamassas no município de Alegrete/RS, local onde foi realizada a primeira etapa da pesquisa. Desta forma, não houve a preocupação de realizar uma composição granulométrica para colocá-la em uma faixa uniforme, devido a tornar-se mais próximo da realidade das argamassas dosadas em obra. Logo pode ser concluído que este fato pode ter influenciado na aderência da argamassa tradicional (cimento, cal e areia), já que, as argamassas industrializadas utilizadas neste trabalho possuem um controle rigoroso com relação aos agregados utilizados em suas composições.

3.1.5.2 Argamassa industrializada

A argamassa industrializada, denominada pelo fabricante como Reboco Médio, recomendado para rebocos internos em camada única de até 20 mm de espessura. A argamassa de Reboco Médio é uma mistura seca à base de cimento Portland CPII-Z-32, cal hidratada e areia calcária seca e classificada e filer mineral. A preparação foi executada de acordo com as recomendações do fabricante, onde foram utilizados 8 litros de água para um saco de 40 kg e misturados mecanicamente durante 180 segundos.

3.1.5.3 Argamassa industrializada de projeção

A argamassa industrializada, denominada de projeção, tem em sua composição cimento Portland CPII-Z-32, cal hidratada e areia calcária. A confecção da argamassas foi de acordo com as orientações do fabricante, sendo utilizado de 8 litros de água para um saco de 40 kg de material e misturados com um auxílio de uma betoneira durante 180 segundos.

3.1.6 Métodos e procedimentos de ensaio – Etapa I

Nesta seção são apresentados os métodos de ensaio e as seus respectivos procedimentos de acordo com as normas técnicas.

3.1.6.1 Argamassas no estado endurecido

A seguir são descritos os ensaios que foram utilizados na verificação das argamassas no estado endurecido.

3.1.6.2 Determinação da resistência de aderência à tração

A metodologia de determinação da resistência de aderência à tração de revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas está descrito na (NBR 13528, 2010).

Na Figura 20, pode ser observado o equipamento da empresa SOLOTEST denominado *Arrancamento Digital Microprocessado* o qual possibilita o ajuste variável do arrancamento de 50 a 800 newtons por segundo. Para as furações nos substratos foi utilizada uma serra copo diamantada de diâmetro 52 mm.

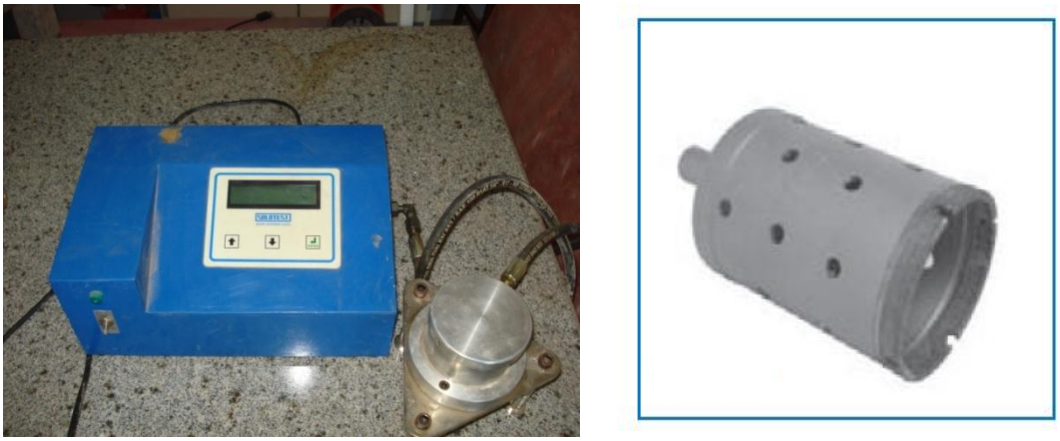

Figura 20 - Equipamento de arrancamento e serra diamantada

3.1.6.3 Definição da amostragem

Segundo os estudos de Scartezini (2002) de aderência à tração para diferentes tipos de argamassas adotaram-se painéis de 2,00 x 0,80 m definindo 10 ensaios de arrancamento por painel. Para este trabalho foi definido o número de 7 corpos-de-prova para cada face dos primas com dimensões de 0,60 x 060 m e 0,50 x 60 m, baseando-se nos estudos de Scartezini (2002). Foi respeitado em no mínimo 40 mm das bordas e no mínimo em 20 mm entre si.

3.1.6.4 Execução dos cortes nos corpos-de-prova

O corte deve ser executado a seco ou com água conforme o tipo de argamassa. Quando o corte é realizado com o sistema úmido, deve-se prever a secagem da superfície do revestimento no intuito que no momento da colagem da pastilha haja a perfeita aderência entre os materiais. A furação não deve comprometer a integridade do revestimento e deve ser feito até 5 mm dentro do substrato, Figura 21.

Figura 21 – Prismas revestidos de argamassa com 7 furos preparadas para o ensaio de aderência à tração

O preparo da superfície deve ser realizado de forma a limpar a área de contato com uma escova, deixando a superfície livre de poeira, uma vez que, poderia prejudicar a execução do ensaio.

Para a colagem da pastilha a superfície deve estar livre de qualquer poeira de ensaios anteriores. A cola deve ser aplicada com uma espátula sendo flexionada

sobre o revestimento, durante os minutos recomendados pelo fabricante da cola epóxi, para que haja a perfeita fixação da pastilha.

A aplicação do esforço de tração deve ocorrer de forma perpendicular à seção transversal do corpo-de-prova com a taxa de carregamento escolhida de 50 N/s, até a ruptura do corpo-de-prova. As cargas de tração são expressas em N (newtons).

A resistência de aderência à tração é calculada pela seguinte fórmula:

$$\mathbf{Ra} = \frac{P}{A}\ \mathbf{(x)}$$

onde:

Ra = resistência de aderência à tração (MPa);

P = carga de ruptura (N);

A = área da pastilha (mm^2).

3.1.7 Método do Cachimbo

O objetivo do método do cachimbo idealizado pelo CSTC – *Centre Scientifique et Technique de La Construction* é a determinação da permeabilidade de revestimentos argamassados, que pode ser *in loco* ou em laboratório, a qual é medida através de sua capacidade de absorção d'água. A absorção d'água de um revestimento é realizada sobre uma pressão inicial de 92 mm de água, que corresponde à ação estática de um vento com velocidade aproximadamente de 140 km/h, onde a altura da coluna de água corresponde à pressão exercida de modo que 1 mm corresponde 10 Pa (CARASEK, 2007).

Dentre as aplicações deste método, uma seria avaliar a capacidade impermeabilizante de um revestimento argamassado em paredes, podendo ser comparados resultados obtidos no laboratório e no canteiro de obras. Também pode-se realizar uma análise da durabilidade dos revestimentos de parede correlacionados com a sua capacidade impermeabilizante.

3.1.7.1 Aparelhagem

A aparelhagem no Método do Cachimbo é constituído de:

- Cachimbo de vidro, com dimensões conforme a CSTC – *Centre Scientifique et Technique de La Construction,* com o volume de 4 cm³, Figura 22 ;
- Material para fixação do cachimbo na parede;
- Cronômetro;

Figura 22 - Cachimbo de vidro

3.1.7.2 Procedimentos para a realização do ensaio

Deve-se fixar o cachimbo na parede com revestimento, e, logo após, encher o cachimbo com água até a referência do nível zero. Com o auxílio de um cronômetro efetuar e registrar as leituras da diminuição do nível de água a cada minuto até atingir 15 minutos ou 4 ml. E, por fim, as leituras são efetuadas em ml. Na Figura 23, pode ser visto o ensaio realizado neste trabalho.

Figura 23 - Ensaio de permeabilidade de água no estado líquido

3.2 Resultados – Etapa I

3.2.1 Avaliação de permeabilidade e absorção de água no estado líquido

Os resultados obtidos no ensaio de absorção de água pelo método do cachimbo são apresentados na forma de gráficos, tabelas e, posteriormente, são discutidos com as suas respectivas análises.

Para melhor compreender os resultados dos ensaios nos prismas, foram definidas as denominação relacionadas ao tipo de bloco cerâmico, ao tipo de argamassa e se havia o preparo da base entre o substrato e a argamassa, denominado de chapisco. As abreviaturas das combinações entre os materiais foram da seguinte maneira: blocos cerâmicos estruturais – BCE; bloco de vedação liso – BVL e bloco de vedação nervurado – BVN. Se a parede possuir o preparo da base (chapisco) – CC; sem o preparo da base (chapisco) – SC; quanto ao tipo de argamassa – Argamassa preparada em obra (tradicional) – AT; Argamassa industrializada (AI) e argamassa industrializada para a projeção – AP.

3.2.1.1 Argamassa tradicional

Na Figura 24 são apresentados os testes de permeabilidade de água no estado líquido pelo método do cachimbo da argamassa tradicional com e sem chapisco, e, utilizando os substratos de blocos cerâmicos estruturais (BCE), blocos de vedação lisos (BVL) e blocos de vedação nervurados (BVN).

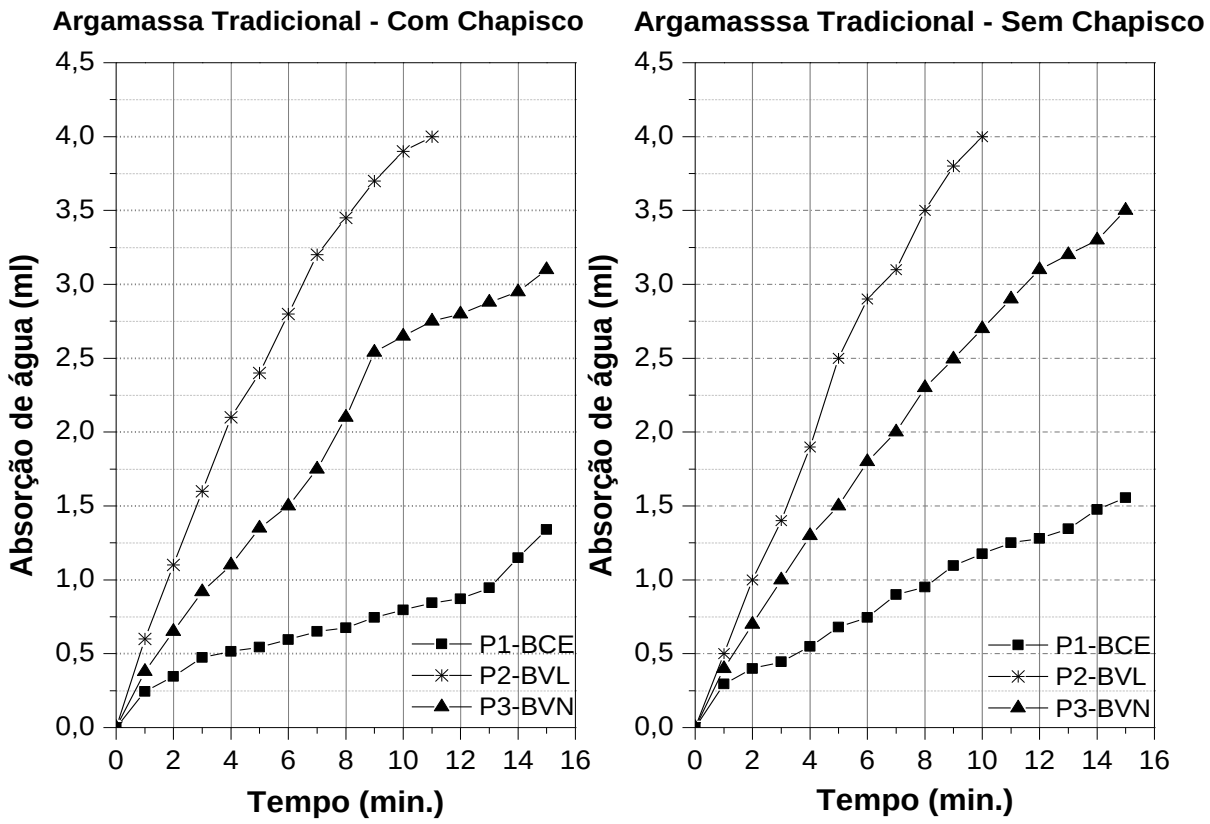

Figura 25 - Resultados experimentais dos sistemas de revestimentos com argamassa tradicional

Na Figura 25 visualiza-se os resultados de absorção de água da argamassa tradicional (cimento, cal hidratada e areia) com o traço 1:2:6, onde o substrato com blocos de vedação lisos obteve uma absorção acentuada, se sobressaindo perante os outros dois tipos de substratos estudados. Isso se deve ao fato da composição de cada argamassa ter influência direta nos resultados.

O comportamento desse conjunto de argamassa tradicional/bloco de vedação liso atingiu altos índices de permeabilidade nos minutos iniciais, demonstrando, ao final dos 15 minutos, um acumulado superior a 4 ml de absorção de água. Na Figura 25, visualiza-se o comportamento ao longo do tempo dos três substratos, os quais apresentam um comportamento linear durante o período inteiro.

O desempenho dos sistemas de revestimentos utilizando argamassa tradicional, sendo o preparo do substrato executado com uma camada de chapisco, apresentou resultado muito próximo de absorção de água quando comparado com a parede sem chapisco.

Com relação os três tipos de substratos, novamente o prisma com blocos de vedação lisos apresentou absorção elevada, acumulando 4 ml de água em apenas 11 minutos, assim, os demais substratos apresentaram diferenças relevantes.

Confrontando os resultados dos prismas com blocos cerâmicos estruturais e o prisma de blocos de vedação verificou-se que a primeira apresentou 57% a menos de absorção de água do que o segundo substrato, o que pode ser verificado na Figura 25.

3.2.1.2 Argamassa de projeção

Na Figura 26 são apresentados os resultados experimentais de absorção de água pelo método do cachimbo da argamassa de projeção com e sem preparo da base, e, utilizando os substratos de blocos cerâmicos estruturais (BCE), blocos de vedação lisos (BVL) e blocos de vedação nervurados (BVN).

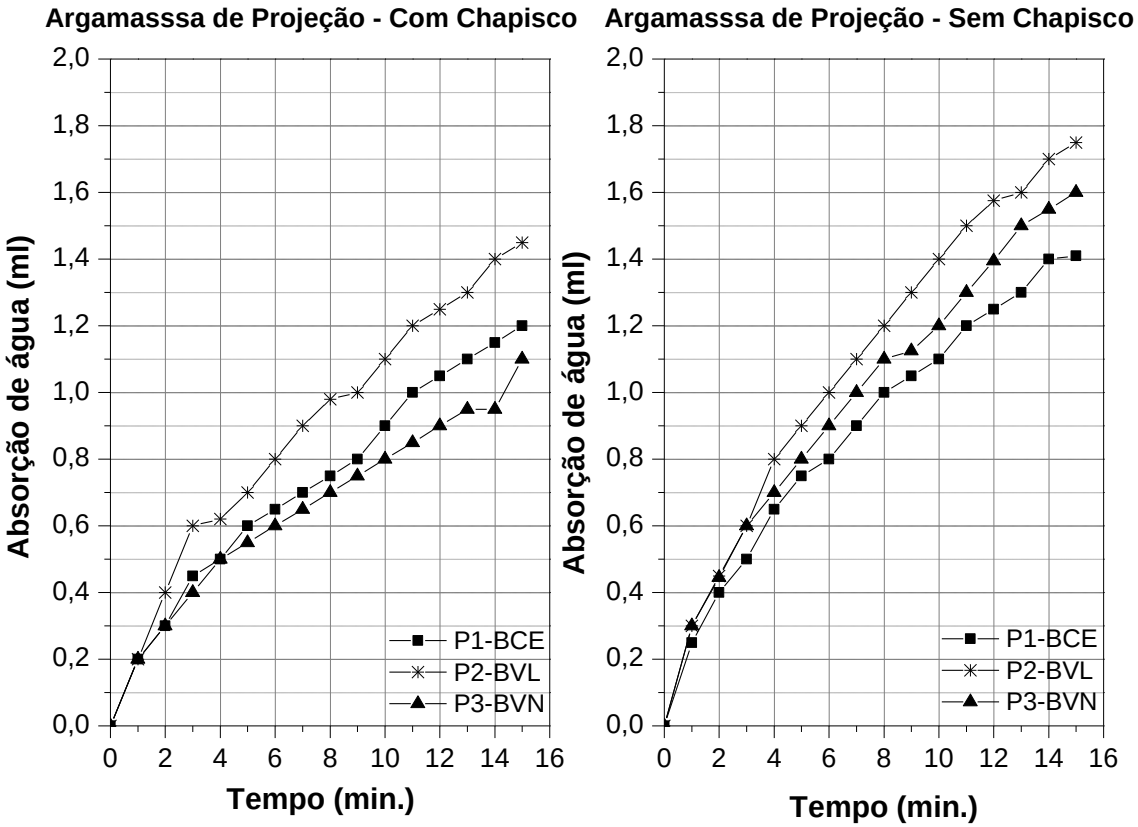

Figura 26 - Resultados de absorção de água dos sistemas de revestimentos com argamassa de projeção

Analisando os sistemas em que foi adotado a argamassa de projeção, notou-se que os índices apresentaram resultados intermediários quando comparados com as demais argamassas. O comportamento desse tipo de revestimento argamassado foi linear, com poucas oscilações, como pode ser observado na Figura 26. Analisando os substratos, nota-se que, a parede com blocos de vedação lisos apresentou maiores valores de absorção, com cerca de 19,42% a mais do que o substrato de blocos cerâmicos estruturais e pouco menos de 8,50% com relação a parede de blocos de vedação nervurados.

Avaliando este tipo de revestimento argamassado com relação à absorção de água, nota-se que o resultado mais elevado foi com o substrato de blocos de vedação lisos, apresentando 1,6 ml após um período de 15 minutos. Os demais prismas tiveram um comportamento semelhante, sendo 1,20 e 1,28 ml absorvidos, constatando-se, assim, que esse tipo de argamassa possui uma boa restrição com relação à penetração de água, como pode ser visualizado na Figura 26.

3.2.1.3 Argamassa industrializada reboco médio

Na Figura 27 são apresentados os testes de permeabilidade de água no estado líquido pelo método do cachimbo da argamassa reboco médio com e sem chapisco, e, utilizando os substratos de blocos cerâmicos estruturais (BCE), blocos de vedação lisos (BVL) e blocos de vedação nervurados (BVN).

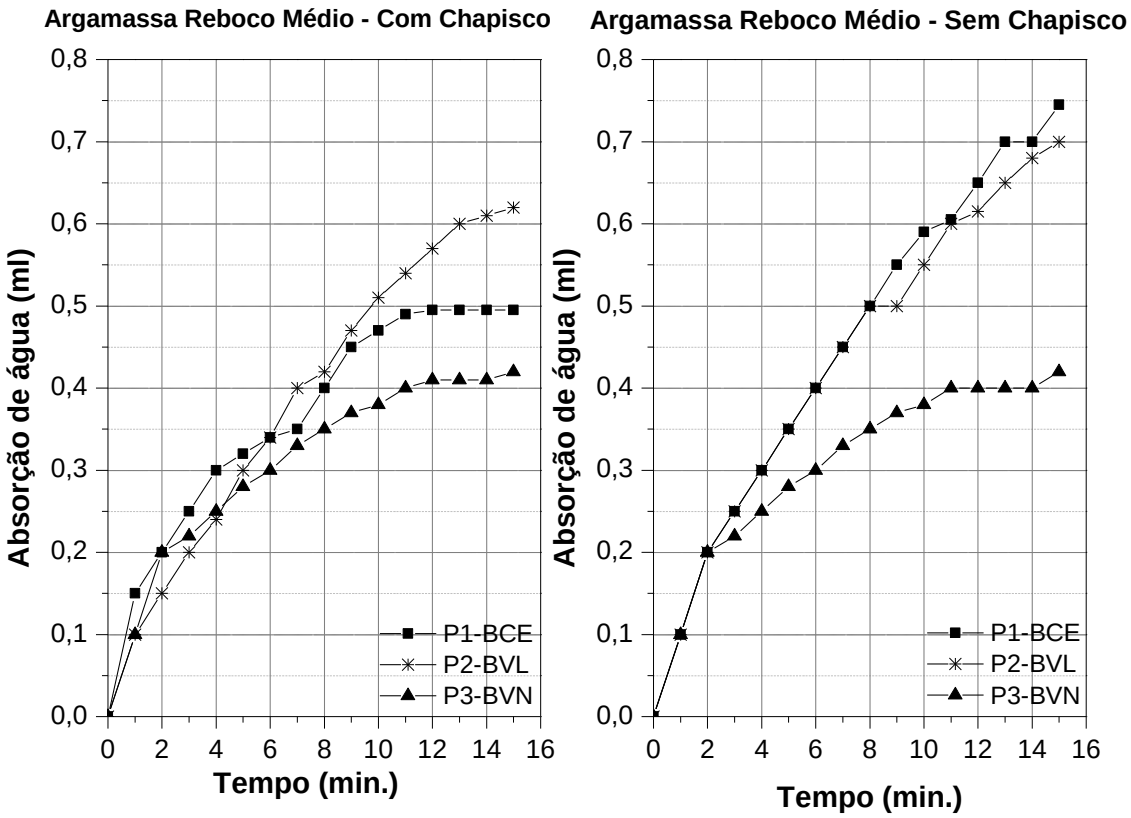

Figura 28 - Resultados de absorção de água dos sistemas de revestimentos com argamassa reboco médio

A argamassa industrializada Reboco Médio sem chapisco apresentou índices de absorção de água inferior aos demais tipos analisados. Notou-se uma absorção lenta durante o período de 15 minutos, apresentando resultados acumulados bem inferiores, os quais não atingiram 1 ml de absorção de água ao final do tempo de ensaio. Com relação ao substrato, verificou-se que a parede com blocos cerâmicos estruturais apresentou uma acentuada absorção. Comparando essa com a parede de blocos de vedação lisos, obteve-se 6,66% a mais de absorção, e, com relação ao prisma de blocos de vedação nervurados, apresentou cerca de 44% a mais. Por meio do gráfico da Figura 28 pode ser visualizado que, nos dois primeiros minutos, os três tipos de substratos apresentam o mesmo comportamento, sendo que, até o oitavo minuto continuam crescendo constantemente até começarem a oscilar após o décimo minuto apresentando assim diferentes índices de permeabilidade.

Os resultados da argamassa Reboco Médio com chapisco foram satisfatórios com relação às demais argamassas, visto que, apresentou valores de permeabilidade bem inferiores, podendo ser classificada como a que menos absorveu água dentre as tipologias estudadas. Esse tipo de revestimento

argamassado quando aplicado ao substrato de blocos de vedação lisos apresentou, após os 15 minutos de ensaio, 0,6 ml de absorção de água, que foi o maior dentre os três tipos de parede. Entretanto nota-se que, apesar deste substrato ter o maior índice de permeabilidade, fazendo uma correlação com os valores sem chapisco, verifica-se que há cerca de 20% de absorção maior, o que se deve a presença do chapisco, comprovando que os substratos preparados com chapisco tendem a absorver menos água.

3.2.3 Análise do ensaio de aderência à tração

3.2.3.1 Coeficiente de variação das amostras

Neste estudo, conforme mostram os resultados da Tabela 6, foram constatados altos índices do coeficiente de variação, evidenciando que os fatores relacionados com o tipo de argamassa, substrato e aplicação estão diretamente ligados a essas dispersões de valores.

Para as paredes preparadas com chapisco o coeficiente de variação oscilou entre de 26% a 50%. Esses valores são considerados como altos. Já os substratos sem o preparo de chapisco apresentaram variação de 17% a 29%, podendo-se observar que os baixos índices do coeficiente de variação mantiveram-se com pouca dispersão. Os resultados do coeficiente de variação neste trabalho comprovaram que, mesmo em uma área pequena de parede, existem comportamentos diferentes do revestimento argamassado com relação à resistência de aderência a tração.

Tabela 6 – Resultados dos coeficientes de variação do ensaio de aderência à tração

Coeficiente de Variação (%)			
Tipo de Argamassa	**Preparo do Substrato**		**Tipo do Substrato**
	Com Chapisco	**Sem Chapisco**	
Tradicional	31%	29%	Bloco Estrutural Cerâmico
Reboco Médio	53%	17%	Bloco Estrutural Cerâmico
Projeção	29%	*	Bloco Estrutural Cerâmico
Tradicional	28%	24%	Bloco de Vedação Liso
Reboco Médio	26%	24%	Bloco de Vedação Liso
Projeção	35%	24%	Bloco de Vedação Liso
Tradicional	50%	28%	Bloco de Vedação Nervurado
Reboco Médio	34%	30%	Bloco de Vedação Nervurado
Projeção	32%	13%	Bloco de Vedação Nervurado

* Falha no ensaio

3.2.3.2 Resistências de aderência à tração

As Figuras 29, 30 e 31 apresentam os resultados de resistência de aderência à tração para as diferentes composições de paredes, de acordo com a (NBR 13528,2010). Numa primeira etapa, os resultados de aderência foram obtidos para a totalidade dos resultados individuais (7 amostras), o que gerou, em algumas combinações de materiais, um alto coeficiente de variação.

Na Figura 29 são apresentados os resultados médios individuais dos blocos cerâmicos estruturais para as sete (7) amostras, sendo apresentadas ao longo do eixo Y do gráfico as resistências de aderência em MPa, três tipos de argamassas e a presença ou não da primeira camada de base (chapisco). Para a argamassa tradicional, a presença do chapisco aumentou a capacidade de aderência à tração. Nas demais argamassas a diminuição da capacidade de aderência em função da presença do chapisco na primeira camada foi menor. As tensões de aderência à tração das paredes moldadas com bloco cerâmico estrutural e argamassa industrializada para a projeção foram zero (0).

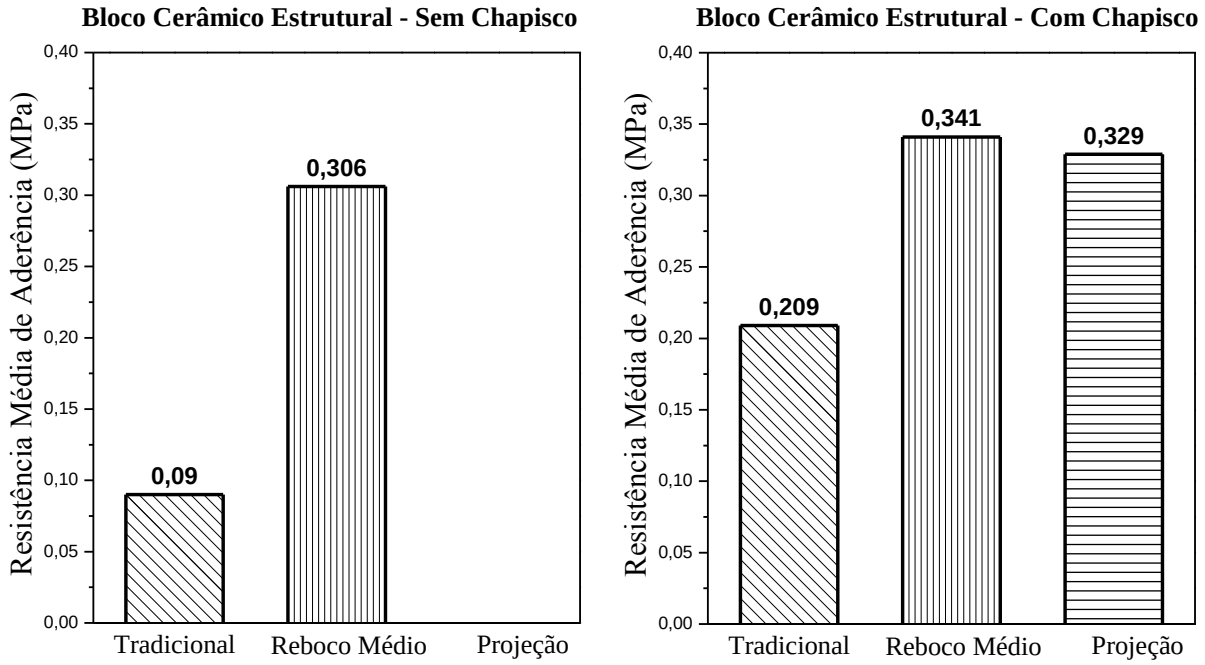

Figura 29 - Resultados do ensaio de aderência utilizando blocos estruturais cerâmicos

Na Figura 30 se verifica os resultados experimentais das paredes construídas com o bloco de vedação liso, onde nota-se que as argamassas tradicionais forneceram os menores valores de resistência de aderência. A presença do chapisco influenciou nos resultados de aderência à tração, ficando abaixo dos limites prescritos na NBR 13749:2010, que estabelece o limite de resistência de aderência mínima de 0,20 MPa, para revestimentos internos. Já para as argamassas industrializadas, com e sem a presença da camada de base (chapisco), essa diferença não foi expressiva.

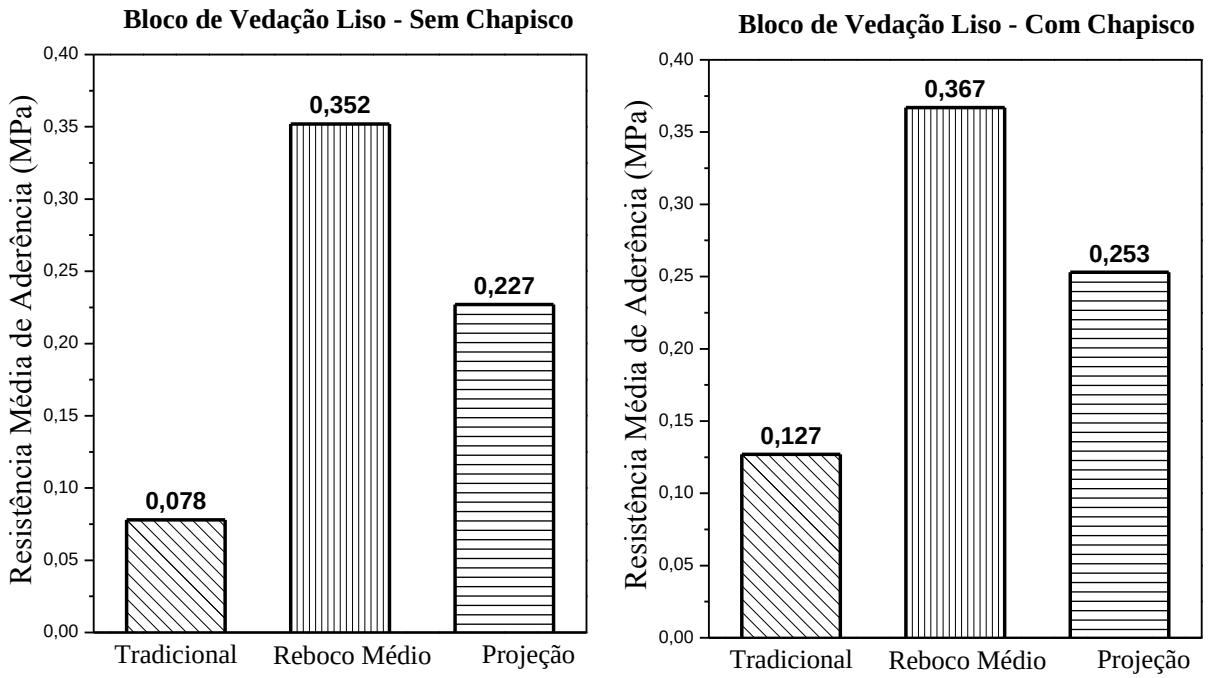

Figura 30 - Resultados do ensaio de aderência utilizando blocos de vedação liso

Na Figura 31 se verifica os resultados experimentais dos prismas construídas com o bloco de vedação nervurado, onde verificou-se uma tendência das argamassas tradicionais apresentarem baixos valores de resistência de aderência em relação às argamassas industrializadas e industrializadas para a projeção. Pelos resultados experimentais, pode-se perceber que houve pouca diferença na resistência de aderência à tração dos blocos de vedação nervurados com e sem a presença do chapisco. Observa-se que a presença das nervuras nos blocos de vedação aumentou a capacidade de resistência de aderência à tração em relação aos blocos de vedação lisos. Quando se compara os blocos de vedação lisos com os nervurados, é possível notar uma diferença significativa. Como exemplo disso, pode-se comparar os resultados dos sistemas de revestimento BVL-AT-SC e o BVN-AT-SC, demonstrando que as presenças das nervuras aumentaram a aderência à tração em cerca de 55%. O mesmo pode ser verificado para os sistemas de revestimento BVL-AI-SC e BVN-AI-SC e BVL-AP-SC e BVN-AP-SC.

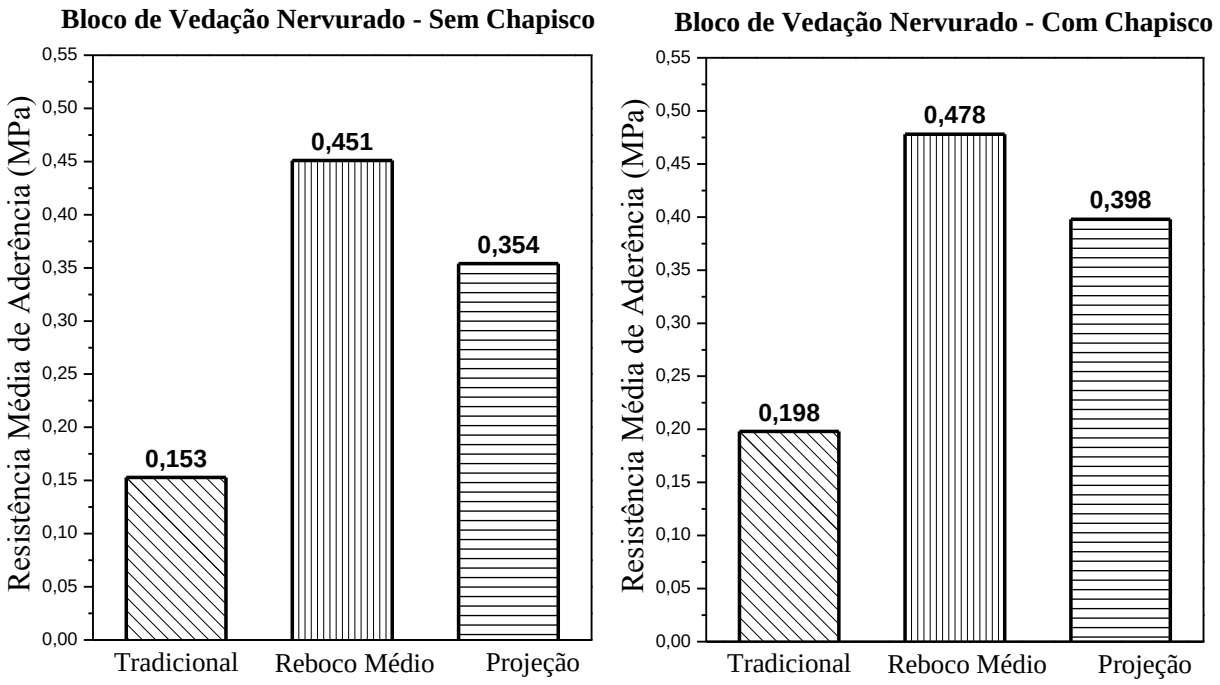

Figura 31 - Resultados do ensaio de aderência utilizando blocos de vedação nervurado

Os resultados experimentais obtidos neste estudo demonstraram estar coerentes com as pesquisas realizadas por Scartezini et al. (2002) e Angelim et al. (2003), onde foram empregado diferentes tipos de argamassas para substratos de blocos cerâmicos com e sem preparado da base com chapisco.

3.2.3.3 Avaliação dos tipos de rupturas

Conforme exposto no item 2.3.1, quando realizado o ensaio de aderência à tração nos sistemas de revestimentos argamassados verifica-se quais tipos de rupturas que ocorrem. Então a seguir são analisados os tipos de rupturas após o ensaio de arrancamento.

Para uma melhor compreensão e identificação dos tipos de ruptura foram elaboradas siglas para cada tipo de ruptura, descritas na Tabela 7.

Tabela 7 – Tipologia de rupturas

Tipos de Ruptura	
Sem Chapisco	
(A-SC)	Ruptura na interface argamassa-substrato
(B-SC)	Ruptura na argamassa
(C-SC)	Ruptura no substrato
(D-SC)	Ruptura na interface cola-argamassa
(E-SC)	Ruptura na interface cola-pastilha
Com Chapisco	
(A-CC)	Ruptura na interface argamassa-chapisco
(B-CC)	Ruptura na argamassa
(C-CC)	Ruptura no substrato
(D-CC)	Ruptura na interface cola-argamassa
(E-CC)	Ruptura na interface cola-pastilha
(F-CC)	Ruptura chapisco-substrato

Observando os tipos de rupturas obtidos nesta pesquisa, verifica-se que, com relação à argamassa tradicional sem o preparo do substrato com chapisco, houve dois tipos de ruptura, B-SC (ruptura na argamassa) e A-SC (ruptura na interface argamassa-substrato), na parede moldada com blocos cerâmicos estruturais, Figuras 33 e 34. A Figura 32 mostra a presença de fissuras no revestimento argamassado, há uma retração inicial grande que provavelmente ocorreu devido a dosagem do traço de 1:2:6 (cimento,cal e areia).

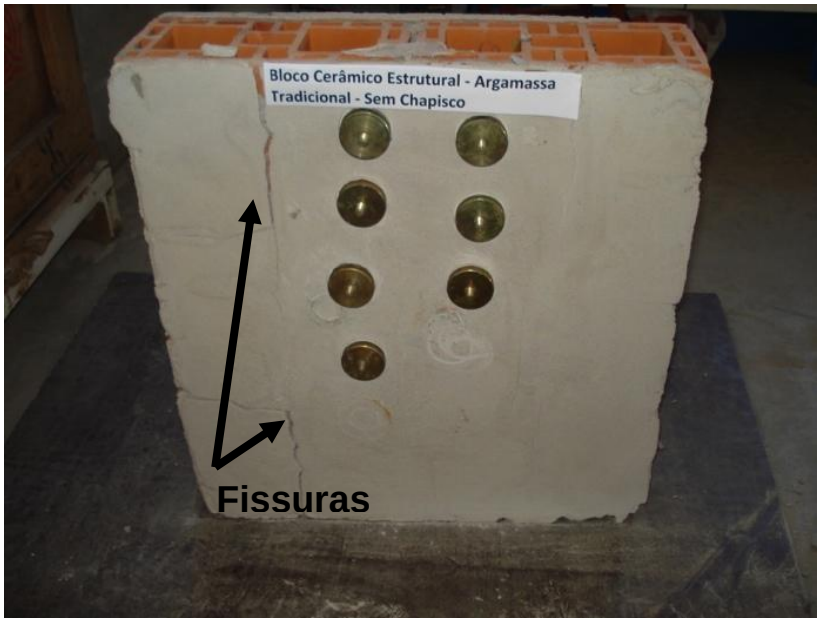

Figura 32 - Prisma moldado com blocos cerâmicos estruturais

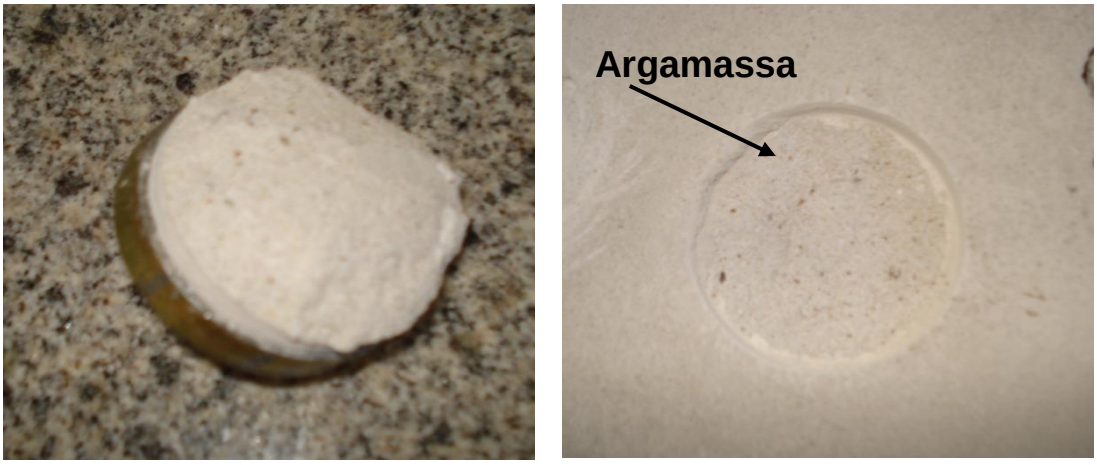

Figura 33 - Ruptura na argamassa (B-SC)

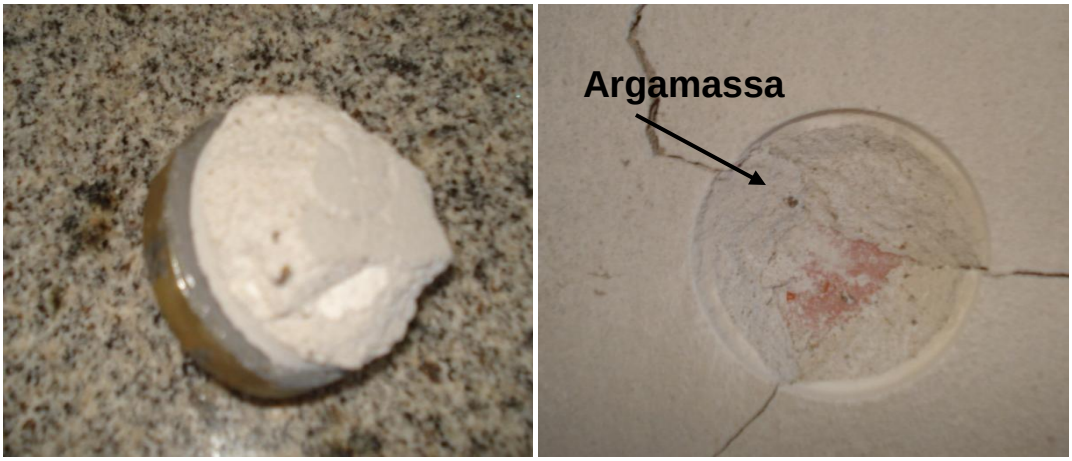

Figura 34 - Ruptura na interface argamassa-substrato (A-SC)

As rupturas da parede com blocos de vedação lisos revestidos com argamassa tradicional foram semelhantes ao substrato anterior, rompendo na argamassa e interface argamassa-substrato, Figuras 35 e 36.

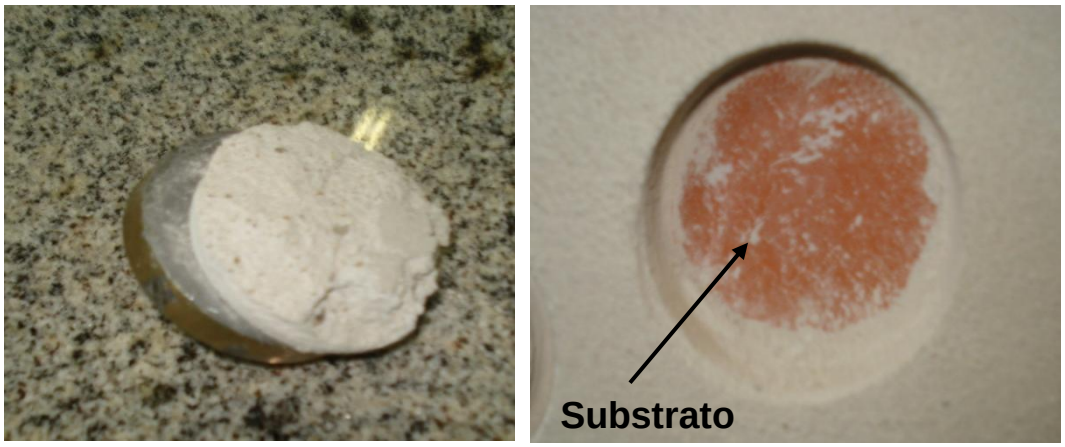

Figura 35 - Ruptura na interface argamassa-substrato (A-SC)

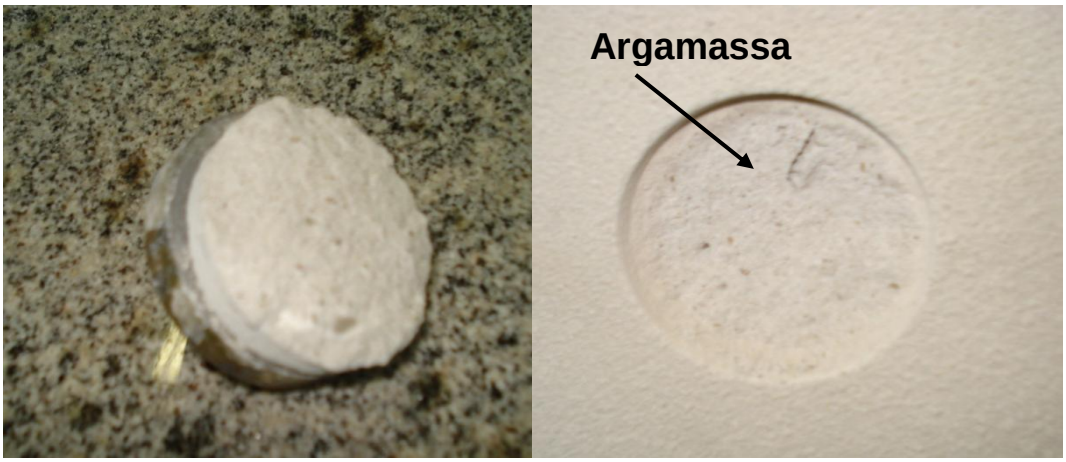

Figura 36 - Ruptura na argamassa (B-SC)

O substrato de tijolos de vedação nervurados apresentou fissuras na argamassa tradicional como é visto na Figura 37. Das amostras retiradas, seis tiveram ruptura na interface argamassa-substrato. Outro tipo de ruptura ocorreu na argamassa.

Figura 37 - Substrato com blocos cerâmicos estruturais revestidos com argamassa tradicional e fissuras no terço médio e extremidades do prisma

Entretanto, nota-se que, os revestimentos de argamassa tradicional apresentaram o comportamento semelhante nos três tipos de substratos estudados, havendo somente dois tipos de rupturas, que foram na argamassa e interface argamassa-substrato. Outra característica que foi observada é com relação à presença elevada de fissuras, que nas outras argamassas ocorreram com baixa intensidade.

Analisando o revestimento com argamassa industrializada reboco médio sem chapisco aplicado no prisma com blocos cerâmicos estruturais verificou-se que os tipos de rupturas predominantes foram na interface argamassa-substrato e na argamassa. Esses tipos de rupturas foram devido a pouca aderência entre a argamassa e o substrato, como pode ser visto na Figura 38. Já o substrato com blocos de vedação lisos apresentou 100% das amostras com ruptura na argamassa-substrato, tanto no meio do bloco quanto na junta da argamassa de assentamento, conforme mostra a Figura 39. O mesmo ocorrido no substrato de tijolos de vedação nervurados.

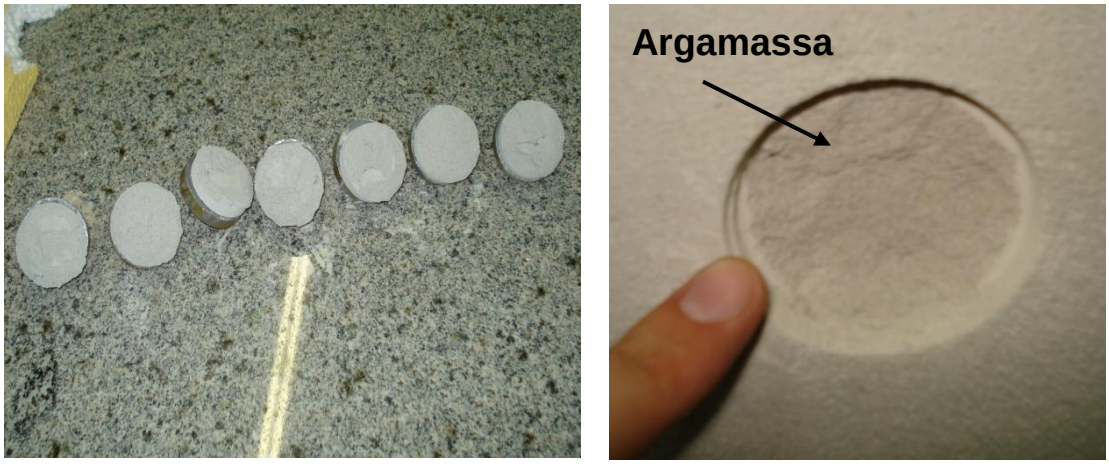

Figura 38 - Ruptura na argamassa (B-SC) utilizando substrato de blocos cerâmicos estruturais

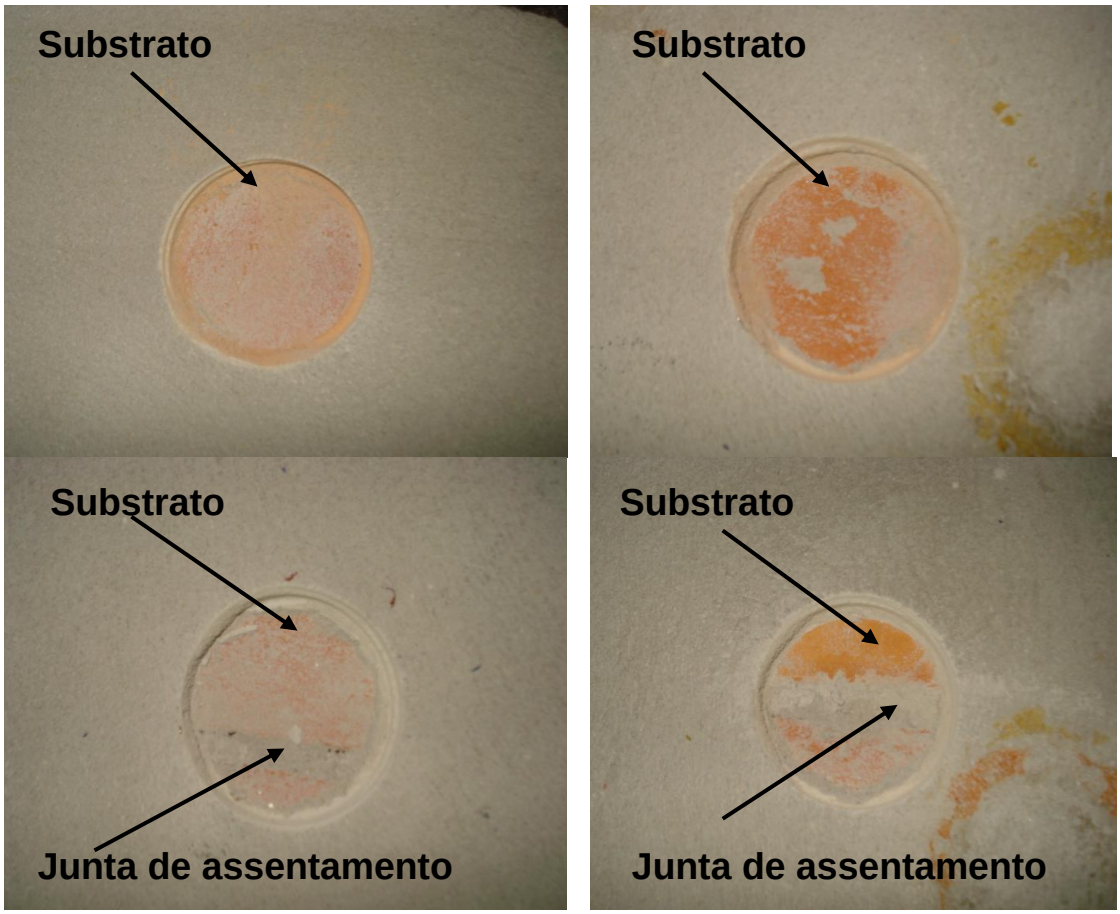

Figura 39 - Ruptura na argamassa (A-SC) utilizando substrato de blocos de vedação lisos

Avaliando os tipos de ruptura dos três tipos de substratos com relação à argamassa industrializada de projeção sem o preparo de chapisco, observou-se que 100% das amostras tiveram ruptura na interface argamassa-substrato no prisma de blocos de vedação nervurados. Já no prisma de blocos de vedação lisos, as rupturas dividiram-se entre interface argamassa-substrato e na argamassa, Figuras 40 e 41.

Houve falha de execução do ensaio no substrato moldado com blocos cerâmicos estruturais, não podendo ser analisados a aderência nem o tipo de ruptura.

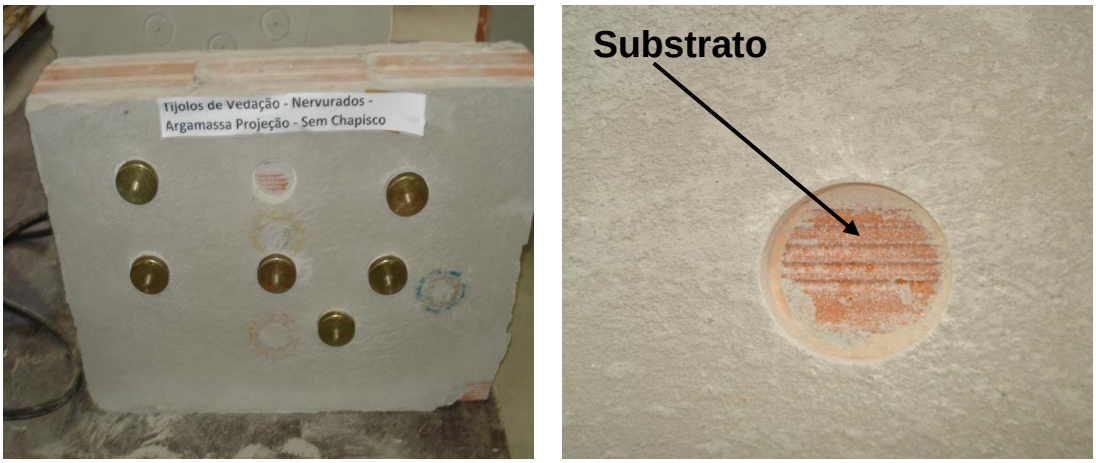

Figura 40 - Ruptura na argamassa (A-SC) utilizando substrato de blocos de vedação nervurados

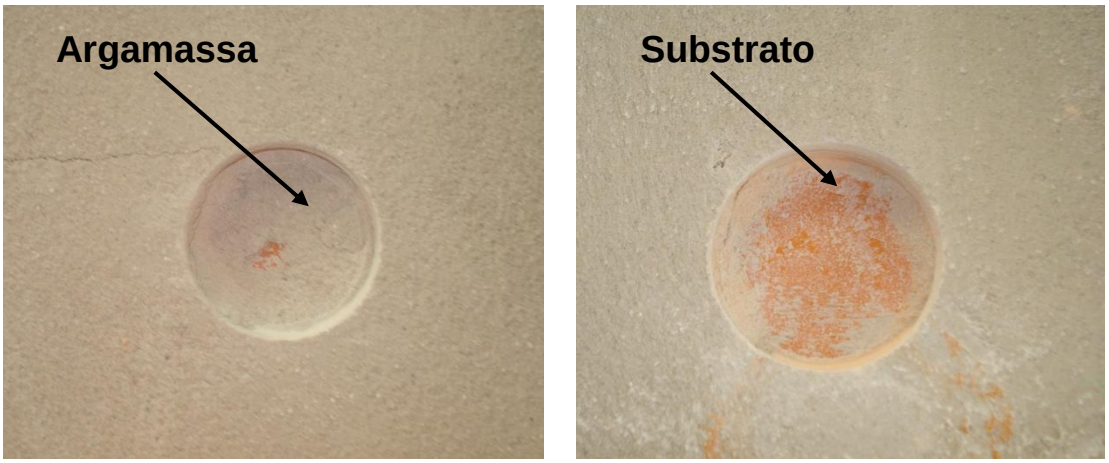

Figura 41 - Ruptura na argamassa (B-SC) e ruptura na interface argamassa-substrato (A-SC) utilizando substrato de blocos cerâmicos estruturais

Na execução do ensaio de arrancamento de argamassa nos substratos com chapisco verificou-se que 100% dos corpos-de-prova romperam na interface argamassa-chapisco na parede de blocos cerâmicos estruturais, no entanto, pode ser visualizado a presença de vazios entre a união do chapisco com a argamassa tradicional, Figura 42. Entretanto, percebe-se que as rupturas no substrato de blocos de vedação lisos foram em parte na argamassa e interface argamassa-chapisco, mas também ocorreram rupturas somente na argamassa, conforme visualizado na Figura 43. E, por fim, na parede com blocos de vedação nervurados 100% das rupturas foram parte na argamassa e interface argamassa-chapisco (Figura 44).

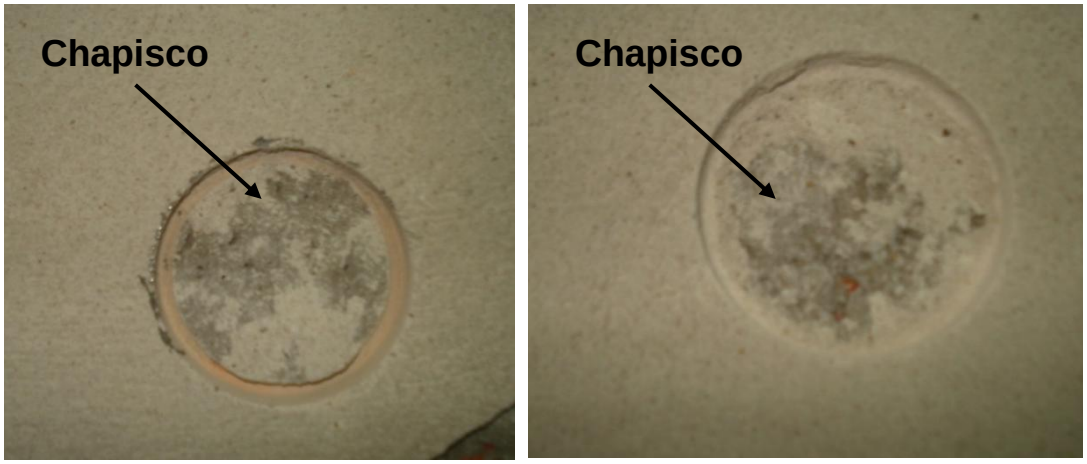

Figura 42 - Ruptura na interface argamassa-chapisco (A-CC) substrato de blocos cerâmicos estruturais revestidos com argamassa tradicional.

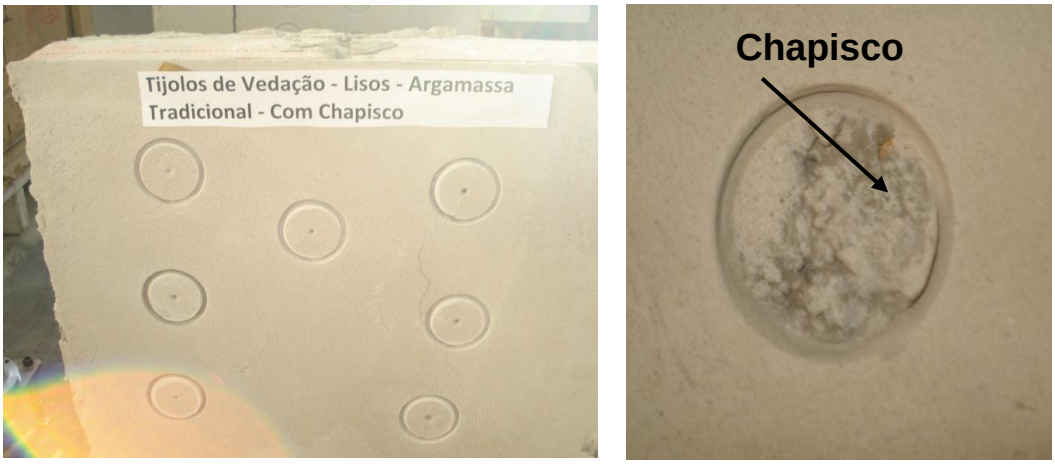

Figura 43 - Ruptura na argamassa (B-CC) e ruptura na interface argamassa-chapisco (A-CC) prismas moldadas com blocos de vedação lisos.

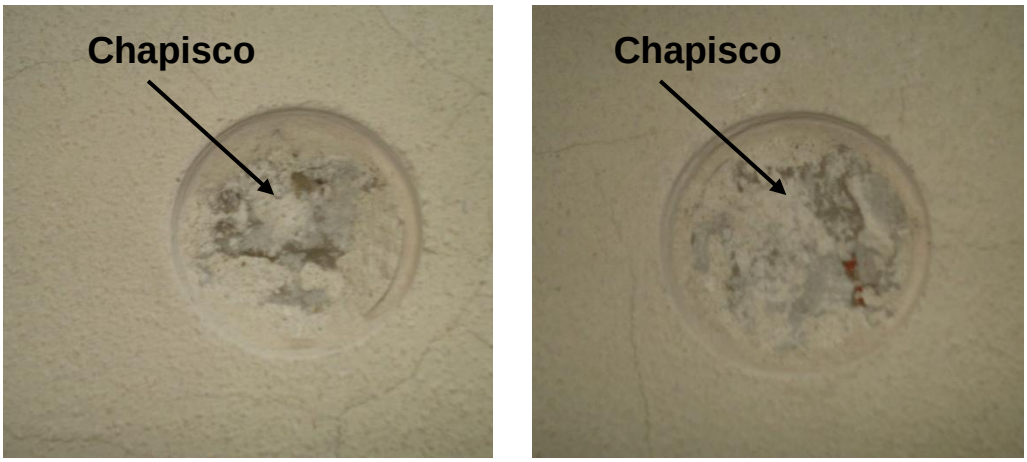

Figura 44 - Parte da ruptura ocorreu na argamassa (B-CC) e parte na interface argamassa-substrato (A-CC) utilizando substrato de blocos de vedação nervurados.

Verificando as rupturas ocorridas utilizando argamassa industrializada reboco médio com chapisco, notou-se que, quando foi utilizado blocos cerâmicos estruturais, o comportamento do revestimento argamassado, a nível de ruptura, foi na interface cola-pastilha . Se esse for desconsiderado, pode-se observar que 50% das rupturas foram, parte na interface argamassa-chapisco e parte chapisco-substrato, e, os outros 50% foram somente na interface argamassa-chapisco, como mostra a Figura 45 . Os resultados de ruptura com o mesmo tipo de argamassa, mas com a parede de blocos de vedação lisos, foram semelhantes o substrato anterior. E, por fim, a última parede analisada com esse tipo de argamassa foi à moldada com blocos de vedação nervurada, onde ficou comprovado que a característica principal de ruptura desse tipo de revestimento argamassado é que, parte rompe na argamassa e parte na interface argamassa-chapisco, com exceção de um caso onde a ruptura foi na interface chapisco-substrato.

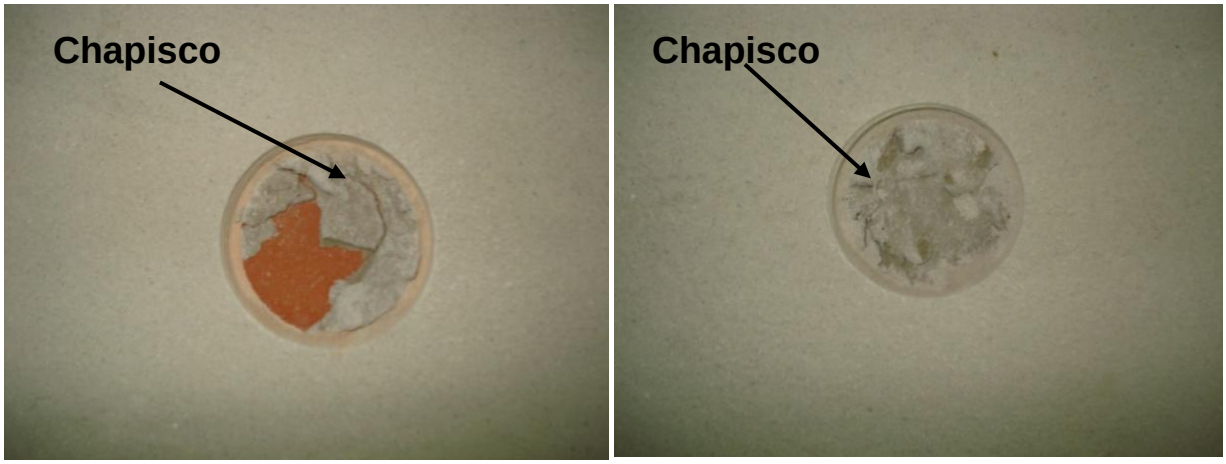

Figura 46 - Parte da ruptura ocorreu na interface chapisco-substrato (F-CC) e parte na interface argamassa-chapisco (A-CC) utilizando substrato de blocos cerâmicos estruturais.

As rupturas ocorridas no substrato com blocos cerâmicos estruturais revestidos com argamassa de projeção com camada de chapisco foram 100% parte na interface argamassa/chapisco e argamassa. Já as rupturas com a base de blocos de vedação lisos foram na argamassa e interface argamassa chapisco. O último substrato analisado composto por blocos de vedação nervurados teve as rupturas na argamassa.

4 PROGRAMA EXPERIMENTAL – ETAPA II

A partir dos resultados obtidos na etapa 1 do programa experimental pôde-se dar início a segunda etapa desta pesquisa, que foi elaborada com o objetivo de verificar e compreender os mecanismos de transmissão de vapor de água que ocorrem nas argamassas e sistemas de revestimento argamassado.

Para a realização desta fase da pesquisa, foram selecionados substrato e argamassas utilizadas em grande parte das obras da região de Santa Maria-RS. Já a escolha dos métodos de ensaio, foi de acordo com a infraestrutura do LMCC (Laboratório de Materiais de Construção) localizado na UFSM.

Visando uma melhor compreensão do programa experimental desta etapa é observado um fluxograma geral da pesquisa, Figura 47.

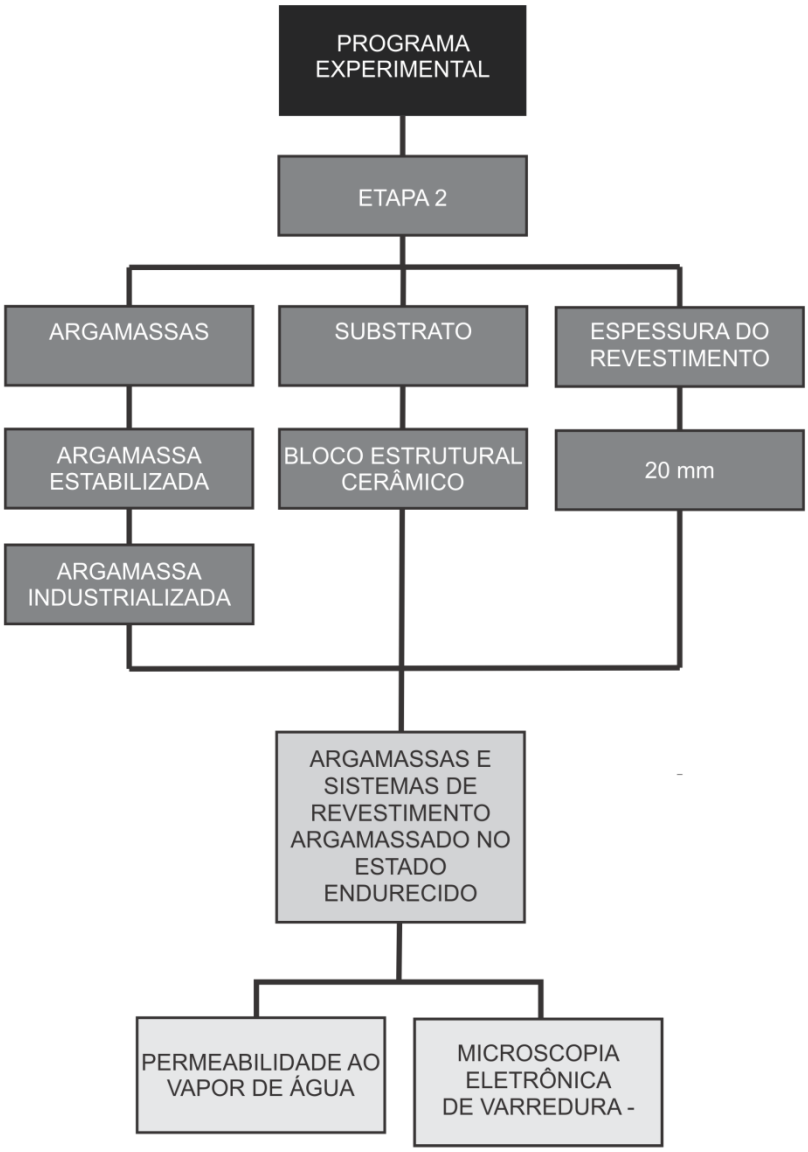

Figura 47 - Fluxograma da segunda etapa

4.1 Materiais – Etapa II

Os materiais utilizados e as suas respectivas caracterizações são apresentados nos itens a seguir.

4.1.1 Tipo de Substrato – Etapa II

4.1.1.1 Blocos Estruturais Cerâmicos

O substrato empregado foi o composto por blocos cerâmicos estruturais, onde foram extraídas amostras utilizando uma furadeira com acoplamento de uma serra copo diamantado com diâmetro de 150 mm. As características quanto à absorção de água podem ser observadas no item 3.1.2 do capítulo 3. Na Figura 48, pode-se visualizar a peça cerâmica recortada com o diâmetro de 150 mm.

Figura 48 - Amostras cerâmicas obtidas a partir de blocos cerâmicos estruturais

4.1.2 Argamassas utilizadas na Etapa II do programa experimental

4.1.2.1 Argamassas industrializadas

Foram utilizadas duas argamassas industrializadas: a reboco médio, já descrita no capítulo 3 e a argamassa de alta porosidade, que será descrita a seguir.

Outra argamassa industrializada que foi utilizada é denominada *de alta porosidade*, que após a cura possui um índice de vazios de aproximadamente 45%, distribuídos em um sistema de poros, composto por poros de gel, microporos e macroporos.

A Figura 49 ilustra a aplicação das argamassas de revestimento industrializada de alta porosidade e também a argamassa estabilizada sobre o substrato cerâmico obtido de blocos cerâmicos estruturais.

Figura 49 - Moldagem das amostras dos conjuntos de revestimentos argamassados

4.1.2.2 Argamassa Estabilizada

Para a execução desta argamassa foi empregado cimento CP-II da empresa Votorantim tendo suas características descritas na Tabela 8 e aditivos incorporador de ar Centripor 411 BR e Centripor Retard 225 como estabilizador da mistura. Esta argamassa obteve 18,6% de ar incorporado com uma densidade de 1825 kg/m³ na sua composição.

Tabela 8 – Caracterização física do cimento CP-II-Z

Finura	**Tempo de Pega**		**Resistência a Compressão (MPa)**			
NBR 11579 (2013)	NBR NM 65 (2003)		NBR 7215 (2009)			
Resídua na peneira 75 mm (%)	Início (h)	Término (h)	1 dia	3 dias	7 dias	28 dias
≤ 12,0	≥ 1	≤ 10	-	≥ 10	≥ 20	≥ 32

4.1.3 Espessura da camada de revestimento argamassado

A espessura adotada para o revestimento argamassado foi de 20 mm, de acordo com a NBR 13749 (2013), que especifica as espessuras admissíveis para o revestimento argamassado, Tabela 9.

Tabela 9 – Espessuras recomendadas para revestimentos argamassados

REVESTIMENTO	ESPESSURA (mm)
Parede Interna	5 ≤ e ≤ 20mm
Parede Externa	20 ≤ e ≤ 30mm
Tetos	e ≤ 20mm

Fonte: NBR 13749,2013

4.1.4 Métodos e procedimentos de ensaio – Etapa II

Neste item são descritos a metodologia e os principais procedimentos de ensaio para avaliação da permeabilidade ao vapor de água em argamassas no estado endurecido, assim como a caracterização das amostras através da microscopia eletrônica de varredura.

4.1.4.1 Argamassas no estado endurecido

A seguir são expostos os ensaios que foram utilizados na verificação das argamassas no estado endurecido.

4.1.4.2 Avaliação da permeabilidade ao vapor de água

O ensaio de permeabilidade ao vapor de água será realizado com base na EN 1015-19 (2000). Este ensaio define um método para determinar o regime permanente da permeabilidade ao vapor de água do reboco e argamassas de reboco e a parte mais alta e mais baixa do intervalo higroscópico. Para a execução do ensaio devem ser produzidos corpos de prova em forma de disco com espessura uniforme, que de acordo com a norma devem variar entre os 10 mm e os 30 mm. Nesta pesquisa a medida adotada para a espessura dos corpos de prova de argamassa foi de 20 mm.

Para a determinação do ensaio são necessários copos teste circulares para encaixar os corpos de prova cilíndricos (Figura 50), que deverão ser selados na abertura dos copos, para que a pressão do vapor de água no interior dos modelos (a qual é constante por meio de uma solução salina saturada) seja diferente da existente no ambiente exterior. Os moldes (copos teste) de ensaio são mantidos em

ambiente climatizado para que, tanto quanto possível, a temperatura ambiente e a pressão do vapor de água sejam constantes no exterior dos copos teste. Na presente pesquisa o ambiente foi de 20ºC para temperatura e 95% para umidade relativa do ar.

Figura 50 - Copos teste

A execução deste ensaio foi realizada com algumas adaptações da norma devido a inexistência de todos os meios necessários no que se refere a materiais e equipamentos do laboratório.

A etapa inicial da preparação deste ensaio foi à concepção e desenho dos copos teste. De acordo com a Norma EN 1015-19 (2000) os copos de ensaio circulares devem ser feitos em material resistente à corrosão, possuindo uma abertura com área de 0,02 m², aproximadamente. Porém, nesta pesquisa foi realizado uma adaptação nas medidas do molde para facilitar a execução, adotou-se uma área de 0,00785 m², significando assim, uma redução de cerca 60% do diâmetro do copo teste como pode ser visualizado na Figura 51.

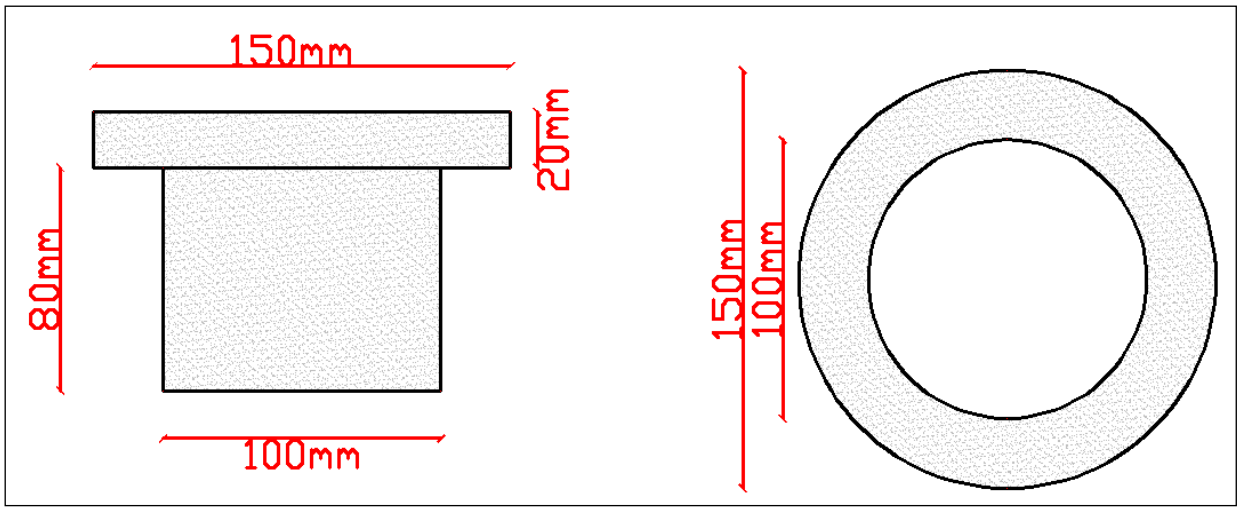

Figura 51 – Medidas adaptadas do copo teste descrito na norma EN 1015-19 (2000), vista lateral e superior.

Os moldes circulares adotados para a realização deste ensaio foram fabricados em chapa metálica galvanizada nº 26, que apesar de este não ser um material com propriedades de elevada resistência à corrosão, foi à alternativa mais viável encontrada na região. Não houve nenhum tratamento para evitar a corrosão no copo teste.

Os corpos de prova de argamassa e cerâmica possuem diâmetro de 150 mm, sendo visualizado na Figura 52. A norma define que o corpo de prova deve ter um diâmetro ligeiramente inferior ao do copo. Para a preparação das amostras foi utilizado um molde que corresponde a um aro de PVC com as dimensões do copo teste para a montagem do sistema.

Figura 52 - Corpo de prova de argamassa

A norma define dois intervalos higroscópicos: um superior e outro inferior. No primeiro, utiliza-se a solução saturada de nitrato de potássio; no segundo, utiliza-se a solução saturada de cloreto de lítio, para controlar a pressão do vapor de água no interior do copo.

Neste trabalho, apenas foi realizada a determinação da permeabilidade ao vapor de água para o intervalo higroscópico inferior, utilizando a solução saturada de cloreto de lítio (Figura 53), que fornece uma umidade relativa de 12,4% à temperatura de 20ºC. A escolha da utilização da substância cloreto de lítio foi devido ao fácil acesso e também por ser adotada em muitas pesquisas da área.

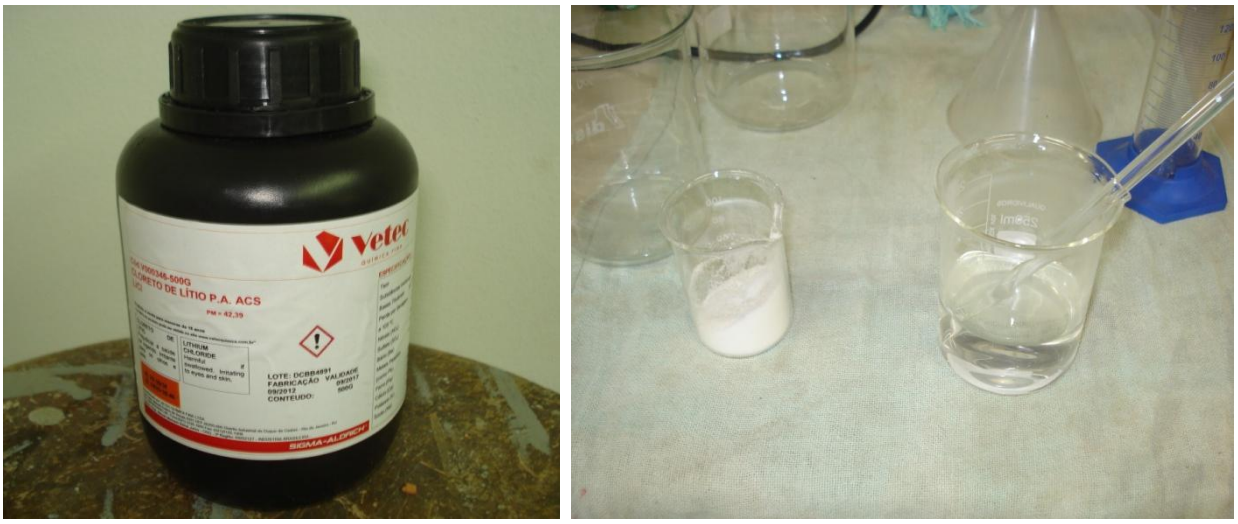

Figura 53 - Solução salina saturada de cloreto de lítio

A definição do coeficiente de permeabilidade ao vapor de água é realizada através das pesagens dos copos de ensaio que ficam confinados em uma câmara climática com os intervalos de temperatura e umidade relativa recomendada pela norma (nesta pesquisa adotou-se 20ºC e 95% de umidade relativa). Foram adotadas pesagens consecutivas de 24h em 24h de acordo com estudos de Penas (2008), para representar a relação entre a massa do copo de ensaio e o tempo. Para cada composição em estudo foram produzidos cinco corpos de provas cilíndricos de acordo com os estudos de Penas (2008) e Faria (2011).

A partir do gráfico obtém-se o fluxo de vapor de água, ΔG/Δt, para o intervalo higroscópico inferior.

Com estes dados é criado o gráfico do fluxo de vapor de água, ΔG/Δt, para o intervalo higroscópico inferior.

Segundo a Norma EN 1015-19 (2000), a permeância ao vapor de água (ʌ) é o fluxo de vapor de água que passa por uma área sob condições de equilíbrio por unidade de diferença na pressão de vapor de água entre dois lados do mesmo material, onde é determinado pela seguinte expressão:

$$\Lambda = \frac{1}{\frac{A\Delta p}{\frac{\Delta G}{\Delta t}} - RA} \quad \textbf{em Kg/m}^2\textbf{.s.Pa (1)}$$

Onde:

A – área da abertura do copo de ensaio (m²)

Δ_p – diferença de pressão do vapor de água entre ar ambiente e a solução salina saturada, calculado em quadros adequados (Pa)

ΔG/Δt – corresponde ao fluxo do vapor de água (kg/s)

ʌ - permeância ao vapor de água (kg/m².s.Pa)

R_A – resistência ao vapor de água da folga de ar entre a amostra de argamassa e a solução salina (0,048x109 Pa m² s/kg por 10 mm de folga)

O cálculo da pressão de vapor de água (Δp) entre os dois lados do corpo de prova é composto pela diferença de pressão de cada um dos ambientes (P), em que P determina-se pela seguinte expressão:

$$\mathbf{P = Ps \times \frac{HR}{100}\ (Pa)\ (2)}$$

A pressão parcial de saturação (Ps) , à temperatura de 22ºC corresponde a 2640 Pa.

A permeabilidade ao vapor de água corresponde ao valor da permeância multiplicado pela espessura do corpo de prova,Equação 1.

$$\boldsymbol{\pi = \Lambda \times e\ (kg/m.s.Pa)\quad (3)}$$

A espessura da camada de ar de difusão equivalente Sd é determinada a partir das permeabilidades ao vapor de água, Equação 2.

$$\mathbf{Sd = 1{,}95 \times 10^{-10} \times e/\pi\ (m)\qquad (4)}$$

Na Figura 54, pode ser visualizado a câmara climática onde realizou-se ensaio o permeabilidade ao vapor de água.

Figura 54 - Câmara climática

4.1.4.3 Microscopia Eletrônica de Varredura

Uma das considerações iniciais que deve ser enfatizada com relação às análises do MEV é no que diz respeito a sua singularidade e a pequena representatividade sobre uma amostra como um todo. Segundo, Diamond (1986), quando se realiza um ensaio de microscopia eletrônica de varredura onde a amostra tem cerca de 1 cm², com uma magnitude de 10.000x, alcançasse apenas 0,001% da superfície em estudo.

De acordo com os estudos de Mohamad (2007), pode-se analisar as imagens de microscopia a nível de macro-poro com ampliações de 15x e 40x e do micro-poro 200x e 500x. Já a porosidade aberta (permeável) pode ser verificada para níveis de ampliações de 1000x, 1900x e 5000x.

A fim de se obter micrografias, foram realizados no Laboratório de Microscopia da Universidade Federal de Santa Maria, a caracterização morfológica das argamassas foi realizada com o equipamento denominado Microscópio eletrônico de varredura JEOL JSM 6060, podendo atingir magnitudes de 5 até 300.000 vezes.

As amostras devem estar totalmente secas para que não haja interferência no ensaio, pois o equipamento possui sensibilidade grande a umidade. A preparação

ocorre com a colocação das amostras em um recipiente onde são revestidas com uma camada fina de ouro, de maneira a induzir as interações eletrônicas necessárias quando colocadas no microscópio.

4.2 Resultados – Etapa II

Os resultados obtidos nos ensaios de permeabilidade ao vapor de água, de acordo com a EN-1015-19 (2000) e microscopia eletrônica de varredura – MEV, são apresentados na forma de textos, figuras, gráficos, tabelas e, posteriormente, são discutidos com as suas respectivas análises.

Para o ensaio de permeabilidade ao vapor de água o número de amostras foi 5 (cinco) para cada tipo de argamassa e, para os conjuntos cerâmica/argamassa, tal quantidade de corpos de prova foi de acordo com os estudos realizados por Faria (2011) e Penas (2008).

4.2.1 Avaliação de permeabilidade ao vapor d'água

Os resultados obtidos neste estudo mostram um desempenho distinto de permeabilidade ao vapor entre as argamassas e os sistemas argamassa/substrato. Essa diferença de permeabilidade está provavelmente relacionada com o aumento da porosidade interna devido a diferente composição de cada argamassa.

Silva, Brito e Veiga (2014) ressaltam que a permeabilidade é a propriedade que permite as argamassas de expulsar, por secagem, a água resultante de infiltrações e condensações de umidade que se originam no interior de edifícios.

Resultados semelhantes de permeabilidade ao vapor de água em argamassas foram obtidos por Veiga (2014), Faria (2011) e Penas (2008).

Na Figura 55, apresentam-se os resultados médios de ganho de massa ao longo do período de 15 dias dos sistemas de revestimento argamassados.

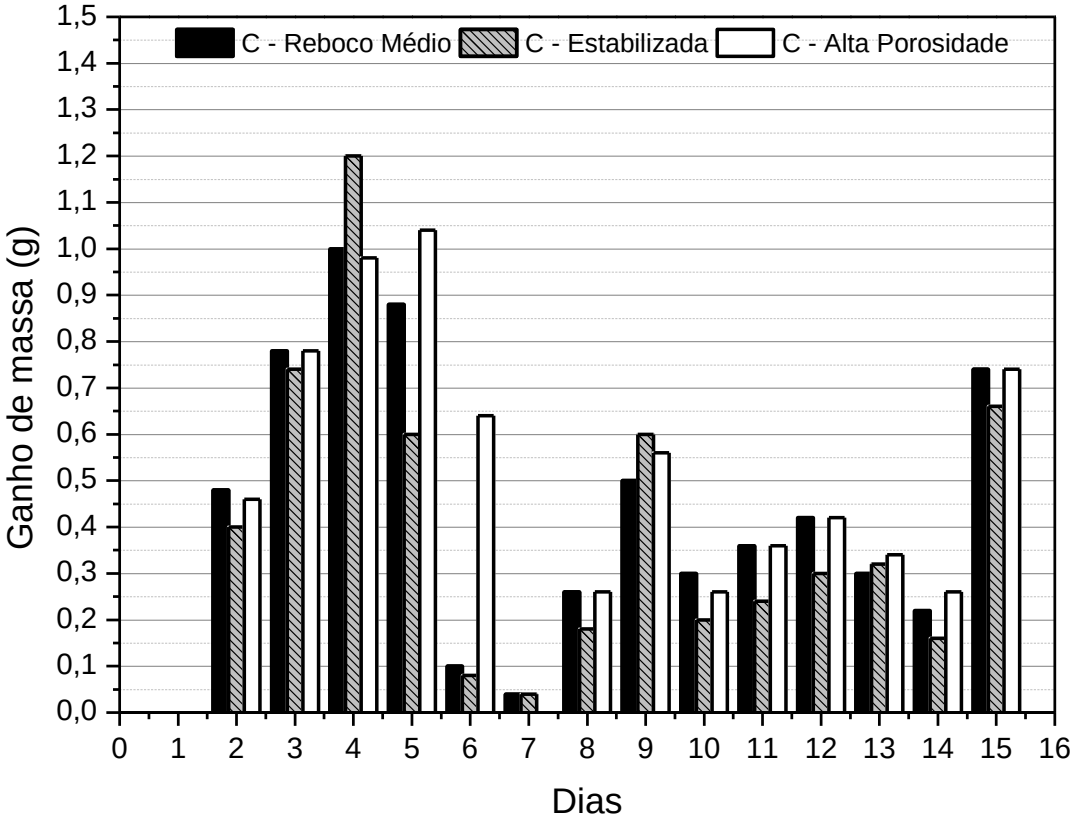

Figura 55 - Resultados de ganha de massa (sistemas)

Nota-se que existem duas etapas distintas de ganho de massa, onde a primeira fase demonstra um acréscimo de massa expressivo e contínuo, ao longo do tempo, em todos os conjuntos de revestimentos, aproximadamente até o quinto dia de ensaio. Observa-se também um segundo comportamento no ensaio a partir do décimo dia, onde o ganho de massa pelo sistema é relativamente menor quando comparado aos primeiros dias, porém contínuo, demonstrando que há interação pelos mecanismos de transmissão de umidade interna dos elementos devido à diferença de umidade entre o ambiente da câmara úmida e o copo teste. Analisando individualmente cada sistema de revestimento argamassado, percebe-se que os conjuntos formados pela cerâmica mais argamassa reboco médio e argamassa de alta porosidade apresentaram um fluxo percentual com cerca de 30% superior quando comparado ao sistema formado pela argamassa estabilizada. Esse fato pode ser justificado pela estrutura porosa da argamassa estabilizada, a qual é formada por muitas bolhas de ar, e, ainda, pela falta de conexão entre os poros como será visto nas imagens do MEV na Figura 56.

Na Tabela 10 são apresentados os resultados obtidos no ensaio de permeabilidade ao vapor de água para os componentes individuais.

Tabela 11 - Resultados experimentais ensaio de permeabilidade ao vapor d'água

Dias	Componentes			
	Cerâmica (g)	**Arg. Reboco Médio (g)**	**Arg. Estabilizada (g)**	**Arg. de alta porosidade (g)**
1	0	0	0	0
2	0,32	1,1	1,35	0,98
3	0,24	1,06	0,85	0,9
4	0,14	0,46	1	0,38
5	0,28	0,54	0,875	0,44
6	0,14	0,54	0,875	0,32
7	0,56	1,04	0,25	0,92
8	0,34	0,78	0,35	0,62
9	0,28	0,66	0,75	0,4
10	0,34	1,28	0,825	0,42
11	-	-	-	-
12	0,74	1,34	0,425	1,04
13	0,28	0,46	0,2	0,2
14	0,2	0,22	0,45	0,04
15	0,22	0,28	0,5	0,12
Média	0,291	0,697	0,621	0,484
Desvio Padrão	0,181	0,413	0,369	0,354
Coef. de Variação	62%	59%	59%	73%

Foram analisados separadamente os três tipos de argamassas, assim como a cerâmica, com o objetivo de verificar o comportamento individual de cada elemento. Os resultados médios individuais de ganho de massa estão expostos na Tabela 11, demonstram que a cerâmica apresenta um comportamento praticamente linear de acréscimo de massa ao longo do ensaio, mantendo valores próximos a 0,30 gramas/dia. Uma hipótese para esse efeito seria o fato de que a cerâmica possui uma estrutura de micro poros estritamente fechada.

Na Figura 57 pode ser visualizado os resultados do ganho massa individual discretizado ao longo do ensaio de permeabilidade ao vapor de água.

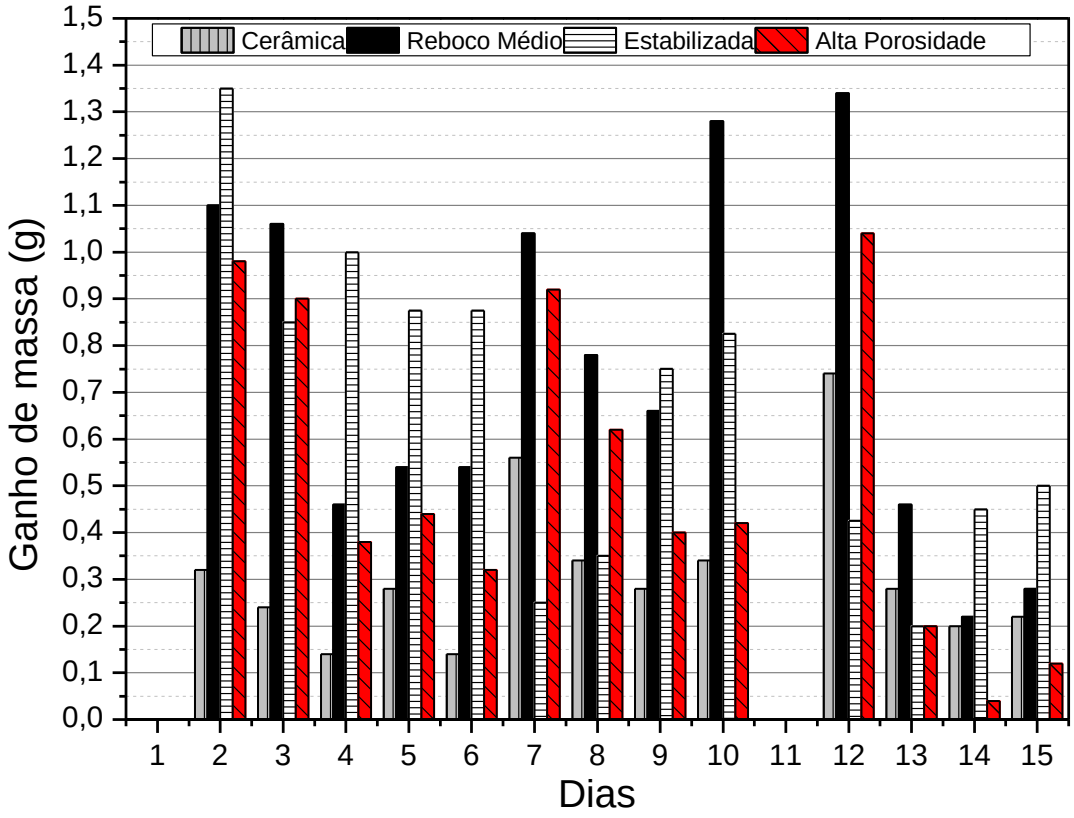

Figura 57 - Resultados de ganho de massa (componentes isolados)

Na Figura 57 observa-se que existe uma diferença evidente no comportamento dos três tipos de argamassa, onde a argamassa do tipo alta porosidade destaca-se por apresentar valores intermediários de ganho de massa, em torno de 0,5 gramas/dia, visto que, este tipo de argamassa induz ao fluxo de vapor contínuo. Já na análise das demais argamassas, percebe-se um coeficiente de variação alto, com cerca de 59%, onde possuem um ganho de peso importante nos dias inicias, tendendo a se estabilizar com o aumento da idade.

Na Figura 58 pode ser visto o ganho de médio de massa dos componentes individuais (argamassas e cerâmica).

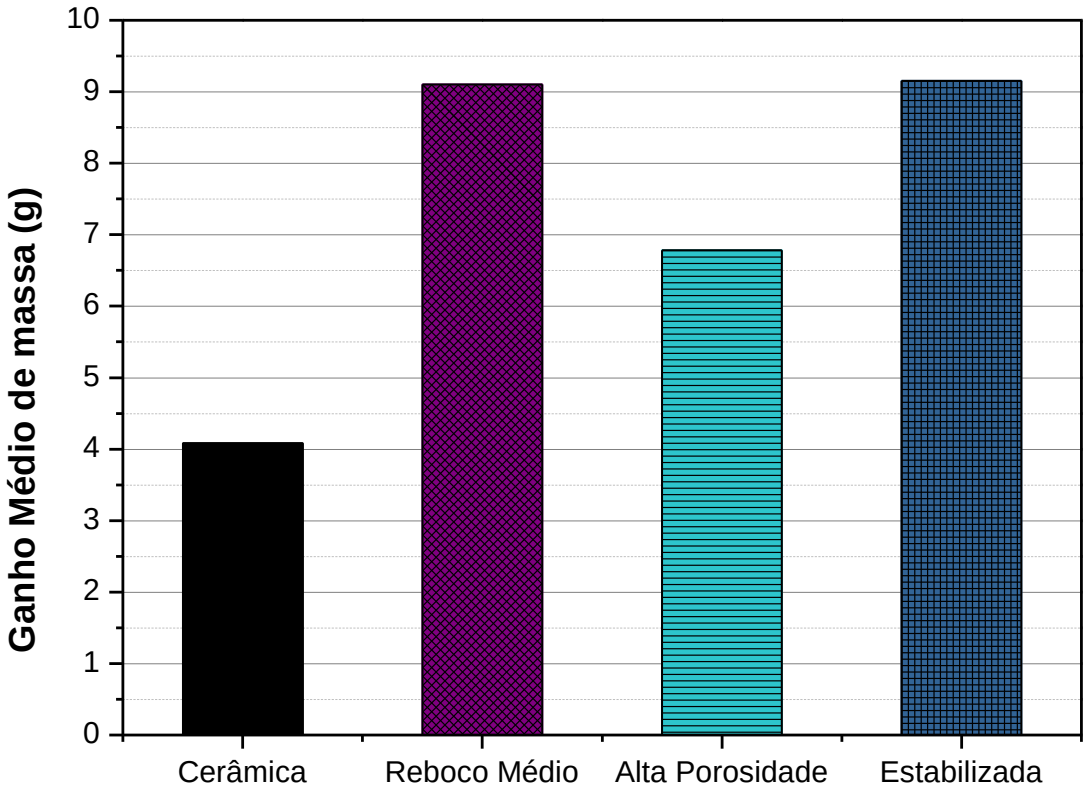

Figura 58 - Resultados de ganho total de massa (componentes isolados)

Os resultados finais de ganho de massa individuais podem ser observados na Figura 58, onde nota-se que, ao final do 15º dia de ensaio, a cerâmica possui aproximadamente 4 gramas de ganho total de massa, sendo a menor taxa dentre os analisados. As argamassas de reboco médio tiveram um acréscimo final de 9,1g, a alta porosidade de 6,78g e a estabilizada de 9,15g. Portanto, pode-se concluir que, as argamassas do tipo reboco médio e estabilizada possuem uma transmissão de vapor de água bastante superior a argamassa de alta porosidade, com cerca de 25%.

Na Figura 59 é apresentado os resultados de ganho médio de massa dos conjuntos formados por cerâmica/argamassa.

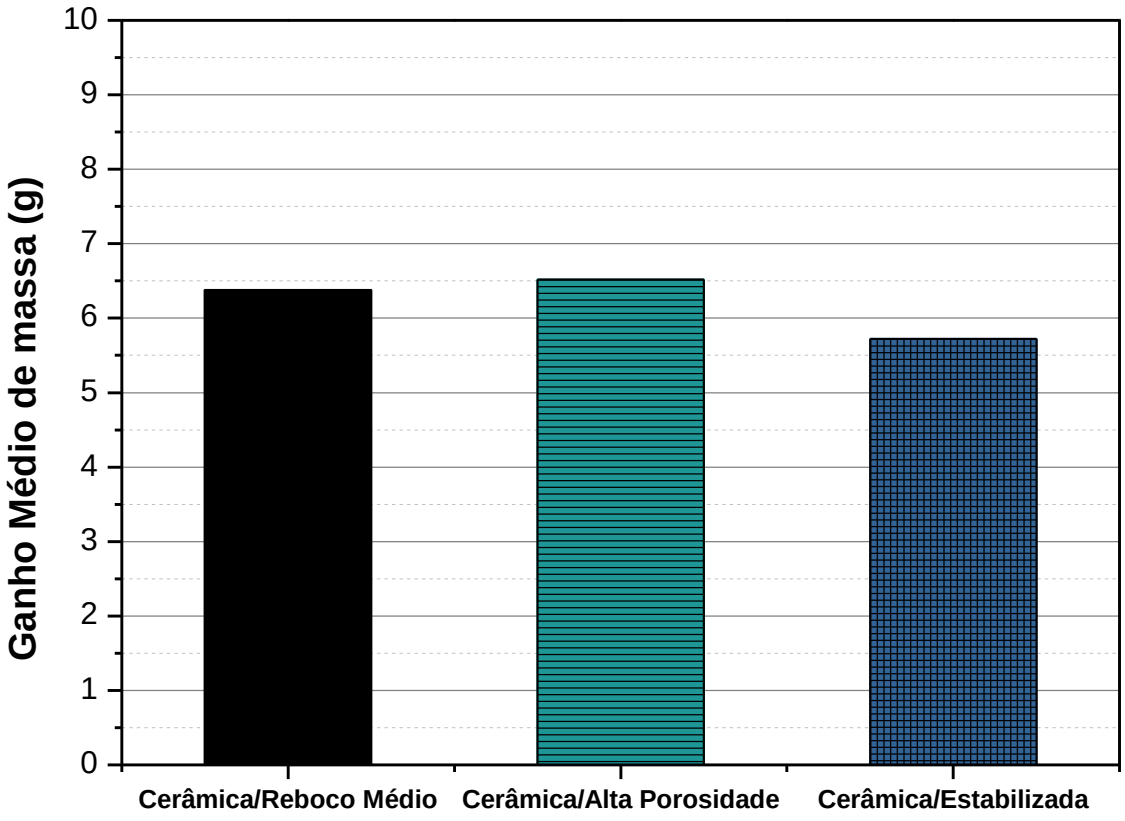

Figura 59 - Resultados de ganho de massa (sistemas)

A Figura 59 mostra o ganho médio final referente aos sistemas de revestimentos de argamassas. Percebe-se, então, que os conjuntos possuem um comportamento muito próximo, havendo um diferença máxima cerca de 12%.

Na Figura 60 são apresentados os resultados dos coeficientes de permeabilidade ao vapor de água para os componentes individuais (cerâmica e argamassas).

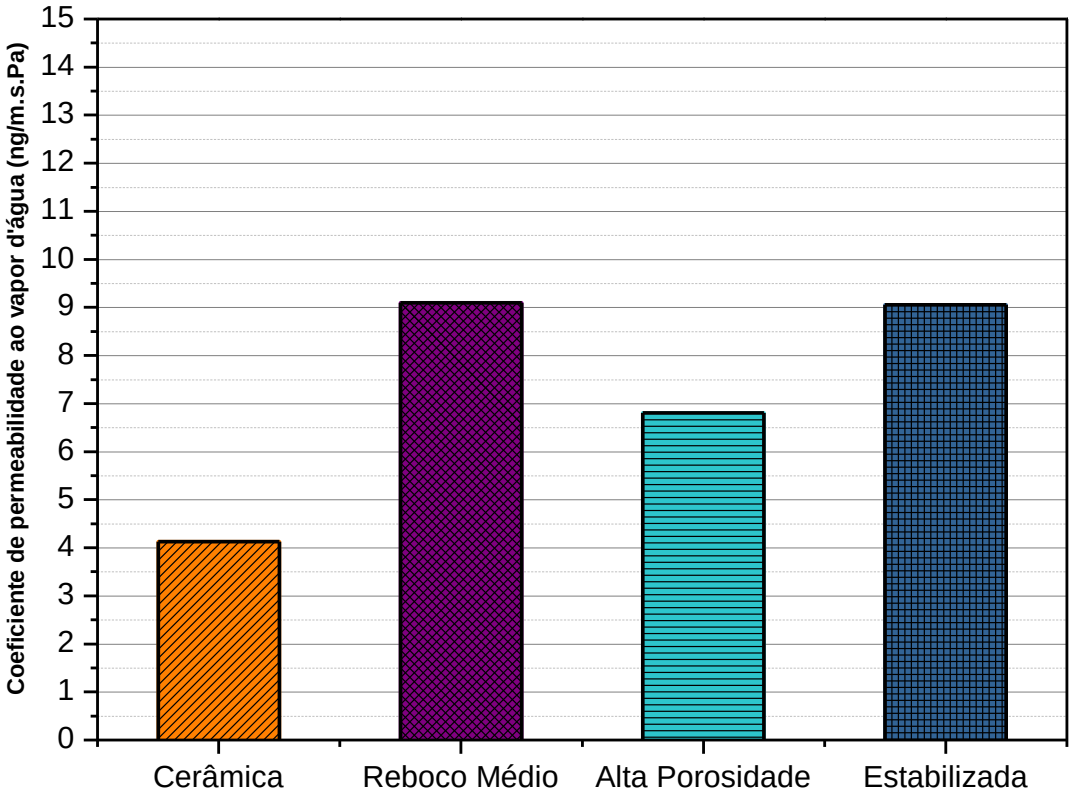

Figura 61 - Resultados de permeabilidade ao vapor d'água (componentes isolados)

Como se pode verificar pelos resultados da Figura 61, a cerâmica é menos permeável ao vapor de água. Nota-se que a cerâmica atua no sistema de revestimento argamassado como uma barreira para a transmissão de vapor. Em relação ao vapor de água, uma permeabilidade reduzida é um fator negativo no sistema de revestimento, pois não permite uma boa secagem da água que entra no conjunto e, assim dificulta a eliminação do vapor de água que se forma no interior do sistema de revestimento argamassado. Verificando a permeabilidade das argamassas nota-se que, as argamassas do tipo reboco médio e estabilizada possuem coeficientes de permeabilidade muito próximos. Já a argamassa industrializada de alta porosidade apresentou coeficiente de 25% menor quando comparado aos demais.

Os resultados dos coeficientes de permeabilidade ao vapor de água são demonstrados na Figura 62.

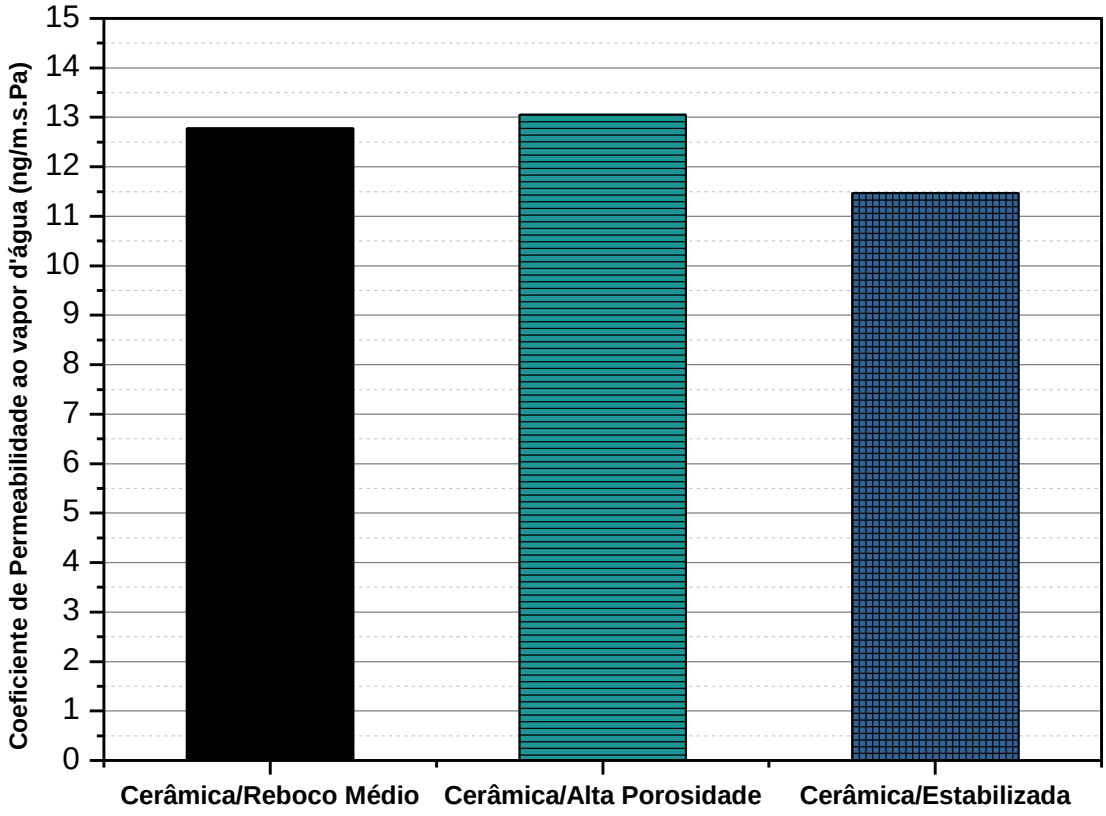

Figura 63 - Resultados de permeabilidade ao vapor d'água (sistemas)

De acordo com os resultados experimentais dos sistemas de revestimentos formados por cerâmica/argamassa estabilizada, cerâmica/argamassa reboco médio e cerâmica/argamassa de alta porosidade verificou-se que, os conjuntos tendem a apresentarem índices de permeabilidade ao vapor maiores do que os elementos isolados (cerâmica e argamassa). Esse fato provavelmente ocorra, devido a uma absorção de umidade inicial maior do conjunto cerâmica/argamassa, o mesmo ocorrendo de forma mais lenta para os componentes isolados. Outra hipótese para esse desempenho é de que a área do sistema é muito maior do que a argamassa e a cerâmica, promovendo assim, um fluxo maior de vapor de água.

Na Figura 63, observa-se que o sistema de revestimento argamassado formado cerâmica/argamassa estabilizada apresentou o menor coeficiente de permeabilidade. Confrontando os resultados da cerâmica/argamassa estabilizada e a cerâmica/argamassa reboco médio verificou-se que a primeira apresentou cerca

de 10% menos permeável do que o segundo sistema, o que pode ser visualizado na (Figura 63). E por fim, analisando o sistema cerâmica/argamassa de alta porosidade conclui-se que, este possui a maior permeabilidade. Este último sistema provou ser susceptível a transmissão de vapor, provando assim, a sua eficiência como ponte de dispersão de umidades.

4.2.2 Análise visual pós-ensaio de permeabilidade ao vapor d'água

A análise pós-ensaio de permeabilidade ao vapor de água consiste na inspeção visual das amostras após 15 dias do confinamento dos copos teste na câmara climática a uma temperatura controlada de 20°C e uma umidade relativa de 95%.

Na Figura 64 visualizam-se os corpos de prova cerâmicos após o término do ensaio de permeabilidade ao vapor de água. Nota-se a presença de eflorescências na superfície da cerâmica na face em que estava em contato com o ambiente salino, composto pela solução saturada de cloreto de lítio. Também se observa manchas de umidade proveniente do fluxo continuo de vapor de água, visto que, os resultados de permeabilidade ao vapor demonstram que houve fluxo contínuo de vapor na estrutura interna da cerâmica.

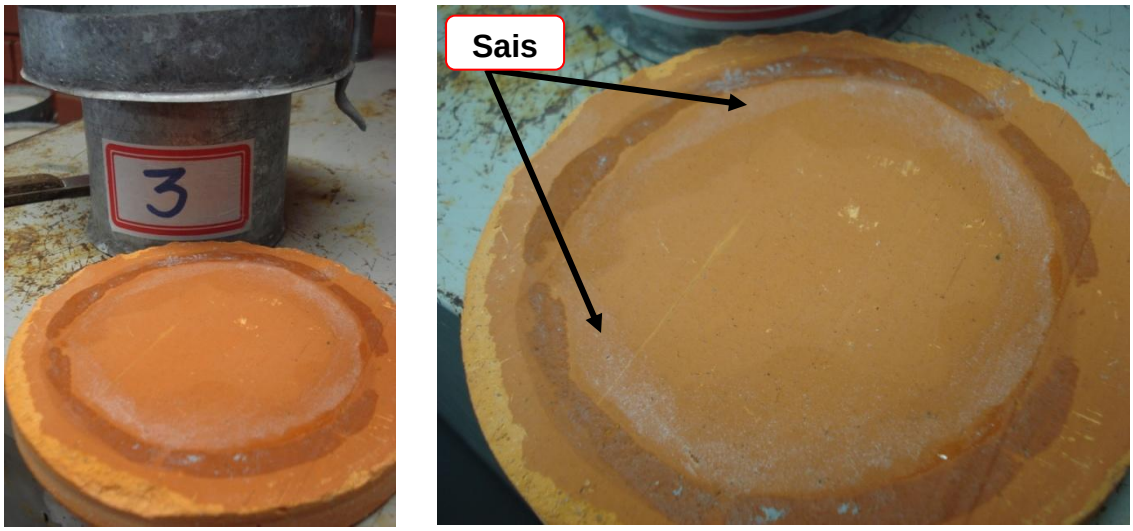

Figura 64 – Verificação de eflorêscencia

Realizando uma inspeção visual no material, constatou-se a presença de manchas de umidade nas amostras de argamassa do tipo reboco médio, porém, não se observou a presença de sais na superfície em que a amostra esteve em contato

com a solução de cloreto de lítio. Levando-se em conta a rede composta por capilares e poros deste tipo de argamassa, pode-se notar que há um interconectividade, fazendo com que o fluxo de vapor seja continuo na sua extensão, podendo ser observado na Figura 65.

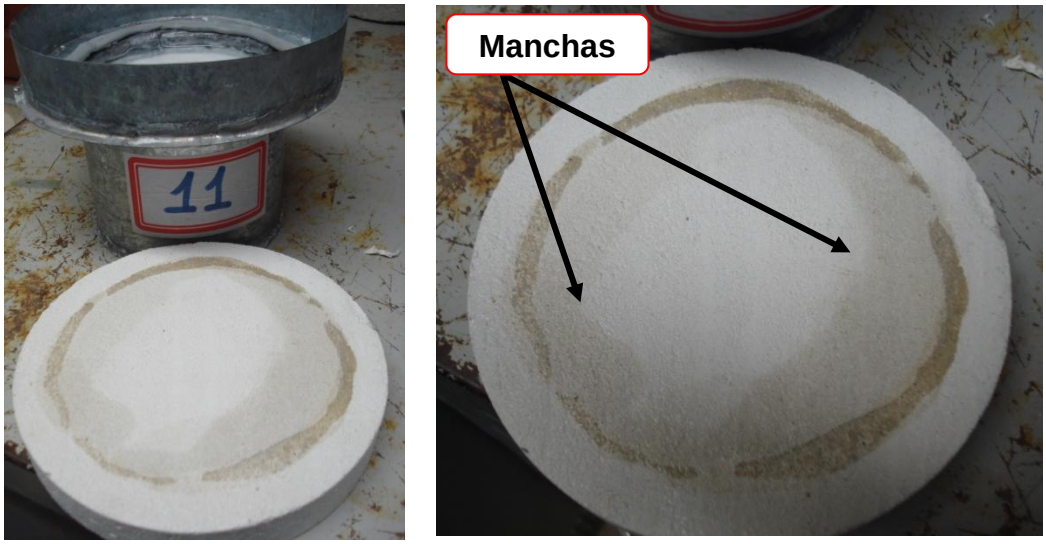

Figura 65 - Amostra de argamassa reboco médio

Avaliando a argamassa de alta porosidade após o ensaio de permeabilidade, entende-se que, devido à presença de uma rede capilar de poros com diâmetros diferentes em sua superfície, esse material faz com que fluxo de vapor seja contínuo ao longo do tempo. Essa transmissão de vapor de água tende a ser continua e não formar grandes manchas de umidade na superfície externa da amostra como pode ser visto na Figura 66.

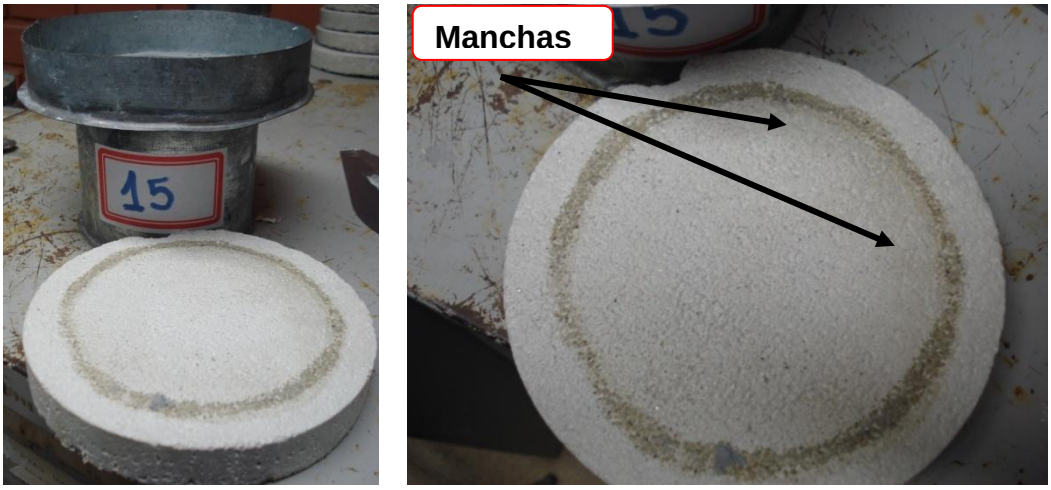

Figura 66 - Amostra de argamassa de alta porosidade

Na Figura 67 pode ser visualizada argamassa estabilizada onde há presença de manchas de umidade na amostra, assim como, um depósito de sais localizado apenas em uma parte do corpo de prova. Esse tipo de material caracteriza-se pelo grande número de bolhas de ar devido ao teor de aditivo incorporador de ar, o que, provavelmente, contribui para a formação de sais e acúmulo de água na superfície da argamassa.

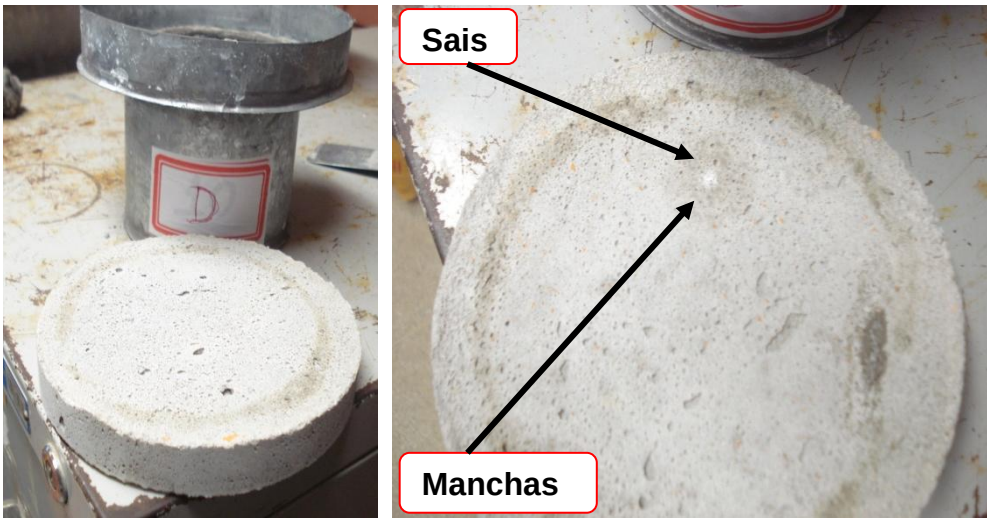

Figura 67 - Amostra argamassa de alta porosidade

Observando o conjunto formado pela cerâmica mais argamassa do tipo alta porosidade, onde a face cerâmica é a que estava submetida à solução salina saturada, verifica-se que houve um grande depósito de sais e manchas de umidade superficialmente. Já na face exposta ao ambiente da câmara climática, nota-se que não existem presença de manchas e sais, Figura 68.

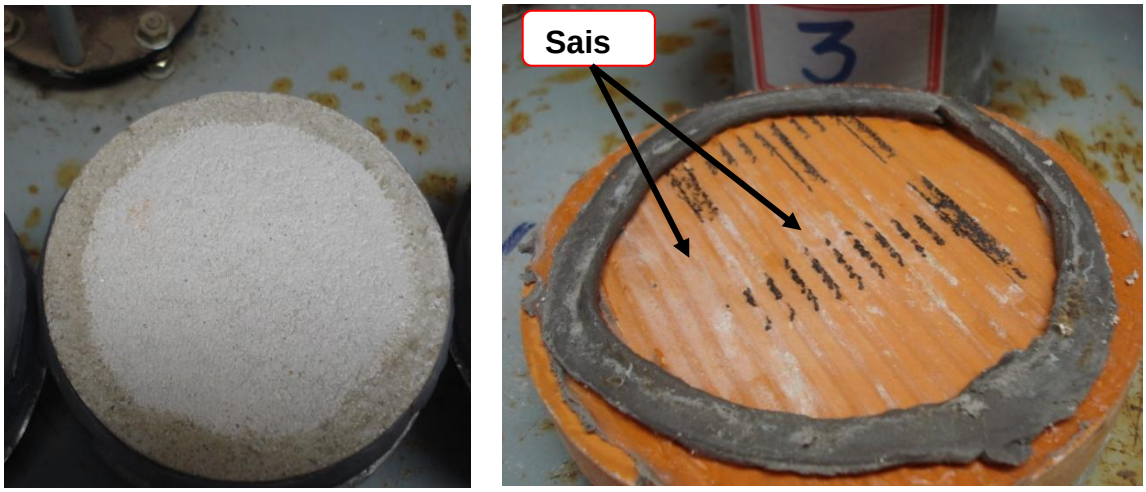

Figura 68 - Amostra do conjunto cerâmica/argamassa de alta porosidade

Já os sistemas de revestimentos argamassados formados pela cerâmica/argamassa reboco médio e cerâmica/argamassa estabilizada apresentaram comportamento semelhante. Nas Figuras 69 e 70 pode ser visto o comportamento dos sistemas onde há um depósito salino formado na superfície cerâmica nos dois tipos de sistemas verificados, sendo mais evidente no conjunto cerâmica/reboco médio. Analisando a superfície da argamassa, não se visualiza presença de mancha de umidade, uma das hipóteses para esse efeito é de que o fluxo de vapor percorreu a argamassa e ficou retido na superfície cerâmica.

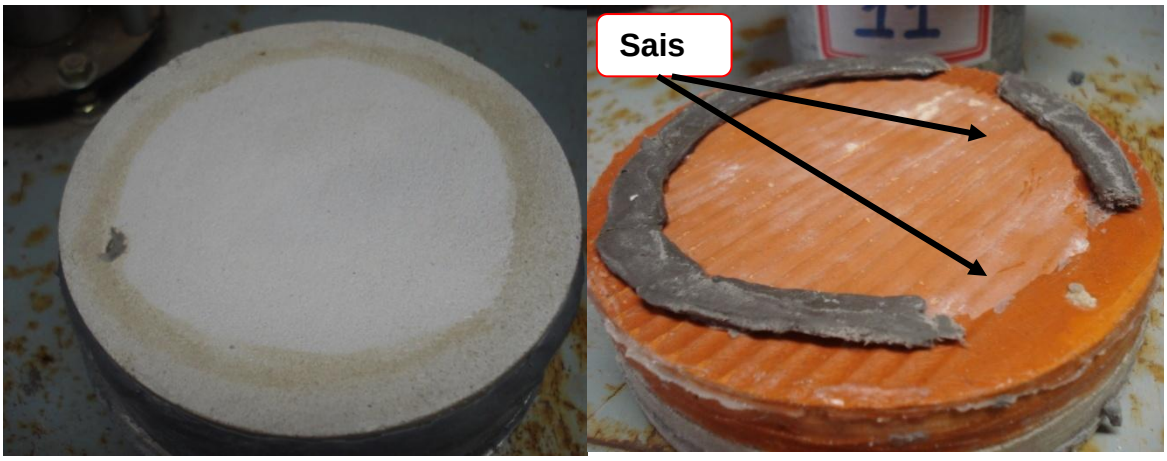

Figura 69 - Amostra do conjunto cerâmica/argamassa reboco médio

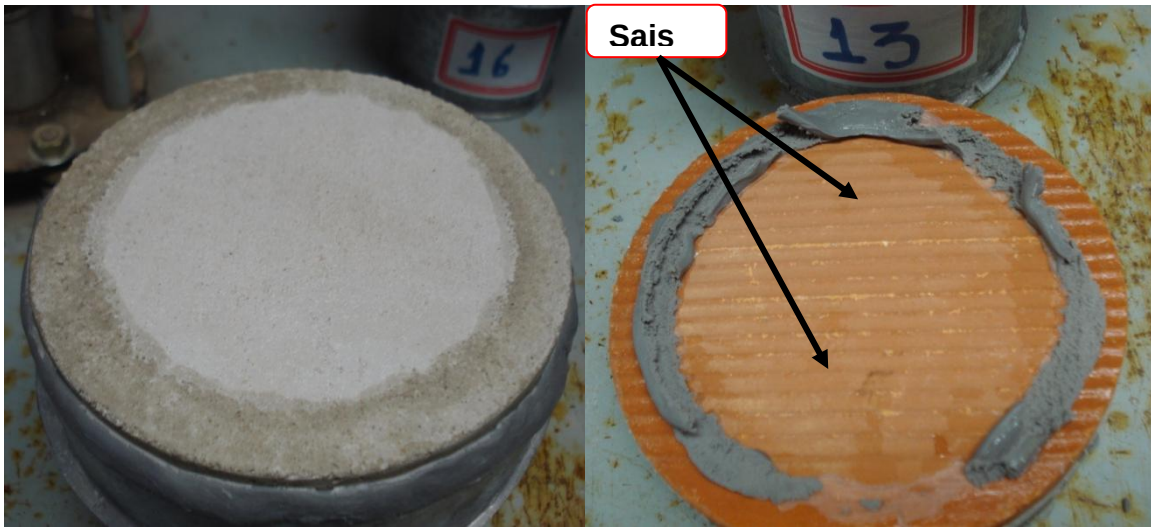

Figura 70 - Amostra do conjunto cerâmica/argamassa estabilizada

4.2.3 Caracterização morfológica das argamassas com a microscopia eletrônica de varredura - MEV

A microscopia eletrônica de varredura possibilitou o estudo das superfícies das amostras das argamassas reboco médio, estabilizada e alta porosidade, onde principal objetivo desta análise foi com relação aos seguintes aspectos: conexão entre a rede capilar, tipos de poros com seus formatos e distribuição, presença de fissuração.

Assim, para efeito de análise, as micrografias obtidas no ensaio do MEV foram divididas em faixas de magnitudes diferentes, onde as amostras foram retiradas de pontos aleatórios dos corpos de prova de argamassa, e são discutidos a seguir.

4.2.3.1 Argamassa estabilizada

As imagens da Figura 71 (A) e (D) apresentam uma vista geral da amostra de argamassa estabilizada, com ampliação de 12 vezes, onde pode ser visualizado o grande número de poros abertos na superfície do corte da argamassa, provavelmente pela grande quantidade de aditivo incorporador de ar na mistura. Também existe uma porcentagem elevada de aditivo estabilizador para que este tipo de argamassa tenha um tempo em aberto de uso de 36 horas.

Já na Figura 71 (B) é observado uma ampliação de um micro-poro onde nota-se uma superfície lisa de um poro com uma geometria rugosa. Tal característica é observada em grande parte da amostra, porém, não pode-se concluir se há uma conectividade entre os poros devido ao grande número de bolhas de ar presentes na amostra.

Na Figura 71 (E) pode-se visualizar o interior de um poro, onde se percebe uma fissuração acentuada por retração. Essas fissuras se propagam ao longo da extensão de boa parte dos poros analisados da amostra, possivelmente ocorra na secagem entre a zona de transição do agregado com a pasta de cimento. Observa-se na Figura 71 (F) e (G) com aumento da magnitude em 4000 vezes a presença de cristais de etringita.

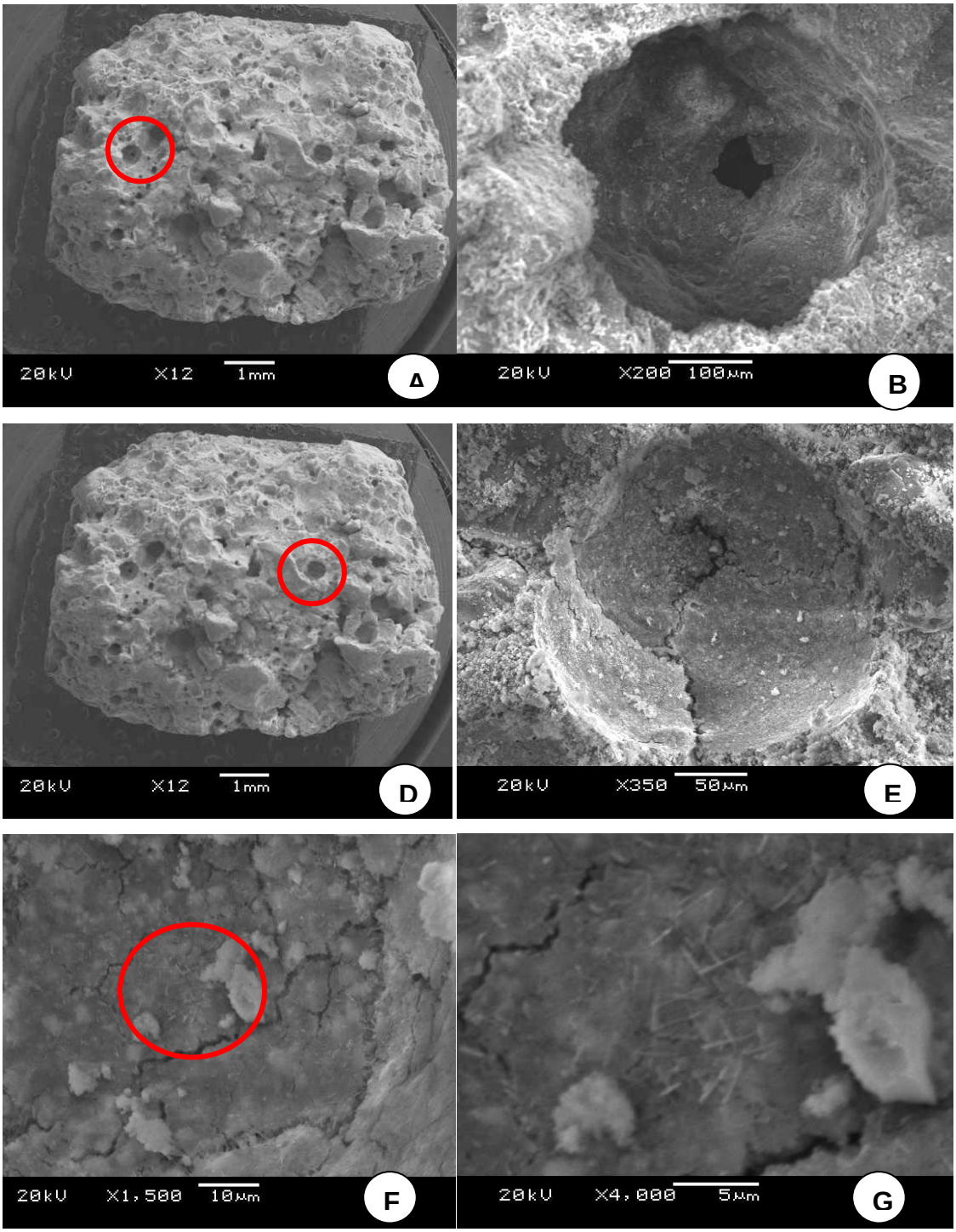

Figura 71 - Imagens da superfície da amostra de argamassa estabilizada

4.2.3.2 Argamassa reboco médio

A argamassa do tipo reboco médio apresenta em sua extensão uma rede capilar formada por macros e micros poros que podem ser observados na superfície da microscopia na Figura 72 (A), ampliada em 14 vezes.

Na Figura 72 (C) verifica-se a presença da pasta de argamassa envolvendo o agregado miúdo. Nota-se uma conexão entre os poros situados no interior da amostra formando uma rede de capilares. Pela Figura 72 (B), visualizam-se trincas ao entorno do poro, que tendem a fazer com que haja a interconectividade entre os macros e micro poros que, consequentemente, tendem a induzir um efeito transmissão de vapor de água do interior do substrato para o ambiente exterior da argamassa, conforme o esquema da Figura 72. Já com relação à geometria dos poros, verifica-se que na área demarcada a sua forma é uma elipse, Figura 72 (B) e (D).

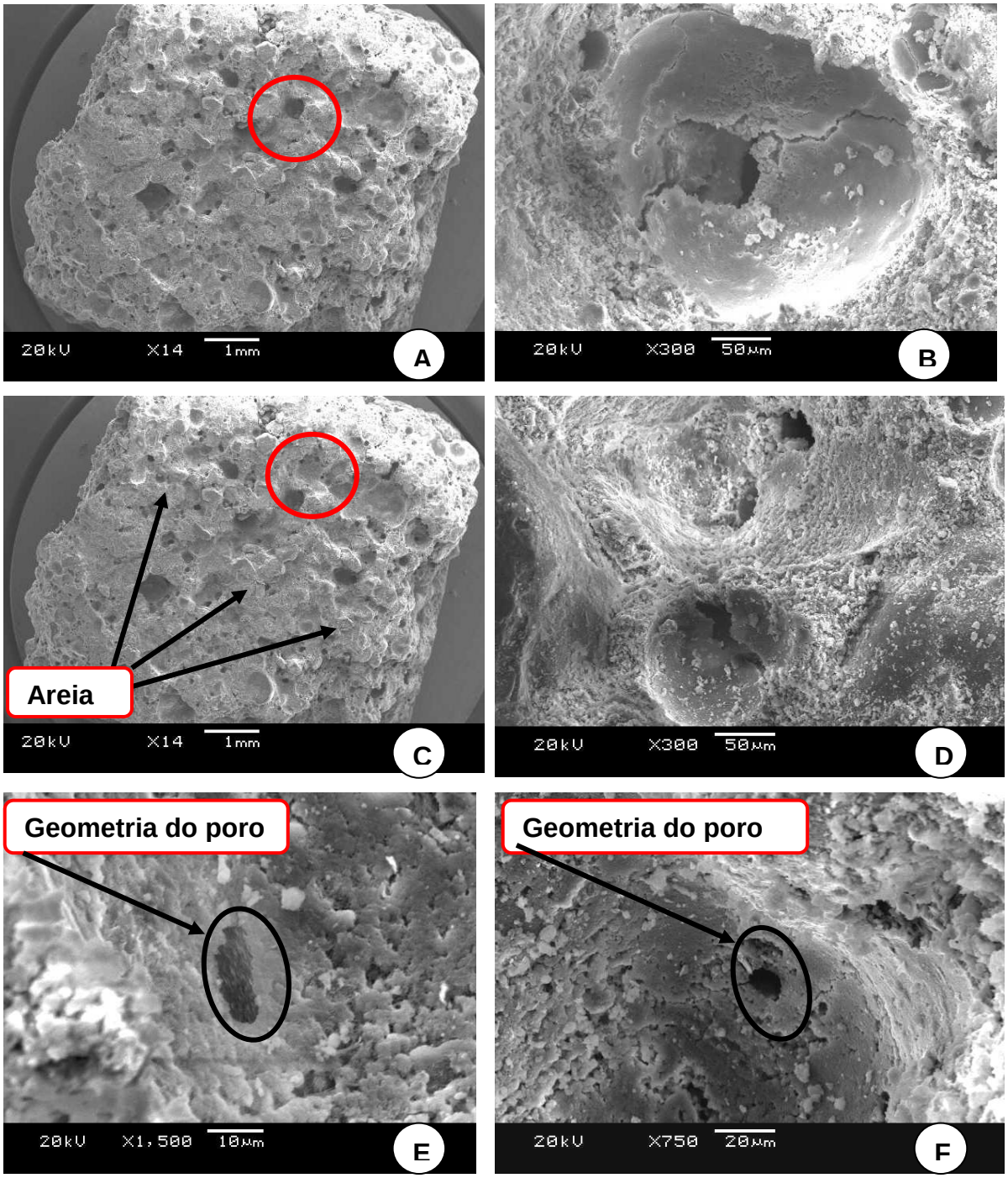

Figura 72 - Imagens da superfície da amostra de argamassa reboco médio

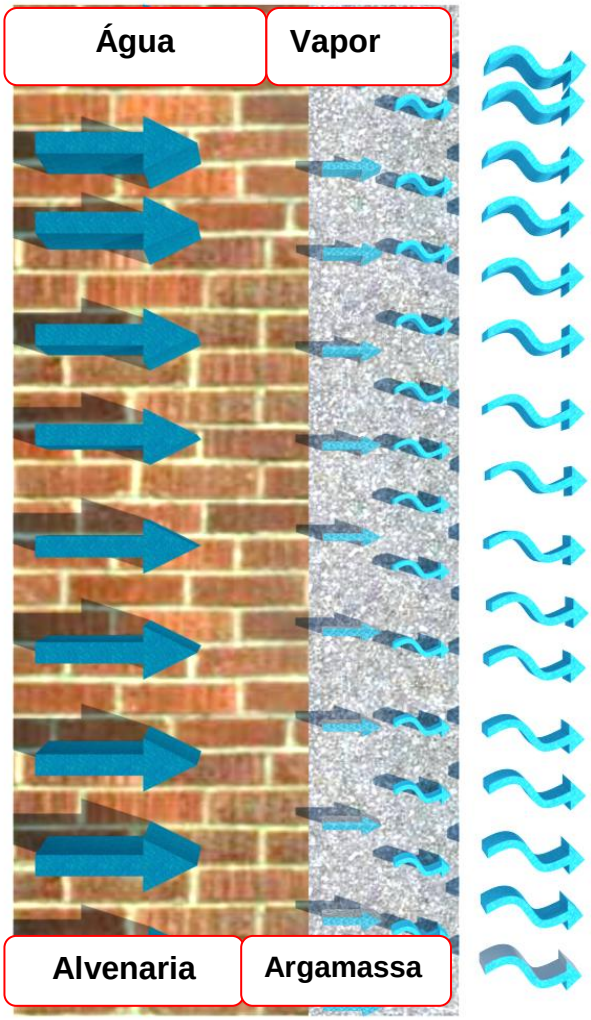

Figura 73 - Esquema do efeito de transferência de vapor de água

4.2.3.3 Argamassa de alta porosidade

Adotando uma ampliação na Figura 74 (A) de 20 vezes para a amostra da argamassa de alta porosidade, observa-se que há uma distribuição de poros abertos em sua superfície. Esses poros apresentam-se na forma de micro e macro poros, conforme visualizado na Figura 74 (B). Essa argamassa possui uma característica particular por apresentar uma grande porosidade. Esta composição é feita propositalmente para que haja uma troca de vapores de um substrato, assim percorrendo o interior da argamassa até encontrar uma rede de poros com diâmetros maiores e ter condições de extrapolar para o ambiente exterior como visualizado na Figura 73 (esquema de fluxo). Para que haja a transmissão contínua de vapor do interior para o exterior da argamassa, os poros capilares devem ser interligados. Fenômeno esse, visível na Figura 74 (D) e (F), onde há uma

ramificação de um micro poro fazendo a conexão entre os elementos. Na imagem da Figura 74 (F) observa-se a existência de outros poros menores na superfície entre o agregado e a pasta de cimento, assim como trincas em torno desses poros conectando-os e criando uma rede de capilares. As trincas visualizadas são provavelmente por retração na secagem entre a zona de transição do agregado com a pasta de cimento.

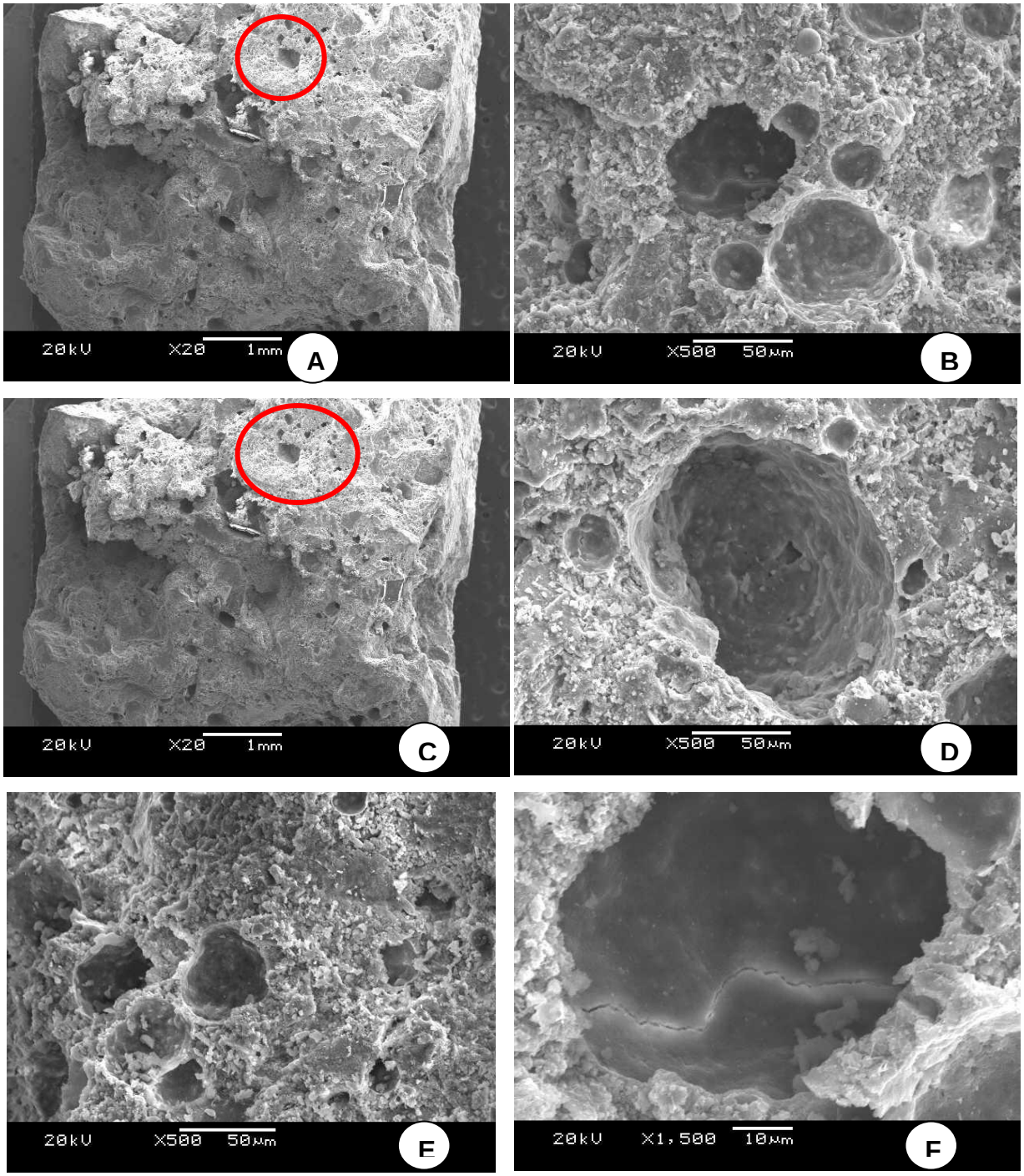

Figura 74 - Imagens da superfície da amostra de argamassa de alta porosidade

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As diversas análises de resultados obtidos neste estudo estão desenvolvidas nos capítulos 3 e 4 que permitiram formular um conjunto de conclusões relativas a cada tipo de sistema de revestimento argamassado estudado. Foram estabelecidas tendências gerais e identificadas algumas discrepâncias nos resultados, justificadas no âmbito de uma abordagem mais detalhada.

Partindo dos objetivos, apresentam-se o conjunto de conclusões gerais que permitem a compreensão global do estudo de desempenho dos sistemas de revestimentos argamassados. Para melhor entendimento, as conclusões foram subdividas nos seguintes itens: ensaio de aderência à tração nos sistemas de revestimentos argamassados, ensaio de absorção de água no estado líquido, ensaio de permeabilidade ao vapor de água, análise por microscopia eletrônica de varredura.

4.1 Ensaio de aderência à tração nos sistemas de revestimentos argamassados

Os procedimentos de laboratório utilizados para determinar parâmetros e avaliar o desempenho dos sistemas de revestimento argamassado, através da resistência de aderência, foram eficientes e adequados aos objetivos do trabalho.

Os resultados de resistência de aderência à tração nos sistemas de revestimento argamassado apresentaram uma discrepância de valores e, por consequência, houve um alto coeficiente de variação. Os coeficientes de variação ficaram entre 13% a 30% para os sistemas sem o preparo do substrato e na ordem de 26% a 50% para os preparados com chapisco. Isso demonstra que em uma pequena área de parede ensaiada pode ocorrer uma grande dispersão de valores.

O uso da camada de chapisco mostrou-se favorável à resistência de aderência, demonstrando que, o desempenho das argamassas foram maximizadas quando foi utilizado o preparado do substrato.

Os sistemas de revestimento argamassado com melhor desempenho foram os conjuntos em que o substrato foi preparado com chapisco combinado com as argamassas industrializadas. Nota-se que esses sistemas obtiveram sempre índices maiores que os recomendados pela (NBR 13528,2010).

O desempenho da argamassa tradicional foi inferior às demais estudadas, notando que, o comportamento da argamassa provavelmente pode estar ligado à dosagem de materiais visto que as argamassas industrializadas possuem um controle rigoroso de dosagem de componentes.

Nos conjuntos em que se utilizaram os blocos de vedação ranhurados como substrato os níveis de resistência de aderência foram maiores do que os com blocos de vedação lisos e blocos cerâmicos estruturais.

4.2 Ensaio de absorção de água no estado líquido

Para os resultados de absorção de água no estado líquido pelo método do cachimbo, verificou-se que para cada tipo de argamassa houve um nível de permeabilidade diferente. A argamassa do tipo tradicional (cimento, cal e areia) apresentou um índice de permeabilidade elevado, atingindo o limite máximo de 4 ml antes do final do ensaio. Já as argamassas industrializadas reboco médio e projeção demonstraram ser mais estanques com valores médios na faixa de 1 ml de água absorvida.

Embora este método de ensaio seja largamente empregado para a verificação permeabilidade nos sistemas de revestimento argamassado, o mesmo não se mostra capaz de identificar aspectos importantes no desempenho de diferentes tipos de substratos. Isso demonstra que a pressão de água exercida pela coluna d’água não é capaz de alcançar camadas mais profundas do sistema de revestimento.

4.3 Ensaio de permeabilidade ao vapor d’água

O ensaio de permeabilidade ao vapor utilizando o copo teste de 100 mm mostrou-se eficaz para os tipos de argamassas e os intervalors de tempo estudados. No que diz repeito ao desempenho da permeabilidade ao vapor de água, foi possível concluir que, existe diferença de fluxo de vapor entre as argamassas e os sistemas de revestimento argamassado. Observou-se que as argamassas do tipo reboco médio e estabilizada apresentaram índices maiores de permeabilidade ao vapor comparadas com a argamassa de alta porosidade. Torna-se importante saliente o baixa transmissão de vapor da cerâmica, onde os resultados comprovam a barreira com que este elemento produz dentro do sistema de revestimento argamassado.Já

com relação aos sistemas de revestimentos verificou-se que o conjunto formado pela cerâmica mais a argamassa de alta porosidade houve uma transmissão de vapor acentuada.

Por fim, avaliou-se por meio de inspeção visual o aparecimento de eflorescências à superfície das amostras constatando-se o aparecimento de manchas. Notou-se a presença destas manchas e depósitos de sais em quase todas as amostras cerâmicas. Já nas argamassas a grande maioria apresentou somente manchas devido ao fluxo contínuo de vapor de água.

4.4 Microscopia eletrônica de varredura - MEV

As análises realizadas no ensaio de microscopia eletrônica de varredura mostram que, cada tipo de argamassa apresenta uma rede de poros capilares diferente. A argamassa do tipo alta porosidade possui uma conexão de micro e macro poros. Observou-se na amostra da argamassa estabilizada uma concentração de bolhas de ar, oriundo do aditivo incorporador de ar, e, também a falta de ligação entre os poros capilares.

Para níveis de ampliações de até 4000x, verificaram-se a presença de cristais de etringita na amostra de argamassa estabilizada. Também, pode-se notar a diferença de geometria dos poros capilares para essa faixa de magnitude. Isso pode estar vinculado à composição das argamassas. Verificou-se ainda a existência de fissuras de retração na interface pasta agregado.

4.5 Recomendações para trabalhos futuros

A seguir são listadas as principais recomendações para os trabalhos futuros com objetivo de complementar a compreensão dos mecanismos de transmissão de vapor de água em sistemas de revestimentos argamassados:

- Análise de permeabilidade ao vapor de água em sistemas de revestimentos argamassados utilizando a solução salina nitrato de potássio verificando a influência deste na transmissão de vapor;
- Verificação de gesso mineral como elemento componente do revestimento argamassado frente à permeabilidade ao vapor;

- Estudos posteriores devem ser realizado a fim de verificar o volume e diâmetro médio dos poros por meio do ensaio de intrusão de mercúrio, pois poderão contribuir na compreensão da rede capilar de poros das argamassas;
- Estudos da influência da geometria dos poros na permeabilidade dos sistemas de revestimentos argamassados.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Associação Brasileira de Cimento Portland. BT 106: **guia básico de utilização do cimento Portland**. São Paulo: ABCP, 2002.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 6023**: informação e documentação-Elaboração. Rio de Janeiro: ABNT, 2002.

_____.**NBR NM 52**: Agregado miúdo – Determinação da massa específica e massa aparente. Rio de Janeiro:ABNT,2009.

_____.**NBR NM 248**: Agregados – Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro:ABNT,2003.

_____. **NBR 7200**: execução de revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas-Procedimentos. Rio de Janeiro: ABNT, 1998.

_____.**NBR 7211**: agregados para concreto - Especificação. Rio de Janeiro: ABNT, 1983.

_____.**NBR 7175**: cal hidratada para argamassas. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

_____. **NBR 13281**: argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos -Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2001.

_____. **NBR 13528**: revestimento de parede e tetos de argamassas inorgânica – Determinação da resistência de aderência à tração. Rio de Janeiro: ABNT, 2010.

_____. **NBR 13529**: revestimentos de paredes e tetos de argamassas inorgânicas. Rio de Janeiro: ABNT, 1995.

_____. **NBR 13749**: revestimentos de paredes e tetos de argamassas inorgânicas. Especificações. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

_____. **NBR 13277**: argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da retenção de água. Especificações. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

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

ANGELIM, R.R.; ANGELIM, S.C.M. e CARASEK, H. Influência da distribuição granulométrica da areia no comportamento dos revestimentos de argamassa. In: Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas, V Anais, São Paulo, 2003.

BAÍA, L. L.R. SABBATINI,F. H. **Projeto e Execução de Revestimento de Argamassa**,4ed ,2000 ,13p.

BASTOS, Pedro K. X. **Retração e desenvolvimento de propriedades mecânicas de argamassas mistas de revestimento.** 2001. Tese (Doutorado). Departamento de Engenharia Civil. Universidade de São Paulo.

BAUER, L.A. Falcão. **Materiais de Construção**. 5ª Ed. Rio de Janeiro: LTC, 2000.

FIORITO, Antônio J. S. I. **Manual de Argamassas e Revestimentos**. 1ª Ed. São Paulo, PINI, 2003.

CARASEK, Helena. **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais**,1ºed ,2007 ,870p.

CARASEK, Helena; COSTA, E. B. C. **Influência dos parâmetros de ensaio na determinação da resistência de aderência de revestimento de argamassa**. Revista Ambiente Construído v.9, n 4 (2009).

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

CHAVES, A.M.V.Ana – **Patologia e Reabilitação de Revestimentos de Fachadas**. Dissertação (mestrado),2009 - Escola de Engenharia Civil- Universidade do Minho.

CINCOTTO, M. A.; CARNEIRO, A. M. P. **Estudo da influência da distribuição granulométrica nas propriedades de argamassas dosadas por curva granulométrica**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, III., 1999, Vitória. **Anais**. Vitória: ANTAC, 1999.

CNUDDE, V. *et al*. **Porosity and microstructure characterization of building stones and concretes.** Engineering Geology, vol 103, pp. 76-83, 2009.

CORRÊA, G.S. (1999). **Avaliação Técnico-Científica do Emprego de Adesivos Poliméricos de Base Látex Associoados a Sistemas de Revestimento em Argamassa**. Relatório Técnico Individual. Laboratório de Ensaio de Materiais, Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, DF.

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

DIAMOND, S. **The microstructure of cement paste in concrete**. In: International Congress on the Chemistry of Cement, 8th, Rio de Janeiro, 1986**.** Proceedings. Rio de Janeiro, 1986, v. 1, p. 122-147.

DONDI, M. *et al*. **Water vapour permeability of clay bricks.** Construction and Building Materials, vol 17, pp. 253-258, 2003.

European Standard EN, 1015-19:2000. Métodos de ensaio de argamassas para alvenaria - Parte 19: Determinação da permeabilidade ao vapor de água de argamassas de reboco endurecidas. IPQ. Setembro de 1998.

FARIA, F. D. Joana.**Desenvolvimento de argamassas para a reabilitação de edifícios antigos**. Parte 2- Comportamento à água. Revista Uminho – 2011.

FARIA, F. D. Joana.**Desenvolvimento de argamassas para a reabilitação de edifícios antigos**. Parte 1- Trabalhabilidade e comportamento mecânico. Revista Uminho – 2011.

FERNANDES, Celso P. **Estudo dos processos de condensação e migração de umidade em meios porosos consoludados: análise experimental de uma argamassa de cal e cimento**. Dissertação (Pós-graduação em Engenharia Mecânica), 1990. Universidade Federal de Santa Catarina.

FREITAS, Vasco P.; TORRES, Maria I. ;GUIMARÃES, Ana S.. **Humidade Ascencional**. 1ª Ed. Porto, FEUP, 2008.

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

HERVE, E; CARE, S.; SEGUIN, J.P. **Influence of the porosity gradient in cement paste matrix on the mechanical behavior of mortar.** Cement and Concrete Research, vol 40, pp. 1060-1071, 2010.

JOHN, V. M. **Repensando o papel da cal hidratada nas argamassas**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, V., 2003, São Paulo. **Anais**. São Paulo: ANTAC, 2003.

HATTGE, Alex F. **Estudo comparativo sobre a permeabilidade das alvenarias em blocos cerâmicos e alvenarias em blocos de concreto.** Porto Alegre, 2004. Dissertação (mestrado) - Escola de Engenharia Civil- Univeridade Federal do Rio Grande do Sul.

JUNIOR, J.M.A. **Contribuição ao estudo das propriedades físico-mecânicas das argamassas de revestimento**. Brasília, 2004. Dissertação (mestrado) - Escola de Engenharia Civil- Universidade de Brasília.

LEAL, Antonio.B.C. **Argamassas tradicionais de revestimento de paredes: fendilhação e sua reparação.** Porto, 2009. Dissertação (mestrado) - Departamento de Engenharia Civil- Instituto Superior de Engenharia de Lisboa.

MAGALHÃES, A. Cristian – **Patologia de rebocos antigos.** LNEC, Cadernos de Edifícios, nº 2, Outubro de 2002.

MENDES, Nathan. **Modelos para previsão de transferência de calor e de umidade em elementos porosos de edificações**. 1997, 225 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica). Departamento de Engenharia Mecânica. Universidade Federal de Santa Catarina.

METHA, P. K; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: Microestrutura, propriedades e materiais**. Ed. Ibracon. São Paulo, 2008.

MOHAMAD,G. **Mecanismo de ruptura da alvaneria de blocos à compressão.** Guimarães,2007. Tese (Doutorado). Escola de Engenharia. Universidade do Minho.

NETO, Moacyr S. **Estudo do mecanismo de formação de florescências em revestimentos de argamassa aplicados a substrato cerâmico e o efeito de barreira.** 2010, 225 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Departamento de Engenharia Civil. Universidade de Brasília.

NETO, Antonio; DJANIKIAN, João**. Aspectos de desempenho da argamassa dosada em central.** São Paulo,1999. (Série Texto Técnico, BT/PCC/235).

PENAS, Filipa.E. **Argamassa de Cal Hidráulica para Revestimento de Paredes**. Porto, 2008. Dissertação (mestrado) – Instituto Superior Técnico- Universidade Técnica de Lisboa.

RATO, Vasco N. P.M. **Influência da miscroestrutura morfológica no comportamento de argamassas.** 2006. Tese (Doutorado). Departamento de Engenharia Civil. Universidade de Lisboa.

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

SCARTEZINI, Luís M. *et al*. **Influência do preparo da base na aderência e na permeabilidade à água dos revestimentos de argamassa**. Revista Ambiente Construído v.2, n 4 , p. 85-92 (2002).

SANTOS, Flora Isabel Grando. **Avaliação de propriedades higrotérmicas das argamassas: estudo de caso com as cinzas pesadas**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), 2006.

SILVA, Jorge Miguel Barreiro. **Estudo da durabilidade do revestimento de paredes exteriores**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), 2013.

SILVA, M. A. ; BRITO, J.; VEIGA, R. **Incorporation of fine plastic aggregates in redering mortars.** Construction and Building Materials, vol 71, pp. 226-236, 2014.

PETRUCCI, E. G. R. Materiais de Construção, 12ed ,2007 ,351p.

VEIGA, M. Rosario. **Comportamento de argamassas de revestimento de paredes. Contribuição para o estudo da sua resistência à fendilhação**. Lisboa, LNEC, Maio de 1997. Tese de doutorado pela Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

VEIGA, M. Rosario; CARVALHO, Fernanda; AGUIAR, Jose. **Conservação e renovação de revestimentos de paredes de edifícios antigos**. Lisboa: LNEC, 2005. Coleção Edifícios n.o9, Serie Conservação e Reabilitação.

ANEXOS

Anexo A – Resultados de permeabilidade no estado líquido pelo método do cachimbo

Quadro 4 - P1 - Blocos Cerâmicos Estruturais - Argamassa Tradicional (sem chapisco)

Tempo(min.)	Coluna de água	Tempo (min.)	Coluna d'água Ponto 1 (ml)	Coluna d'água Ponto 2 (ml)	Coluna d'água Média (ml)	Inicial 4 ml
0	0	**0**	0,00	0,00	0,00	4,00
1	0,3	**1**	0,24	0,35	0,30	3,71
2	0,4	**2**	0,30	0,50	0,40	3,60
3	0,45	**3**	0,37	0,52	0,45	3,56
4	0,55	**4**	0,50	0,60	0,55	3,45
5	0,68	**5**	0,58	0,78	0,68	3,32
6	0,75	**6**	0,64	0,85	0,75	3,26
7	0,9	**7**	0,80	1,00	0,90	3,10
8	0,95	**8**	0,85	1,05	0,95	3,05
9	1,1	**9**	0,95	1,24	1,10	2,91
10	1,18	**10**	1,00	1,35	1,18	2,83
11	1,25	**11**	1,10	1,40	1,25	2,75
12	1,28	**12**	1,13	1,43	1,28	2,72
13	1,35	**13**	1,20	1,49	1,35	2,66
14	1,48	**14**	1,34	1,61	1,48	2,53
15	1,55	**15**	1,46	1,65	1,56	2,45

Quadro 5 - P2 - Blocos de Vedação Lisos - Argamassa Tradicional (sem chapisco)

Tempo(min.)	Coluna de água	Tempo (min.)	Coluna d'água Ponto 1 (ml)	Coluna d'água Ponto 2 (ml)	Coluna d'água Média (ml)	Inicial 4 ml
0	0	**0**	0,00	0,00	0,00	4,00
1	0,5	**1**	0,40	0,60	0,50	3,50
2	1	**2**	0,80	1,20	1,00	3,00
3	1,4	**3**	1,20	1,60	1,40	2,60
4	1,9	**4**	1,70	2,10	1,90	2,10
5	2,5	**5**	2,00	3,00	2,50	1,50
6	2,9	**6**	2,70	3,10	2,90	1,10
7	3,1	**7**	2,80	3,40	3,10	0,90
8	3,5	**8**	3,40	3,60	3,50	0,50
9	3,8	**9**	3,80	3,80	3,80	0,20
10	4	**10**	4,00	4,00	4,00	0,00
11		**11**	-	-	-	-
12		**12**	-	-	-	-
13		**13**	-	-	-	-
14		**14**	-	-	-	-
15		**15**	-	-	-	-

Quadro 6 - P3 - Blocos de Vedação Nervurados - Argamassa Tradicional (sem chapisco)

Tempo(min.)	Coluna de água	Tempo (min.)	Coluna d'água Ponto 1 (ml)	Coluna d'água Ponto 2 (ml)	Coluna d'água Média (ml)	Inicial 4 ml
0	0	**0**	0,00	0,00	0,00	4,00
1	0,4	**1**	0,40	0,40	0,40	3,60
2	0,7	**2**	0,60	0,80	0,70	3,30
3	1	**3**	0,90	1,10	1,00	3,00
4	1,3	**4**	1,10	1,50	1,30	2,70
5	1,5	**5**	1,35	1,65	1,50	2,50
6	1,8	**6**	1,70	1,90	1,80	2,20
7	2	**7**	1,89	2,11	2,00	2,00
8	2,3	**8**	2,17	2,43	2,30	1,70
9	2,5	**9**	2,43	2,56	2,50	1,51
10	2,7	**10**	2,58	2,82	2,70	1,30
11	2,9	**11**	2,80	3,00	2,90	1,10
12	3,1	**12**	2,88	3,32	3,10	0,90
13	3,2	**13**	3,00	3,40	3,20	0,80
14	3,3	**14**	3,10	3,50	3,30	0,70
15	3,5	**15**	3,30	3,70	3,50	0,50

Quadro 7 - P1 - Blocos Cerâmicos Estruturais - Reboco Médio (sem chapisco)

Tempo(min.)	Coluna de água	Tempo (min.)	Coluna d'água Ponto 1 (ml)	Coluna d'água Ponto 2 (ml)	Coluna d'água Média (ml)	Inicial 4 ml
0	0	**0**	0,00	0,00	0,00	4,00
1	0,1	**1**	0,10	0,10	0,10	3,90
2	0,2	**2**	0,15	0,25	0,20	3,80
3	0,25	**3**	0,20	0,30	0,25	3,75
4	0,3	**4**	0,25	0,35	0,30	3,70
5	0,35	**5**	0,30	0,40	0,35	3,65
6	0,4	**6**	0,35	0,45	0,40	3,60
7	0,45	**7**	0,38	0,52	0,45	3,55
8	0,5	**8**	0,44	0,56	0,50	3,50
9	0,55	**9**	0,50	0,60	0,55	3,45
10	0,6	**10**	0,52	0,66	0,59	3,41
11	0,61	**11**	0,54	0,67	0,61	3,40
12	0,65	**12**	0,60	0,70	0,65	3,35
13	0,7	**13**	0,67	0,73	0,70	3,30
14	0,7	**14**	0,70	0,70	0,70	3,30
15	0,75	**15**	0,72	0,77	0,75	3,26

Quadro 8 - P2 - Blocos de Vedação Lisos - Reboco Médio (sem chapisco)

Tempo(min.)	Coluna de água	Tempo (min.)	Coluna d'água Ponto 1 (ml)	Coluna d'água Ponto 2 (ml)	Coluna d'água Média (ml)	Inicial 4 ml
0	0	**0**	0,00	0,00	0,00	4,00
1	0,1	**1**	0,10	0,10	0,10	3,90
2	0,2	**2**	0,15	0,25	0,20	3,80
3	0,25	**3**	0,20	0,30	0,25	3,75
4	0,3	**4**	0,25	0,35	0,30	3,70
5	0,35	**5**	0,30	0,40	0,35	3,65
6	0,4	**6**	0,35	0,45	0,40	3,60
7	0,45	**7**	0,38	0,52	0,45	3,55
8	0,5	**8**	0,45	0,55	0,50	3,50
9	0,5	**9**	0,47	0,53	0,50	3,50
10	0,55	**10**	0,50	0,60	0,55	3,45
11	0,6	**11**	0,55	0,65	0,60	3,40
12	0,62	**12**	0,57	0,66	0,62	3,39
13	0,65	**13**	0,60	0,70	0,65	3,35
14	0,68	**14**	0,62	0,74	0,68	3,32
15	0,7	**15**	0,65	0,75	0,70	3,30

Quadro 9 - P3 - Blocos de Vedação Nervurados - Reboco Médio (sem chapisco)

Tempo(min.)	Coluna de água	Tempo (min.)	Coluna d'água Ponto 1 (ml)	Coluna d'água Ponto 2 (ml)	Coluna d'água Média (ml)	Inicial 4 ml
0	0	**0**	0	0	0	4
1	0,1	**1**	0,1	0,1	0,1	3,9
2	0,2	**2**	0,2	0,2	0,2	3,8
3	0,22	**3**	0,21	0,23	0,22	3,78
4	0,25	**4**	0,24	0,26	0,25	3,75
5	0,28	**5**	0,25	0,31	0,28	3,72
6	0,3	**6**	0,27	0,33	0,3	3,7
7	0,33	**7**	0,3	0,36	0,33	3,67
8	0,35	**8**	0,33	0,37	0,35	3,65
9	0,37	**9**	0,35	0,39	0,37	3,63
10	0,38	**10**	0,36	0,4	0,38	3,62
11	0,4	**11**	0,38	0,42	0,4	3,6
12	0,4	**12**	0,38	0,42	0,4	3,6
13	0,4	**13**	0,38	0,42	0,4	3,6
14	0,41	**14**	0,38	0,42	0,4	3,6
15	0,42	**15**	0,4	0,44	0,42	3,58

Quadro 10 - P1 - Blocos Cerâmicos Estruturais - Argamassa Projeção (sem chapisco)

Tempo(min.)	Coluna de água	Tempo (min.)	Coluna d'água Ponto 1 (ml)	Coluna d'água Ponto 2 (ml)	Coluna d'água Média (ml)	Inicial 4 ml
0	0	**0**	0,00	0,00	0,00	4,00
1	0,25	**1**	0,20	0,30	0,25	3,75
2	0,4	**2**	0,35	0,45	0,40	3,60
3	0,5	**3**	0,40	0,60	0,50	3,50
4	0,65	**4**	0,55	0,75	0,65	3,35
5	0,75	**5**	0,65	0,85	0,75	3,25
6	0,8	**6**	0,70	0,90	0,80	3,20
7	0,9	**7**	0,85	0,95	0,90	3,10
8	1	**8**	0,90	1,10	1,00	3,00
9	1,05	**9**	0,95	1,15	1,05	2,95
10	1,1	**10**	1,00	1,20	1,10	2,90
11	1,2	**11**	1,10	1,30	1,20	2,80
12	1,25	**12**	1,20	1,30	1,25	2,75
13	1,3	**13**	1,25	1,35	1,30	2,70
14	1,4	**14**	1,30	1,50	1,40	2,60
15	1,41	**15**	1,31	1,51	1,41	2,59

Quadro 11 - P2 - Blocos de Vedação Lisos - Argamassa Projeção (sem chapisco)

Tempo(min.)	Coluna de água	Tempo (min.)	Coluna d'água Ponto 1 (ml)	Coluna d'água Ponto 2 (ml)	Coluna d'água Média (ml)	Inicial 4 ml
0	0	**0**	0,00	0,00	0,00	4,00
1	0,3	**1**	0,20	0,40	0,30	3,70
2	0,5	**2**	0,35	0,55	0,45	3,55
3	0,6	**3**	0,45	0,75	0,60	3,40
4	0,8	**4**	0,70	0,90	0,80	3,20
5	0,9	**5**	0,80	1,00	0,90	3,10
6	1	**6**	0,90	1,10	1,00	3,00
7	1,1	**7**	1,00	1,20	1,10	2,90
8	1,2	**8**	1,15	1,25	1,20	2,80
9	1,3	**9**	1,25	1,35	1,30	2,70
10	1,4	**10**	1,30	1,50	1,40	2,60
11	1,5	**11**	1,43	1,57	1,50	2,50
12	1,58	**12**	1,52	1,63	1,58	2,43
13	1,6	**13**	1,55	1,65	1,60	2,40
14	1,7	**14**	1,65	1,75	1,70	2,30
15	1,75	**15**	1,70	1,80	1,75	2,25

Quadro 12 - P3 - Blocos de Vedação Nervurados - Argamassa Projeção (sem chapisco)

Tempo(min.)	Coluna de água	Tempo (min.)	Coluna d'água Ponto 1 (ml)	Coluna d'água Ponto 2 (ml)	Coluna d'água Média (ml)	Inicial 4 ml
0	0	**0**	0,00	0,00	0,00	4,00
1	0,3	**1**	0,25	0,35	0,30	3,70
2	0,45	**2**	0,41	0,48	0,45	3,56
3	0,6	**3**	0,52	0,68	0,60	3,40
4	0,7	**4**	0,64	0,76	0,70	3,30
5	0,8	**5**	0,75	0,85	0,80	3,20
6	0,9	**6**	0,85	0,95	0,90	3,10
7	1	**7**	0,91	1,09	1,00	3,00
8	1,1	**8**	0,98	1,22	1,10	2,90
9	1,15	**9**	1,00	1,25	1,13	2,88
10	1,2	**10**	1,10	1,30	1,20	2,80
11	1,3	**11**	1,21	1,39	1,30	2,70
12	1,4	**12**	1,33	1,46	1,40	2,61
13	1,5	**13**	1,45	1,55	1,50	2,50
14	1,55	**14**	1,50	1,60	1,55	2,45
15	1,6	**15**	1,55	1,65	1,60	2,40

Quadro 13 - P1 - Blocos Cerâmicos Estruturais - Argamassa Tradicional (com chapisco)

Tempo(min.)	Coluna de água	Tempo (min.)	Coluna d'água Ponto 1 (ml)	Coluna d'água Ponto 2 (ml)	Coluna d'água Média (ml)	Inicial 4 ml
0	0	**0**	0	0	0	4,00
1	0,25	**1**	0,24	0,25	0,25	3,76
2	0,35	**2**	0,34	0,35	0,35	3,66
3	0,48	**3**	0,47	0,48	0,48	3,53
4	0,52	**4**	0,50	0,53	0,52	3,49
5	0,55	**5**	0,52	0,57	0,55	3,46
6	0,60	**6**	0,61	0,58	0,60	3,41
7	0,65	**7**	0,63	0,67	0,65	3,35
8	0,68	**8**	0,66	0,69	0,68	3,33
9	0,75	**9**	0,72	0,77	0,75	3,26
10	0,8	**10**	0,79	0,8	0,80	3,21
11	0,85	**11**	0,83	0,86	0,85	3,16
12	0,88	**12**	0,85	0,89	0,87	3,13
13	0,95	**13**	0,93	0,96	0,95	3,06
14	1,15	**14**	1,15	1,15	1,15	2,85
15	1,35	**15**	1,3	1,38	1,34	2,66

Quadro 14 - P2 - Blocos de Vedação Lisos - Argamassa Tradicional (com chapisco)

Tempo(min.)	Coluna de água	Tempo (min.)	Coluna d'água Ponto 1 (ml)	Coluna d'água Ponto 2 (ml)	Coluna d'água Média (ml)	Inicial 4 ml
0	0	0	0	0,0	0	4
1	0,6	1	0,4	0,8	0,6	3,4
2	1,1	2	0,9	1,3	1,1	2,9
3	1,6	3	1,4	1,8	1,6	2,4
4	2,1	4	1,9	2,3	2,1	1,9
5	2,4	5	2,2	2,6	2,4	1,6
6	2,8	6	2,6	3,0	2,8	1,2
7	3,2	7	3	3,4	3,2	0,8
8	3,5	8	3,2	3,7	3,45	0,55
9	3,7	9	3,5	3,9	3,7	0,3
10	3,9	10	3,8	4,0	3,9	0,1
11	4	11	4	4,0	4	0
12		12	-	-	-	-
13		13	-	-	-	-
14		14	-	-	-	-
15		15	-	-	-	-

Quadro 15 - P3 - Blocos de Vedação Nervurados - Argamassa Tradicional (com chapisco)

Tempo(min.)	Coluna de água	Tempo (min.)	Coluna d'água Ponto 1 (ml)	Coluna d'água Ponto 2 (ml)	Coluna d'água Média (ml)	Inicial 4 ml
0	0,00	0	0,00	0,00	0,00	4
1	0,38	1	0,30	0,46	0,38	3,62
2	0,65	2	0,60	0,70	0,65	3,35
3	0,92	3	0,90	0,94	0,92	3,08
4	1,10	4	1,00	1,20	1,10	2,9
5	1,35	5	1,20	1,50	1,35	2,65
6	1,50	6	1,40	1,60	1,50	2,5
7	1,75	7	1,60	1,90	1,75	2,25
8	2,10	8	1,90	2,30	2,10	1,9
9	2,54	9	2,20	2,88	2,54	1,46
10	2,65	10	2,40	2,90	2,65	1,35
11	2,75	11	2,60	2,90	2,75	1,25
12	2,80	12	2,65	2,95	2,80	1,2
13	2,88	13	2,76	3,00	2,88	1,12
14	2,95	14	2,80	3,10	2,95	1,05
15	3,10	15	3,00	3,20	3,10	0,9

Quadro 16 - P1 - Blocos Cerâmicos Estruturais - Reboco Médio (com chapisco)

Tempo(min.)	Coluna de água	Tempo (min.)	Coluna d'água Ponto 1 (ml)	Coluna d'água Ponto 2 (ml)	Coluna d'água Média (ml)	Inicial 4 ml
0	0	0	0,00	0	0,00	4,00
1	0,15	1	0,14	0,16	0,15	3,85
2	0,2	2	0,18	0,22	0,20	3,80
3	0,25	3	0,23	0,27	0,25	3,75
4	0,3	4	0,28	0,32	0,30	3,70
5	0,32	5	0,30	0,34	0,32	3,68
6	0,34	6	0,32	0,36	0,34	3,66
7	0,35	7	0,34	0,36	0,35	3,65
8	0,4	8	0,41	0,39	0,40	3,60
9	0,45	9	0,46	0,44	0,45	3,55
10	0,47	10	0,49	0,45	0,47	3,53
11	0,49	11	0,51	0,47	0,49	3,51
12	0,5	12	0,52	0,47	0,50	3,51
13	0,5	13	0,52	0,47	0,50	3,51
14	0,5	14	0,52	0,47	0,50	3,51
15	0,5	15	0,52	0,47	0,50	3,51

Quadro 17 - P2 - Blocos de Vedação Lisos - Reboco Médio (com chapisco)

Tempo(min.)	Coluna de água	Tempo (min.)	Coluna d'água Ponto 1 (ml)	Coluna d'água Ponto 2 (ml)	Coluna d'água Média (ml)	Inicial 4 ml
0	0	0	0	0	0	4
1	0,1	1	0,1	0,1	0,1	3,9
2	0,15	2	0,12	0,18	0,15	3,85
3	0,2	3	0,15	0,25	0,2	3,8
4	0,24	4	0,22	0,26	0,24	3,76
5	0,3	5	0,28	0,32	0,3	3,7
6	0,34	6	0,32	0,36	0,34	3,66
7	0,4	7	0,35	0,45	0,4	3,6
8	0,42	8	0,38	0,46	0,42	3,58
9	0,47	9	0,43	0,51	0,47	3,53
10	0,5	10	0,48	0,54	0,51	3,49
11	0,54	11	0,5	0,58	0,54	3,46
12	0,57	12	0,54	0,6	0,57	3,43
13	0,6	13	0,58	0,62	0,6	3,4
14	0,61	14	0,6	0,62	0,61	3,39
15	0,62	15	0,6	0,64	0,62	3,38

Quadro 18 - P3 - Blocos de Vedação Nervurados - Reboco Médio (com chapisco)

Tempo(min.)	Coluna de água	Tempo (min.)	Coluna d'água Ponto 1 (ml)	Coluna d'água Ponto 2 (ml)	Coluna d'água Média (ml)	Inicial 4 ml
0	0	0	0	0	0	4
1	0,1	1	0,1	0,1	0,1	3,9
2	0,2	2	0,15	0,25	0,2	3,8
3	0,22	3	0,2	0,24	0,22	3,78
4	0,25	4	0,22	0,28	0,25	3,75
5	0,28	5	0,25	0,31	0,28	3,72
6	0,3	6	0,28	0,32	0,3	3,7
7	0,33	7	0,3	0,36	0,33	3,67
8	0,35	8	0,32	0,38	0,35	3,65
9	0,37	9	0,35	0,39	0,37	3,63
10	0,38	10	0,36	0,4	0,38	3,62
11	0,4	11	0,38	0,42	0,4	3,6
12	0,41	12	0,4	0,42	0,41	3,59
13	0,41	13	0,4	0,42	0,41	3,59
14	0,41	14	0,4	0,42	0,41	3,59
15	0,42	15	0,42	0,42	0,42	3,58

Quadro 19 -P1 - Blocos Cerâmicos Estruturais - Argamassa Projeção (com chapisco)

Tempo(min.)	Coluna de água	Tempo (min.)	Coluna d'água Ponto 1 (ml)	Coluna d'água Ponto 2 (ml)	Coluna d'água Média (ml)	Inicial 4 ml
0	0	0	0	0	0	4
1	0,2	1	0,15	0,25	0,2	3,8
2	0,3	2	0,25	0,35	0,3	3,7
3	0,45	3	0,4	0,5	0,45	3,55
4	0,5	4	0,45	0,55	0,5	3,5
5	0,6	5	0,55	0,65	0,6	3,4
6	0,65	6	0,6	0,7	0,65	3,35
7	0,7	7	0,65	0,75	0,7	3,3
8	0,75	8	0,7	0,8	0,75	3,25
9	0,8	9	0,75	0,85	0,8	3,2
10	0,9	10	0,85	0,95	0,9	3,1
11	1	11	0,9	1,1	1	3
12	1,05	12	0,95	1,15	1,05	2,95
13	1,1	13	1,05	1,15	1,1	2,9
14	1,15	14	1,1	1,2	1,15	2,85
15	1,2	15	1,12	1,28	1,2	2,8

Quadro 20 -P2 - Blocos de Vedação Lisos - Argamassa Projeção (com chapisco)

Tempo(min.)	Coluna de água	Tempo (min.)	Coluna d'água Ponto 1 (ml)	Coluna d'água Ponto 2 (ml)	Coluna d'água Média (ml)	Inicial 4 ml
0	0	0	0	0	0	4
1	0,2	1	0,1	0,3	0,2	3,8
2	0,4	2	0,3	0,5	0,4	3,6
3	0,6	3	0,52	0,68	0,6	3,4
4	0,62	4	0,54	0,7	0,62	3,38
5	0,7	5	0,65	0,75	0,7	3,3
6	0,8	6	0,75	0,85	0,8	3,2
7	0,9	7	0,8	1	0,9	3,1
8	0,98	8	0,9	1,06	0,98	3,02
9	1	9	0,93	1,07	1	3
10	1,1	10	1	1,2	1,1	2,9
11	1,2	11	1,1	1,3	1,2	2,8
12	1,25	12	1,15	1,35	1,25	2,75
13	1,3	13	1,2	1,4	1,3	2,7
14	1,4	14	1,25	1,55	1,4	2,6
15	1,45	15	1,3	1,6	1,45	2,55

Quadro 21 - P3 - Blocos de Vedação Nervurados - Argamassa Projeção (com chapisco)

Tempo(min.)	Coluna de água	Tempo (min.)	Coluna d'água Ponto 1 (ml)	Coluna d'água Ponto 2 (ml)	Coluna d'água Média (ml)	Inicial 4 ml
0	0	0	0,00	0,00	0,00	4,00
1	0,2	1	0,10	0,30	0,20	3,80
2	0,3	2	0,20	0,40	0,30	3,70
3	0,4	3	0,30	0,50	0,40	3,60
4	0,5	4	0,40	0,60	0,50	3,50
5	0,55	5	0,45	0,65	0,55	3,45
6	0,6	6	0,50	0,70	0,60	3,40
7	0,65	7	0,55	0,75	0,65	3,35
8	0,7	8	0,60	0,80	0,70	3,30
9	0,75	9	0,65	0,85	0,75	3,25
10	0,8	10	0,70	0,90	0,80	3,20
11	0,85	11	0,75	0,95	0,85	3,15
12	0,9	12	0,80	1,00	0,90	3,10
13	0,95	13	0,85	1,05	0,95	3,05
14	1	14	0,90	1,00	0,95	3,05
15	1,1	15	1,00	1,20	1,10	2,90

Anexo B – Resultados de aderência à tração

Quadro 22 - Bloco Cerâmico Estrutural - Argamassa Tradicional - Com Chapisco

Tipo	Corpo de Prova	Seção (mm²)	Carga (N)	Resistência de Aderência (MPa)	Forma de Ruptura
Com Chapisco	1	1963,5	421	0,21	**A-CC**
	2	1963,5	394	0,20	**A-CC**
	3	1963,5	453	0,23	**A-CC**
	4	1963,5	351	0,18	**A-CC**
	5	1963,5	461	0,23	**A-CC**
	6	1963,5	386	0,20	**A-CC**
	7	1963,5	98	0,05	**A-CC**

Quadro 23 - Bloco Cerâmico Estrutural - Argamassa Tradicional - Sem Chapisco

Tipo	Corpo de Prova	Seção (mm²)	Carga (N)	Resistência de Aderência (MPa)	Forma de Ruptura
Sem Chapisco	1	-	-	-	**E-SC**
	2	1963,5	188	0,10	**B-SC**
	3	1963,5	249	0,13	**B-SC**
	4	1963,5	170	0,09	**B-SC**
	5	1963,5	154	0,08	**B-SC**
	6	1963,5	221	0,11	**B-SC**
	7	1963,5	88	0,04	**A-SC**

Quadro 24 - Bloco Cerâmico Estrutural - Argamassa Reboco Médio - Com Chapisco

Tipo	Corpo de Prova	Seção (mm²)	Carga (N)	Resistência de Aderência (MPa)	Forma de Ruptura
Com Chapisco	1	1963,5	198	0,10	**A-CC**
	2	1963,5	599	0,31	**A-CC**
	3	1963,5	651	0,33	**A-CC/F-CC**
	4	1963,5	739	0,38	**A-CC/F-CC**
	5	1963,5	615	0,31	**A-CC/F-CC**
	6	1963,5	752	0,38	**A-CC**
	7	-	-	0,00	**E-CC**

Quadro 25 - Bloco Cerâmico Estrutural - Argamassa Reboco Médio - Sem Chapisco

Tipo	Corpo de Prova	Seção (mm²)	Carga (N)	Resistência de Aderência (MPa)	Forma de Ruptura
Sem Chapisco	1	1963,5	529	0,27	**A-SC**
	2	1963,5	588	0,30	**B-SC**
	3	1963,5	631	0,32	**A-SC**
	4	1963,5	349	0,18	**A-SC**
	5	1963,5	649	0,33	**A-SC**
	6	1963,5	635	0,32	**B-SC**
	7	1963,5	582	0,30	**A-SC**

Quadro 26 - Bloco Cerâmico Estrutural - Argamassa Projeção - Com Chapisco

Tipo	Corpo de Prova	Seção (mm²)	Carga (N)	Resistência de Aderência (MPa)	Forma de Ruptura
Com Chapisco	1	1963,5	212	0,11	**A-CC/B-CC**
	2	1963,5	635	0,32	**A-CC/B-CC**
	3	1963,5	798	0,41	**A-CC/B-CC**
	4	1963,5	660	0,34	**A-CC/B-CC**
	5	1963,5	579	0,29	**A-CC/B-CC**
	6	1963,5	535	0,27	**A-CC/B-CC**
	7	1963,5	679	0,35	**A-CC/B-CC**

Quadro 27 - Blocos de Vedação - Lisos - Argamassa Projeção - Com Chapisco

Tipo	Corpo de Prova	Seção (mm²)	Carga (N)	Resistência de Aderência (MPa)	Forma de Ruptura
Com Chapisco	1	1963,5	1055	0,54	**A-CC/B-CC**
	2	1963,5	479	0,24	**B-CC**
	3	1963,5	526	0,27	**A-CC/B-CC**
	4	1963,5	435	0,22	**A-CC/B-CC**
	5	1963,5	560	0,29	**B-CC**
	6	1963,5	434	0,22	**A-CC/B-CC**
	7	1963,5	548	0,28	**A-CC/B-CC**

Quadro 28 - Blocos de Vedação - Lisos - Argamassa Projeção - Sem Chapisco

Tipo	Corpo de Prova	Seção (mm²)	Carga (N)	Resistência de Aderência (MPa)	Forma de Ruptura
Sem Chapisco	1	1963,5	410	0,21	**A-SC**
	2	1963,5	509	0,26	**B-SC**
	3	1963,5	526	0,27	**A-SC**
	4	1963,5	480	0,24	**B-SC**
	5	1963,5	201	0,10	**A-SC**
	6	1963,5	499	0,25	**A-SC**
	7	1963,5	501	0,26	**A-SC**

Quadro 29 - Blocos de Vedação - Lisos - Argamassa Reboco Médio - Com Chapisco

Tipo	Corpo de Prova	Seção (mm²)	Carga (N)	Resistência de Aderência (MPa)	Forma de Ruptura
Com Chapisco	1	1963,5	320	0,16	**A-CC/B-CC**
	2	1963,5	693	0,35	**A-CC/B-CC**
	3	1963,5	702	0,36	**A-CC/B-CC**
	4	1963,5	605	0,31	**B-CC**
	5	1963,5	679	0,35	**A-CC/B-CC**
	6	1963,5	957	0,49	**A-CC/B-CC**
	7	1963,5	698	0,36	**A-CC/B-CC**

Quadro 30 - Blocos de Vedação - Lisos - Argamassa Reboco Médio - Sem Chapisco

Tipo	Corpo de Prova	Seção (mm²)	Carga (N)	Resistência de Aderência (MPa)	Forma de Ruptura
Sem Chapisco	1	1963,5	334	0,17	**A-SC**
	2	1963,5	699	0,36	**A-SC**
	3	1963,5	629	0,32	**A-SC**
	4	1963,5	890	0,45	**A-SC**
	5	1963,5	636	0,32	**A-SC**
	6	1963,5	659	0,34	**A-SC**
	7	1963,5	642	0,33	**A-SC**

Quadro 31 - Blocos de Vedação - Lisos - Argamassa RebocoTradicional - Com Chapisco

Tipo	Corpo de Prova	Seção (mm²)	Carga (N)	Resistência de Aderência (MPa)	Forma de Ruptura
Com Chapisco	1	1963,5	457	0,23	**A-CC/B-CC**
	2	1963,5	235	0,12	**A-CC/B-CC**
	3	1963,5	293	0,15	**A-CC/B-CC**
	4	1963,5	249	0,13	**B-CC**
	5	1963,5	225	0,11	**A-CC/B-CC**
	6	1963,5	202	0,10	**B-CC**
	7	1963,5	298	0,15	**A-CC/B-CC**

Quadro 32 - Blocos de Vedação - Lisos - Argamassa Reboco Tradicional -Sem Chapisco

Tipo	Corpo de Prova	Seção (mm²)	Carga (N)	Resistência de Aderência (MPa)	Forma de Ruptura
Sem Chapisco	1	1963,5	122	0,06	**B-SC**
	2	1963,5	95	0,05	**A-SC**
	3	1963,5	134	0,07	**B-SC**
	4	1963,5	201	0,10	**B-SC**
	5	1963,5	198	0,10	**B-SC**
	6	1963,5	175	0,09	**B-SC**
	7	1963,5	147	0,07	**B-SC**

Quadro 33 - Blocos de Vedação - Nervurados - Argamassa RebocoTradicional - Com Chapisco

Tipo	Corpo de Prova	Seção (mm²)	Carga (N)	Resistência de Aderência (MPa)	Forma de Ruptura
Com Chapisco	1	1963,5	1093	0,56	**A-CC/B-CC**
	2	1963,5	401	0,20	**A-CC/B-CC**
	3	1963,5	396	0,20	**A-CC/B-CC**
	4	1963,5	353	0,18	**A-CC/B-CC**
	5	1963,5	410	0,21	**A-CC/B-CC**
	6	1963,5	379	0,19	**A-CC/B-CC**
	7	1963,5	402	0,20	**A-CC/B-CC**

Quadro 34 - Blocos de Vedação - Nervurados - Argamassa Reboco Tradicional -Sem Chapisco

Tipo	Corpo de Prova	Seção (mm²)	Carga (N)	Resistência de Aderência (MPa)	Forma de Ruptura
Sem Chapisco	1	1963,5	330	0,17	**A-SC**
	2	1963,5	209	0,11	**A-SC**
	3	1963,5	301	0,15	**A-SC**
	4	1963,5	315	0,16	**B-SC**
	5	1963,5	296	0,15	**A-SC**
	6	1963,5	361	0,18	**A-SC**
	7	1963,5	545	0,28	**A-SC**

Quadro 35 - Blocos de Vedação - Nervurados - Argamassa Projeção- Com Chapisco

Tipo	Corpo de Prova	Seção (mm²)	Carga (N)	Resistência de Aderência (MPa)	Forma de Ruptura
Com Chapisco	1	1963,5	195	0,10	**A-CC/B-CC**
	2	1963,5	-	-	**E-CC**
	3	1963,5	767	0,39	**A-CC/B-CC**
	4	1963,5	806	0,41	**B-CC**
	5	1963,5	779	0,40	**B-CC**
	6	1963,5	758	0,39	**B-CC**
	7	1963,5	799	0,41	**B-CC**

Quadro 36 - Blocos de Vedação- Lisos - Argamassa Projeção -Sem Chapisco

Tipo	Corpo de Prova	Seção (mm²)	Carga (N)	Resistência de Aderência (MPa)	Forma de Ruptura
Sem Chapisco	1	1963,5	607	0,31	**A-SC**
	2	1963,5	903	0,46	**A-SC**
	3	1963,5	715	0,36	**A-SC**
	4	1963,5	629	0,32	**A-SC**
	5	1963,5	673	0,34	**A-SC**
	6	1963,5	709	0,36	**A-SC**
	7	1963,5	639	0,33	**A-SC**

Quadro 37 - Blocos de Vedação Nervurados - Argamassa Reboco Médio- Com Chapisco

Tipo	Corpo de Prova	Seção (mm²)	Carga (N)	Resistência de Aderência (MPa)	Forma de Ruptura
Com Chapisco	1	1963,5	174	0,09	**A-CC/B-CC**
	2	1963,5	925	0,47	**A-CC/B-CC**
	3	1963,5	1115	0,57	**F**
	4	1963,5	859	0,44	**A-CC/B-CC**
	5	1963,5	815	0,42	**A-CC/F-CC**
	6	1963,5	937	0,48	**B-CC**
	7	1963,5	991	0,50	**B-CC**

Quadro 38 - Blocos de Vedação Nervurados - Lisos - Argamassa Reboco Médio -Sem Chapisco

Tipo	Corpo de Prova	Seção (mm²)	Carga (N)	Resistência de Aderência (MPa)	Forma de Ruptura
Sem Chapisco	1	1963,5	209	0,11	**A-SC**
	2	1963,5	896	0,46	**A-SC**
	3	1963,5	858	0,44	**A-SC**
	4	1963,5	839	0,43	**A-SC**
	5	1963,5	912	0,46	**A-SC**
	6	1963,5	926	0,47	**A-SC**
	7	1963,5	872	0,44	**A-SC**