



UNIVERSIDADE DA BEIRA INTERIOR
Engenharia

**ARGAMASSAS DE REABILITAÇÃO:
Estudo da sua utilização e do seu comportamento para o
tratamento e recuperação de construções afetadas por
eflorescências**

Paulo Roberto Cabana Guterres

Tese para obtenção do Grau de Doutor em
Engenharia Civil
(3º ciclo de estudos)

Orientador: Professor Doutor Luiz Antonio Pereira de Oliveira

Covilhã, Abril de 2016

Dedicatória

À Cristina, ao Tiago e ao Mateus.

Tese apresentada para obtenção do grau de Doutor em Engenharia Civil pela Universidade da Beira Interior. Sob a orientação:

Prof. Dr Luiz Antonio Pereira de Oliveira
Professor Associado com Agregação convidado
do Departamento de Engenharia Civil e
Arquitetura da U.B.I.

Agradecimentos

Durante toda a realização do trabalho pude contar com colaborações, diretas e indiretas, de pessoas muito valiosas, às quais agradeço muitíssimo. Dentre elas, sem menosprezo a nenhuma das colaborações recebidas, gostaria de expressar meus agradecimentos àquelas pessoas, que pela maior proximidade, julgo mais importantes:

Ao meu orientador científico Professor Dr. Luiz Antonio Pereira de Oliveira, o qual, com paciência, sabedoria, compreensão e amizade sempre orientou-me e apoiou-me nas adversidades que foram surgindo, principalmente no enfrentamento da distância que, por motivo de trabalho, impedia um contato mais efetivo e direto, não faltando palavras de incentivo e confiança no trabalho realizado.

Ao Dr. Eng^o Jose Ângelo Vasconcelos de Paiva, Chefe do Departamento de Edifícios do Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), aos Engenheiros Investigadores do LNEC, Dra. Eng^a Maria do Rosário Veiga e Dr. Eng^o Pedro Pontífice de Sousa, que com incansável e prestimosa colaboração contribuíram para este trabalho.

Ao Laboratório de Engenharia Civil (LEC) do Curso de Engenharia Civil da Universidade Católica de Pelotas (UCPel), no qual foi desenvolvido todo o trabalho experimental.

Aos Laboratoristas Sr. Ibo Gregorio Kuhn e Sr. Ilmo José Vaz do LRM que auxiliaram nos ensaios desenvolvidos.

Aos Acadêmicos do Curso de Engenharia Civil, Carlos Leopoldo Flores, Ricardo Caramori e Rui Fernando Lucas e a Acadêmica do Curso de Arquitetura e Urbanismo, Natália Cristiane Silva da Silva, que colaboraram nas pesquisas de campo, nos ensaios e na compilação de dados.

À Secretaria de Cultura da Cidade de Pelotas (SECULT) que permitiu a investigação realizada nos edifícios históricos da Cidade de Pelotas e, principalmente, no edifício selecionado.

À Empresa Dagoberto Barcelos (DB), pelo fornecimento das cales utilizadas bem como, das características técnicas dos produtos. Aos fornecedores de areias da Cidade de Pelotas que gentilmente permitiram a coleta e autorizaram a análise de suas areias.

Resumo

No presente trabalho estuda-se a fenomenologia que explica as anomalias nas argamassas de revestimento, em construções antigas, afetadas por umidade de ascensão e por sais solúveis. Este estudo tem por base os casos diagnosticados nos edifícios históricos (século XIX até meados do século XX) da zona central da Cidade de Pelotas.

A revisão realizada permitiu conhecer, de forma mais aprofundada, a fenomenologia do transporte de umidade e sais em meio poroso, bem como, os vários modelos representativos existentes (*Glaser, Freitas, Abrantes e Crausse, Hall-Hoff, Scherer, Christopher Hall e L. Pel e K. Kopinga*). Devido ao grau de complexidade desses modelos na aplicação como ferramenta de escolha de materiais de revestimento à base de argamassa, desenvolveu-se um modelo matemático simplificado para a avaliação da ascensão de umidades em paredes de alvenaria. Teoricamente foram identificadas, para modelação, as características físicas das argamassas definidas pela sua composição. Variáveis como a proporção de agregados/aglomerantes, que definem o esqueleto sólido, bem como o tipo de aglomerante que define a porosidade das argamassas foram estabelecidas para o estudo experimental. Para este estudo foram propostas argamassas de reabilitação à partir das características dos materiais identificadas em amostras de revestimento extraídas das paredes de um edifício selecionado entre seis edifícios da Cidade de Pelotas que apresentavam anomalias de umidades e sais solúveis.

Os ensaios realizados nas argamassas de reabilitação propostas, de acordo com as normas vigentes, compreenderam as determinações de massa volúmica, índice de vazios, absorção de água por capilaridade, secagem da água absorvida, resistência mecânica e teor de sais solúveis. Foram determinados, também, a resistência de aderência ao suporte, a permeabilidade à água e o teor de sais em argamassas aplicadas em painéis de alvenaria. Por fim observou-se, em painéis de alvenaria revestidos com as argamassas de reabilitação, a evolução da ascensão capilar de umidade ao longo do tempo.

Os resultados obtidos nos ensaios das argamassas permitiram colocar em relevância os aspectos comportamentais das argamassas propostas em relação à estrutura do esqueleto, determinando maior ou menor porosidade e, conseqüentemente, o transporte da água absorvida por ascensão; a

qual está diretamente relacionada a porosidade capilar e ao tempo de molhagem da área umedecida.

A observação da evolução da umidade ascensional nos painéis confirma o modelo teórico proposto e traduz a variação da água ascensional em ambiente com taxa de evaporação constante, pela área molhada da parede compreendida pela altura do perfil hidráulico medido num tempo t . Como o perfil hidráulico, sob efeito da evaporação, também sofre uma atenuação no tempo devido a ação da gravidade, determinando, neste caso, que o modelo teórico-experimental pode ser melhor representado por uma função logarítmica.

Palavras-chave

Argamassa de reabilitação; eflorescências; umidade ascensional; porosidade, transporte.

Abstract

The present work studies the phenomenology that explains coating mortar anomalies in old buildings affected by rising damp and soluble salts. This study is based on diagnosed cases in historic buildings (XIX century to mid XX century) in the central zone of the City of Pelotas.

The review permitted a more accurate understanding of the phenomenology of moisture and salt transport in porous media, as well as the various existing representative models (*Glaser, Freitas, Abrantes and Crausse, Hall-Hoff, Scherer, Christopher Hall and L. Pel and K. Kopinga*). Due to the complexity of these models in their application and the choice of mortar coating materials, a simplified mathematical model for the evaluation of humidity rise in masonry walls was developed. Theoretically, the physical characteristics of mortars were defined by their compositions and identified for modelling purposes. Variables were established for this experimental study such as the binder/aggregate ratio, which defines the solid skeleton, and the type of binder that identifies the fine porosity in mortars. For the following study, rehabilitation mortars were proposed, based on the identified characteristics of materials in wall coating samples. These samples were taken from a building with moisture and soluble salt anomalies selected from among six others in the City of Pelotas.

The tests conducted on the proposed rehabilitation mortars, according to current regulations, comprehend density determinations, void ratio, capillary water absorption, drying of the absorbed water, mechanical strength and soluble salt content. It was also determined the support adhesion strength, the water permeability and the salt content in mortars applied to masonry panels. Finally, it was observed the evolution of moisture capillary rise in masonry panels coated with rehabilitation mortar over time.

The obtained results of the mortar tests added relevance to the behavioral aspects of the proposed mortars, in relation to the skeletal structure, determining greater or lesser porosity and, consequently, the transport of water absorbed by the rise; which is directly related to the capillary porosity and time of wetting of the moistened area.

The observation of the evolution of ascending moisture in the panels confirms the proposed theoretical model and translates the variation of the upward water in an environment with constant evaporation rate, with the wall wet area understood by the height of the hydraulic

profile measured at a time t . The hydraulic profile, under the effect of evaporation, is also reduced due to gravity and determines, in this case, that the theoretical model can be better represented by a logarithmic function.

Keywords

Rehabilitation mortar; efflorescence; rising damp; porosity; transportation.

Índice

CAPÍTULO 1 - Introdução

1.1 - Interesse e objetivo do trabalho	5
1.2 - Organização do texto	7
1.3 - Levantamento das soluções construtivas tradicionais na região de Pelotas e suas principais anomalias	9
1.3.1 - Considerações gerais	9
1.3.2 - Levantamento das soluções	10
1.3.3 - Levantamento das anomalias num conjunto de edifícios	16

CAPÍTULO 2 - Eflorescências nas construções

2.1 - Considerações gerais.....	29
2.2 - Origens e formas de manifestação das eflorescências.....	31

CAPÍTULO 3 - Fenomenologia do transporte de umidade e sais em meio poroso

3.1 - Considerações gerais	47
3.2 - A ascensão capilar de águas subterrâneas em paredes de alvenaria	48
3.2.1 - Modelo de Glaser	50
3.2.2 - Modelo de Freitas, Abrantes e Crausse	50
3.2.3 - Modelo Hall-Hoff.....	52
3.2.4 - Modelo Scherer.....	57

3.2.5 - Modelo Christopher Hall.....	60
3.2.6 - Modelo de L. Pel e K. Kopinga.....	61
3.3 - Influência da porosidade e do meio ambiente no transporte de umidade entre o substrato e o reboco.....	62
3.4 - Modelo matemático simplificado, do autor, para umidade de ascensão em painéis de alvenaria.....	63

CAPÍTULO 4 - Seleção de edifícios para estudo e caracterização do edifício eleito

4.1 - Seleção de edifícios para estudo.....	75
4.2 - Caracterização das técnicas construtivas do edifício selecionado.....	80

CAPÍTULO 5 - Organização do trabalho experimental

5.1 -Objetivo do trabalho experimental.....	95
5.2 - Definição dos locais e dos materiais a ensaiar no edifício selecionado	96
5.2.1 - Critérios gerais.....	96
5.2.2 - Ensaio realizados no edifício selecionado.....	96
5.2.3 - Ensaio “ <i>insitu</i> ” e laboratoriais relativos ao edifício selecionado	97
5.3 - Apreciação dos resultados dos ensaios no edifício selecionado.....	105
5.3.1 - Ensaio “ <i>in situ</i> ”.....	105
5.3.2 - Ensaio laboratoriais.....	106

CAPÍTULO 6 - Modelo experimental adotado

6.1 - Considerações gerais.....	120
6.2 - Definição das argamassas de reabilitação propostas ao estudo.....	120

6.3 - Ensaio nos materiais constituintes das argamassas de reabilitação.....	130
6.4 - Resultados dos ensaios de caracterização dos constituintes das argamassas....	135

CAPÍTULO 7 - Ensaio com as argamassas, apresentação e discussão dos resultados

7.1 - Considerações prévias.....	143
7.2 - Ensaio nos provetes das argamassas de reabilitação.....	143
7.3 - Resultados dos ensaios nos provetes das argamassas de reabilitação.....	147
7.4 - Ensaio nas argamassas de reabilitação aplicadas nos painéis experimentais em laboratório.....	177
7.5 - Observação e análise das argamassas aplicadas nos painéis experimentais.....	202

CAPÍTULO 8 - Conclusões

8.1 - Conclusões.....	231
-----------------------	-----

BIBLIOGRAFIA

Bibliografia.....	239
-------------------	-----

ANEXOS

Anexo I.....	I.5
Anexo II.....	II.3

Lista de figuras

Figura 1.1 - Parede de divisória em pau-a-pique - Edifício antigo.....	14
Figura 1.2 - Manchas de sujidade e fissurações	20
Figura 1.3 - Umidade ascensional e de infiltrações	20
Figura 1.4 - Deslocamento em placas e eflorescências	20
Figura 1.5 - Encobrimento das eflorescências por revestimento em madeira e pedra	25
Figura 1.6 - Agravamento das eflorescências pelo uso inadequado de materiais na construção e/ou recuperação.....	25
Figura 3.1 - Esquema gráfico da ascensão capilar e evaporação de um muro em contato com o solo úmido	49
Figura 3.2 - Princípio de cálculo para a relação R (P_c) [24]	52
Figura 3.3 - Umidade ascendente [39]	54
Figura 3.4 - Mostra o fraco efeito da gravidade sobre a ascensão capilar em paredes [44].....	55
Figura 3.5 - Transporte (movimento) da umidade num meio poroso.....	59
Figura 3.6 - Absorção capilar de água em um sólido poroso em sentido unidimensional: modelo de penetração frontal [44].....	60
Figura 3.7 - Absorção capilar de água em um sólido poroso em sentido unidimensional [51].....	65
Figura 3.8 - Modelo experimental de observação da ascensão da umidade ao longo do tempo	69
Figura 4.1 - Casarão 2.....	76
Figura 4.2 - Casarão 6.....	76
Figura 4.3 - Casarão 8.....	76
Figura 4.4 - Castelo Simões Lopes Neto.....	76

Figura 4.5 - Catedral São Francisco de Paula.....	76
Figura 4.6 - Instituto de Menores de Pelotas.....	76
Figura 4.7 - Anomalias no interior da Catedral.....	78
Figura 4.8 - Erros construtivos no exterior da Catedral.....	78
Figura 4.9 - Processo de recuperação da Catedral.....	79
Figura 4.10 - Fachada principal do edifício selecionado e detalhe da entrada.....	79
Figura 4.11 - Detalhe da fundação do edifício eleito.....	81
Figura 4.12 - Detalhe da caixa de ventilação (gateira) do edifício eleito.....	81
Figura 4.13 - Espaço destinado às caves do edifício eleito.....	81
Figura 4.14 - Paredes em tijolos de barro do edifício eleito.....	82
Figura 4.15 - Paredes em estuque do edifício eleito.....	82
Figura 4.16 - Plantas dos pisos do Casarão 6 (edifício eleito).....	83
Figura 4.17 - Revestimentos em escaiola e azulejos do edifício eleito.....	84
Figura 4.18 - Apodrecimento interno das esquadrias do edifício eleito.....	84
Figura 4.19 - Apodrecimento externo das esquadrias do edifício eleito.....	85
Figura 4.20 - Perda da massa de fixação dos vidros e apodrecimento dos caixilhos.....	85
Figura 4.21 - Barrote de fixação do soalho.....	86
Figura 4.22 - Murete e sustentação dos barrotes.....	86
Figura 4.23 - Pavimento em soalho.....	86
Figura 4.24 - Teto em madeira.....	86
Figura 4.25 - Estuque no teto.....	87
Figura 4.26 - Ornatos de gesso sobre estuque.....	87

Figura 4.27 - Cobertura em telhas portuguesas.....	87
Figura 4.28 - Infiltrações nos tetos e paredes.....	88
Figura 4.29 - Comparação entre os tijolos usados no edifício eleito e os tijolos atuais	89
Figura 4.30 - Paredes de um tijolo e meio e de dois tijolos (respectivamente)	89
Figura 5.1 - Termohigrômetro utilizado “ <i>in situ</i> ” nas medições de umidade e temperatura	98
Figura 5.2 - Medições de temperatura e teor de umidade relativa do ar.....	98
Figura 5.3 - Extração de amostras dos revestimentos.....	99
Figura 5.4 - Extração de amostras serra copo.....	99
Figura 5.5 - Extração dos tijolos a serem ensaiados.....	99
Figura 5.6 - Amostras de revestimentos para ensaios de absorção de água e reconstituição do traço.....	100
Figura 5.7 - Pesagem, destorroamento, secagem e imersão em ácido clorídrico	102
Figura 5.8 - Filtragem, secagem do papel filtro e análise granulométrica	102
Figura 5.9 - Registro fotográfico do ensaio.....	103
Figura 5.10 - Análise visual de manifestações de eflorescências	104
Figura 5.11 - Pesagem e contato do corpo de prova com a água.....	105
Figura 5.12 - Medição dos corpos de provas.....	105
Figura 5.13 - Curvas granulométricas das cinco areias resultantes da reconstituição do traço das amostras extraídas do edifício selecionado.....	110
Figura 5.14 - Absorção de água por capilaridade da amostra A.....	113
Figura 5.15 - Absorção de água por capilaridade da amostra B.....	113
Figura 5.16 - Absorção de água por capilaridade da amostra C.....	114
Figura 5.17 - Absorção de água por capilaridade da amostra D.....	114

Figura 5.18 - Absorção de água por capilaridade da amostra E	114
Figura 5.19 - Secagem da amostra A.....	115
Figura 5.20 - Secagem da amostra B.....	115
Figura 5.21 - Secagem da amostra C.....	115
Figura 5.22 - Secagem da amostra D.....	116
Figura 5.23 - Secagem da amostra E.....	116
Figura 6.1 - Construção dos painéis experimentais em laboratório	121
Figura 6.2 - Execução dos painéis experimentais no edifício selecionado (exterior)	121
Figura 6.3 - Execução dos painéis experimentais no edifício selecionado (interior).....	122
Figura 6.4 - Ensaio colorimétrico.....	130
Figura 6.5 - Ensaio de inchamento.....	131
Figura 6.6 - Ciclo da cal.....	133
Figura 6.7 - Medição da porosidade dos tijolos.....	135
Figura 6.8 - Capilaridade por contato com água e pesagem dos tijolos.....	135
Figura 6.9 - Curva granulométrica média das areias reconstituídas comparada às quatro curvas das areias avaliadas e aprovadas nos ensaios de impurezas.....	137
Figura 7.1 - Secagem e pesagem dos corpos de prova.....	144
Figura 7.2 - Pesagem dos corpos de prova secos, absorção por capilaridade e pesagem umedecida.....	144
Figura 7.3 - Moldagem dos corpos de prova.....	145
Figura 7.4 - Condicionamento termohigrométrico, cura em cal e capeamento dos corpos de prova.....	145
Figura 7.5 - Ensaio de resistência à compressão	146

Figura 7.6 - Moldagem e condicionamento dos corpos de prova prismáticos.....	146
Figura 7.7 - Ensaio de resistência à tração na flexão e corpos de prova ensaiados.....	146
Figura 7.8 - Imersão parcial dos corpos de prova em solução de sulfato de sódio a 5%.....	147
Figura 7.9 - Manifestação de eflorescências nos corpos de prova ensaiados.....	147
Figura 7.10 - Índice de vazios após saturação da argamassa 1:1:6.....	149
Figura 7.11 - Índice de vazios após saturação da argamassa 1:0,33:3,7	149
Figura 7.12 - Índice de vazios após saturação da argamassa 1:1:7	150
Figura 7.13 - Índice de vazios após saturação da argamassa 1:4:14	150
Figura 7.14 - Absorção de água por saturação da argamassa 1:1:6	152
Figura 7.15 - Absorção de água por saturação da argamassa 1:0,33:3,7	153
Figura 7.16 - Absorção de água por saturação da argamassa 1:1:7.....	153
Figura 7.17 - Absorção de água por saturação da argamassa 1:4:14.....	154
Figura 7.18 - Absorção de água por capilaridade da argamassa 1:1:6 CHA.....	155
Figura 7.19 - Absorção de água por capilaridade da argamassa 1:1:6 CHB.....	156
Figura 7.20 - Absorção de água por capilaridade da argamassa 1:1:6 CV.....	156
Figura 7.21 - Coeficiente de capilaridade das argamassas 1:1:6.....	158
Figura 7.22 - Coeficiente de capilaridade das argamassas 1:0,33:3,7.....	158
Figura 7.23 - Coeficiente de capilaridade das argamassas 1:1:7.....	159
Figura 7.24 - Coeficiente de capilaridade das argamassas 1:4:14	159
Figura 7.25 - Secagem da amostra 1:1:6 CHA.....	162
Figura 7.26 - Secagem da amostra 1:1:6 CHB.....	162
Figura 7.27 - Secagem da amostra 1:1:6 CV	163

Figura 7.28 - Coeficiente de secagem da amostra 1:1:6.....	163
Figura 7.29 - Coeficiente de secagem da amostra 1:0,33:3,7.....	164
Figura 7.30 - Coeficiente de secagem da amostra 1:1:7.....	165
Figura 7.31 - Coeficiente de secagem da amostra 1:4:14.....	165
Figura 7.32 - Resistência à compressão aos 7 e 28 dias da argamassa 1:1:6.....	167
Figura 7.33 - Resistência à compressão aos 7 e 28 dias da argamassa 1:0,33:3,7.....	168
Figura 7.34 - Resistência à compressão aos 7 e 28 dias da argamassa 1:1:7.....	169
Figura 7.35 - Resistência à compressão aos 7 e 28 dias da argamassa 1:4:14.....	169
Figura 7.36 - Resistência à tração na flexão 28 dias da argamassa 1:1:6.....	173
Figura 7.37 - Resistência à tração na flexão 28 dias da argamassa 1:0,33:3,7.....	173
Figura 7.38 - Resistência à tração na flexão 28 dias da argamassa 1:1:7.....	174
Figura 7.39 - Resistência à tração na flexão 28 dias da argamassa 1:4:14.....	174
Figura 7.40 - Painel 1: face Norte, rebocado com a argamassa 1:1:6 (CHA-CHB-CV).....	178
Figura 7.41 - Painel 1: face Sul, rebocado com a argamassa 1:0,33:3,7 (CHA-CHB-CV).....	178
Figura 7.42 - Painel 2: face Norte, rebocado com a argamassa 1:1:7 (CHA-CHB-CV).....	178
Figura 7.43 - Painel 2: face Sul, rebocado com a argamassa 1:4:14 (CHA-CHB-CV).....	179
Figura 7.44 - Equipamento para ensaio de aderência ao suporte.....	181
Figura 7.45 - Ensaio de aderência ao suporte.....	182
Figura 7.46 - Ensaio de aderência ao suporte.....	182
Figura 7.47 - Equipamento para ensaio de permeabilidade à água.....	183
Figura 7.48 - Ensaio de permeabilidade à água.....	183
Figura 7.49 - Aderência ao suporte da argamassa 1:1:6.....	186

Figura 7.50 - Aderência ao suporte da argamassa 1:0,33:3,7.....	186
Figura 7.51 - Aderência ao suporte da argamassa 1:1:7.....	187
Figura 7.52 - Aderência ao suporte da argamassa 1:4:14.....	187
Figura 7.53 - Permeabilidade à água da argamassa 1:1:6.....	192
Figura 7.54 - Permeabilidade à água da argamassa 1:0,33:3,7.....	192
Figura 7.55 - Permeabilidade à água da argamassa 1:1:7.....	193
Figura 7.56 - Permeabilidade à água da argamassa 1:4:14.....	193
Figura 7.57 - Permeabilidade cachimbo da argamassa 1:1:6 (CHA-CHB-CV)	196
Figura 7.58 - Permeabilidade cachimbo da argamassa 1:0,33:3,7 (CHA-CHB-CV)	197
Figura 7.59 - Permeabilidade cachimbo da argamassa 1:1:7 (CHA-CHB-CV).....	198
Figura 7.60 - Permeabilidade cachimbo da argamassa 1:4:14 (CHA-CHB-CV).....	199
Figura 7.61 - Pannel 1 - face Norte.....	203
Figura 7.62 - Pannel 1 - face Sul.....	204
Figura 7.63 - Pannel 2 - face Norte.....	205
Figura 7.64 - Pannel 2 - face Sul.....	207
Figura 7.65 - Absorção de água por capilaridade da argamassa 1:1:6 CHA.....	208
Figura 7.66 - Absorção de água por capilaridade da argamassa 1:1:6 CHB.....	209
Figura 7.67 - Absorção de água por capilaridade da argamassa 1:1:6 CV.....	209
Figura 7.68 - Absorção de água por capilaridade da argamassa 1:0,33:3,7 CHA.....	210
Figura 7.69 - Absorção de água por capilaridade da argamassa 1:0,33:3,7 CHB.....	210
Figura 7.70 - Absorção de água por capilaridade da argamassa 1:0,33:3,7 CV	211
Figura 7.71 - Absorção de água por capilaridade da argamassa 1:1:7 CHA.....	211

Figura 7.72 - Absorção de água por capilaridade da argamassa 1:1:7 CHB.....	212
Figura 7.73 - Absorção de água por capilaridade da argamassa 1:1:7 CV.....	212
Figura 7.74 - Absorção de água por capilaridade da argamassa 1:4:14 CHA.....	213
Figura 7.75 - Absorção de água por capilaridade da argamassa 1:4:14 CHB.....	213
Figura 7.76 - Absorção de água por capilaridade da argamassa 1:4:14 CV	213
Figura 7.77 - Pannel 1 - face Norte.....	215
Figura 7.78 - Pannel 1 - face Sul.....	216
Figura 7.79 - Pannel 2 - face Norte.....	217
Figura 7.80 - Reboco 1:1:7 CHB - formação eflorescente no local donde foi extraída a amostra de reboco.....	219
Figura 7.81 - Pannel 2 - face Sul.....	219
Figura 7.82 - Correlação do coeficiente de ascensão capilar com o coeficiente de capilaridade nas argamassas CHA (1:1:6/1:0,33:3,7/1:1:7/1:4:14).....	223
Figura 7.83 - Correlação do coeficiente de ascensão capilar com a água absorvida nas argamassas CHA (1:1:6/1:0,33:3,7/1:1:7/1:4:14).....	224
Figura 7.84 - Painéis executados no edifício selecionado (exterior e interior)	225
Figura 7.85 - Pannel externo executado no edifício selecionado	226
Figura 7.86 - Pannel interno executado no edifício selecionado	227

Lista de tabelas

Tabela 1.1 - Anomalias em 424 fachadas de 377 edificações da cidade de Pelotas.....	17
Tabela 1.2 - Distribuição das fachadas por localização do edifício no quarteirão.....	18
Tabela 1.3 - Idade das 424 fachadas de 153 edificações da cidade de Pelotas.....	18
Tabela 1.4 - Distribuição das lesões nas fachadas por elemento construtivo	21
Tabela 1.5 - Distribuição das lesões nas fachadas por material de revestimento	22
Tabela 1.6 - Distribuição das lesões nas fachadas por condição de exposição	22
Tabela 1.7 - Distribuição das lesões nas fachadas por incidência	23
Tabela 1.8 - Distribuição das lesões nas fachadas por piso.....	23
Tabela 1.9 - Distribuição das lesões nas fachadas por orientação.....	23
Tabela 2.1 - Características mais importantes das eflorescências	39
Tabela 5.1 - Ensaio de caracterização do edifício eleito e sobre os materiais constituintes das paredes	97
Tabela 5.2 - Temperatura e umidade superficial das paredes.....	106
Tabela 5.3 - Teor de água nas amostras do local A.....	106
Tabela 5.4 - Teor de água nas amostras do local B.....	107
Tabela 5.5 - Teor de água nas amostras do local C.....	107
Tabela 5.6 - Teor de água nas amostras do local D.....	107
Tabela 5.7 - Teor de água nas amostras do local E.....	107
Tabela 5.8 - Reconstituição do traço das amostras extraídas do edifício.....	108

Tabela 5.9 - Diâmetro máximo e módulo de finura das cinco areias provenientes da reconstituição do traço dos rebocos extraídos do edifício.....	110
Tabela 5.10 - Teores de sais identificados nas amostras extraídas do edifício	111
Tabela 5.11 - Coeficiente de capilaridade e secagem da água absorvida nas amostras extraídas do edifício.....	112
Tabela 6.1 - Traços da argamassa a trabalhar.....	124
Tabela 6.2 - Valores em massa para os quatro traços trabalhados na argamassadeira	129
Tabela 6.3 - Ensaio nos constituintes das argamassas, nos tijolos dos painéis experimentais de ensaio e nas argamassas de reabilitação	129
Tabela 6.4 - Características do cimento	132
Tabela 6.5 - Características químico-física da cal aérea concentrada (virgem).....	133
Tabela 6.6 - Características químico-física da cal hidratada.....	134
Tabela 6.7 - Características químico-física da cal hidratada com adição de cinzas	134
Tabela 6.8 - Propriedades das areias da região de Pelotas	136
Tabela 6.9 - Teores de sais solúveis nas areias analisadas.....	138
Tabela 6.10 - Massa volúmica das areias analisadas.....	139
Tabela 7.1 - Massa volúmica das argamassas propostas.....	148
Tabela 7.2 - Variáveis analisadas, níveis e interações.....	151
Tabela 7.3 - Resultados da análise do índice de vazios após saturação.....	152
Tabela 7.4 - Resultados da análise de absorção por saturação.....	155
Tabela 7.5 - Coeficientes de capilaridade das argamassas estudadas.....	157
Tabela 7.6 - Resultados da análise das variáveis no coeficiente de capilaridade	161
Tabela 7.7 - Resultados da análise das variáveis no coeficiente de secagem	166

Tabela 7.8 - Resultados da análise do ensaio de compressão aos 7 dias.....	171
Tabela 7.9 - Resultados da análise do ensaio de compressão aos 28 dias.....	172
Tabela 7.10 - Resultados da análise do ensaio de tração na flexão aos 28 dias.....	175
Tabela 7.11 - Resultado da análise de aderência ao suporte.....	190
Tabela 7.12 - Absorção de água superficial pelo método do cachimbo.....	191
Tabela 7.13 - Resultados da análise de permeabilidade.....	195
Tabela 7.14 - Permeabilidade (cachimbo) da argamassa 1:1:6 (CHA-CHB-CV).....	195
Tabela 7.15 - Permeabilidade (cachimbo) da argamassa 1:0,33:3,7 (CHA-CHB-CV).....	196
Tabela 7.16 - Permeabilidade (cachimbo) da argamassa 1:1:7 (CHA-CHB-CV).....	197
Tabela 7.17 - Permeabilidade (cachimbo) da argamassa 1:4:14 (CHA-CHB-CV).....	198
Tabela 7.18 - Teores de sais solúveis das argamassas extraídas dos painéis experimentais	201
Tabela 7.19 - Valores de R^2 para a raiz quadrada do tempo em horas e regressões lineares	214
Tabela 7.20 - Parâmetros estatísticos da correlação índice de vazios e permeabilidade	221
Tabela 7.21 - Parâmetros estatísticos da saturação natural e coeficiente de permeabilidade ...	222
Tabela 7.22 - Coeficiente de capilaridade das argamassas (C_{cc}), absorção de água em painéis (C_{ca}) e de ascensão capilar em painéis (C_{asc})	222

Lista de Acrônimos

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AFNOR	Association Française de Normalisation
APEBAT	Association pour L'Étude de La Pathologie et L'Entretien du Bâtiment
BRE	Building Research Establishment
BRS	Building Research Station
CATED	Centre D'Assistance Technique et de Documentation du Bâtiment et des Travaux Publics
CETIAT	Centre Technique des Industries Aérouliques et Thermiques
CSTB	Centre Scientifique et Technique du Bâtiment
EOTA	European Organisation for Technical Approvals
EPUSP	Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
FAU	Faculdade de Arquitetura e Urbanismo
FEUP	Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto
IBRACON	Instituto Brasileiro do Concreto
ICATHM	International Congress of Architects and Technicians of Historic Monuments
IGS	Institut für Gebäudeanalyse und Sanierungsplanung
IPHAN	Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas
ISMAG	International Securities Market Advisory Group
ITBT	Institut Technique Du Bâtiment et des Travaux Publics
LEC	Laboratório de Engenharia Civil
LEME	Laboratório de Ensaio e Modelos Estruturais
LNEC	Laboratório Nacional de Engenharia Civil
LRM	Laboratório de Resistência dos Materiais
LTC	Livros Técnicos e Científicos
NBR	Norma Brasileira
PPGEC	Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil
PNUD	Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento
SECULT	Secretaria de Cultura
UBI	Universidade da Beira Interior
UCPEL	Universidade Católica de Pelotas
UFBA	Universidade Federal da Bahia
UFRGS	Universidade Federal do Rio Grande do Sul
UNESCO	Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura
USP	Universidade de São Paulo

Fundamentação teórica

Capítulo 1

Introdução

1.1 - Interesse e objetivos do trabalho

1.2 - Organização do texto

1.3 - Levantamento das soluções construtivas tradicionais na região de Pelotas e suas principais anomalias

1.1-Interesse e objetivos do trabalho

Nos últimos tempos, se nota no Brasil e, principalmente na região sul do estado do Rio Grande do Sul e; com muita ênfase, na cidade de Pelotas; tanto a nível público como privado, uma maior conscientização e preocupação com a preservação e recuperação do patrimônio histórico e, até mesmo, em relação às construções atuais, que estejam apresentando elevado índice de deterioração, causado, principalmente, pelas eflorescências, o que acaba por, na maioria das vezes, prejudicar o uso dos edifícios que apresentam esta anomalia. Como não existem estudos aprofundados sobre o comportamento dos materiais de construção; comuns na região de Pelotas e, principalmente, àqueles utilizados na recuperação de edifícios, sempre que há necessidade de se trabalhar nesta área, acaba-se por recorrer a um estudo localizado e, em paralelo, à bibliografia especializada e as técnicas nacionais e estrangeiras; pois as causas e efeitos são similares.

Este grande interesse na conservação do patrimônio edificado; o qual visivelmente cresce no Brasil; desperta ações concretas na região de Pelotas, é uma forte razão para o aprofundamento dos estudos ligados à deterioração das argamassas de revestimento e, em particular, do estudo de soluções que permitam melhorar as condições de uso em obras deterioradas pela ação dos sais nos rebocos. Para tal, buscam-se soluções adequadas, para as quais procura desenvolver métodos próprios, com base nos já existentes, porém ajustados ao clima, aos materiais de construção e às técnicas construtivas usuais na região de Pelotas.

Os edifícios construídos no Brasil, de uma forma geral, possuem revestimentos de argamassa (rebocos) como principal elemento externo para acabamento e proteção contra os efeitos das intempéries. Este tipo de procedimento construtivo é, aliás, utilizado na quase totalidade das construções observadas na região sul do Rio Grande do Sul e na cidade de Pelotas. Um dos fatores determinantes para este procedimento, que não pode ser desprezado, é o custo mais baixo que este tipo de finalização determina às construções, o que acaba por ser um grande atrativo aos construtores e investidores.

Como se sabe; as argamassas de revestimento, além de serem mais econômicas relativamente a outros tipos de acabamento exterior (cerâmicas, pedras, vidros, etc.), cumprem, por um período bastante aceitável, as funções requeridas para sua utilização, desde que tenham sido executadas dentro de padrões mínimos de qualidade e recebam igual atenção no processo de manutenção.

Sabe-se; porém, que a falta de um controle qualitativo nas construções; tanto ao nível do projeto como ao da execução, além dos efeitos das alterações ambientais e da manutenção inadequada ou, até mesmo, inexistente, acabam por determinar aos rebocos, principalmente os exteriores, uma vida útil bastante reduzida, impondo ao edifício características negativas, desde o simples desconforto estético até a ocorrência de anomalias mais gravosas, que podem prejudicar o bom uso da edificação.

As construções antigas e de valor histórico; preocupação maior desse trabalho, embora construídas com recursos a técnicas bem dominadas por uma mão de obra experiente; apresentam um somatório de fatores que contribuem para um alargamento dos efeitos da deterioração dos rebocos, devidos em grande parte ao envelhecimento natural dos materiais utilizados (o que é inevitável), os quais não são devidamente protegidos ou mitigados por uma manutenção adequada.

Como nas construções atuais, os prédios antigos, ao serem recuperados, devem apresentar, além de aspecto estético agradável, uma forma adequada ao uso atual. Como se pode verificar, a maioria dos edifícios antigos ao serem recuperados; acabam por apresentar, dentro de um tempo relativamente curto, um agravamento ou o surgimento de novos problemas construtivos, derivados, principalmente, do uso inadequado de materiais, da incompatibilidade destes e também de processos de intervenção ineficientes. Dentro desta ampla gama de ações negativas, que acabam por atingir as construções, devem-se adotar procedimentos que impeçam ou amenizem fortemente as suas manifestações; estes podem ser obtidos com um maior cuidado construtivo, com uma mão de obra mais qualificada e com o conhecimento e correto uso de materiais e das técnicas construtivas.

Este estudo propõe-se estabelecer uma metodologia de abordagem dos problemas relacionados com esta forma de deterioração, onde são identificados desde as causas até as soluções próprias a cada situação. São aplicadas técnicas experimentais, tanto para os materiais como para os processos construtivos dos revestimentos de saneamento (argamassas de uso temporário, utilizadas com o objetivo de retirar os sais solúveis do interior das alvenarias). A influência de fatores, como uma maior ou menor absorção do suporte, porosidade dos revestimentos, dados climáticos e ventilação dos ambientes, é analisada e subsidia esse trabalho.

Procura-se, assim, lançar algumas bases que permitam, com conhecimento de causa, selecionar as argamassas de reabilitação apropriadas à solução das anomalias identificadas e especificar os procedimentos de avaliação e aplicação. Em última análise, este estudo considera as técnicas

construtivas e os materiais utilizados no Brasil e, em particular, na região de Pelotas; e tem por objetivo apontar as soluções possíveis para a recuperação de edifícios com rebocos afetados por eflorescências. Com os resultados obtidos no presente trabalho, se busca contribuir para a melhoria das práticas construtivas, principalmente as relacionadas com a reabilitação de edifícios, aumentando a qualidade e a vida útil das construções, além de contribuir com dados técnicos, sobre um tema ainda carente na bibliografia nacional.

Ao procurar-se eleger os edifícios para estudo, verificou-se que estes apresentavam um processo bastante avançado de deterioração, causado em grande parte pela falência dos materiais, pelo uso inadequado da construção e pela falta de conhecimento técnico usado para a manutenção e recuperação dos edifícios. O objetivo deste trabalho é o estudo da influência do ambiente e do tempo nas construções que possuam como revestimento das paredes, argamassas de reboco apresentando deteriorações causadas pelo aparecimento de sais, e a definição das metodologias a usar para prevenir e tratar essa anomalia.

Sabe-se que os danos causados nas construções, pela presença dessas anomalias, são tratados pelo uso de diferentes técnicas e materiais que têm por finalidade primeira a eliminação da fonte de umidade e, conseqüentemente, da migração dos sais, determinando assim o término das manifestações de eflorescências. Estes procedimentos; pouco habituais, são bastante dispendiosos, pois exigem uma mão de obra especializada e o recurso a equipamentos e materiais de custo elevado (muitos importados); os quais, mesmo cumprindo todas as normas de técnica e de uso, muitas vezes não oferecem uma garantia capaz de satisfazer plenamente ao investimento podendo apresentar, dentro de um tempo relativamente curto, falência no tratamento aplicado. Portanto, preocupa-se o estudo em buscar soluções que visem à utilização de argamassas especiais, donde são desenvolvidas composições de traços diferenciados, tanto na dosagem bem como na utilização de materiais específicos e comumente usados na região de Pelotas. Para tal, paralelamente à identificação da origem da umidade e dos sais solúveis; desenvolver-se-ão propostas de dosagens que visam uma argamassa de revestimento capaz de conviver com as deficiências instaladas na construção, sem que o reboco proposto seja atingido pelas eflorescências ou que, pelo menos, impeça sua manifestação por um período de vida bastante amplo, mantendo assim os edifícios saudáveis e adequados ao uso.

1.2-Organização do texto

O presente trabalho está organizado em três partes; divididas em oito capítulos distribuídos conforme se mostra a seguir:

A primeira parte, designada de “Fundamentação Teórica”, contém os três primeiros capítulos. No presente capítulo 1; de Introdução, estão relatados o interesse e objetivos do trabalho e a organização do texto e do levantamento das soluções construtivas tradicionais na região de pelotas e das suas principais anomalias. O capítulo 2 trata especificamente das eflorescências nas construções, descrevendo as origens e as formas de manifestação das formações de eflorescências. No capítulo 3 é desenvolvido estudo sobre a fenomenologia do transporte de umidade e sais em meio poroso; onde se discute, além das generalidades, a ascensão capilar de águas subterrâneas em paredes de alvenaria e a influência da porosidade e do meio ambiente no transporte de umidade entre o substrato e o reboco. Este capítulo propõe, também, o modelo matemático simplificado para umidade de ascensão em painéis de alvenaria.

A segunda parte, designada de “Desenvolvimento do Trabalho Experimental”, é constituída pelos capítulos 4, 5,6 e 7. No capítulo 4, são referidos estudos pormenorizados e específicos realizados em vários edifícios construídos na cidade de Pelotas, alvo direto do trabalho. Neles foram levantadas as soluções tradicionais de fundações, paredes e revestimentos, bem como as anomalias encontradas, incluindo as manifestações de eflorescências e descreve-se o processo que conduziu à escolha do edifício objeto de análise no âmbito da campanha experimental integrada no estudo. Assim, refere-se à seleção, feita numa primeira fase, de edifícios representativos da construção em Pelotas que poderiam ser adequados para aquela campanha e especificam-se depois as características do edifício finalmente eleito para o referido objetivo. O capítulo 5 tratada organização do trabalho experimental, sendo nele definidos os objetivos dos ensaios, as metodologias utilizadas e a seleção dos locais e dos materiais a ensaiar, além dos tipos de ensaios realizados e equipamentos utilizados. No início desse capítulo; descrevem-se o levantamento e a caracterização dos materiais constituintes das argamassas comercializadas na região de Pelotas, a que se procedeu no estudo; e a metodologia seguida no mesmo para propor, com base numa seleção dos materiais em causa e do conhecimento das suas características de qualidade, pureza e de comportamento físico e químico, uma argamassa de reabilitação específica para o tratamento das paredes afetadas por eflorescências. Sendo essa argamassa a que foi aplicada no edifício eleito com vista à avaliação do seu comportamento “*in situ*”. No capítulo 6 é definido o modelo experimental a ser adotado, se constituindo de painéis de alvenaria onde foram aplicadas as argamassas trabalhadas e observado os seus comportamentos às ações da umidade ascendente e sais solúveis. No capítulo 7 são analisados e apreciados os resultados dos ensaios e observações realizados naquele edifício e sobre as argamassas de reabilitação propostas e os respectivos materiais constituintes, bem como os comportamentos destas argamassas aplicadas em painéis experimentais; por fim, este capítulo contempla uma apreciação geral dos resultados obtidos.

A terceira parte, designada de “Conclusão”, é constituída pelo capítulo 8, o qual integra as conclusões, onde se apresenta uma síntese crítica dos resultados, além de proposta futura da investigação neste domínio.

Além dos capítulos acima mencionados, o trabalho apresenta dois Anexos. No Anexo I incluem-se Tabelas e Figuras dos ensaios realizados no edifício selecionado, bem como sobre os materiais dele extraídos. Por sua vez, no Anexo II encontram-se as Tabelas e Figuras dos ensaios realizados sobre as argamassas propostas e os respectivos materiais constituintes.

1.3-Levantamento das soluções construtivas tradicionais na região de Pelotas e suas principais anomalias

1.3.1-Considerações gerais

Os edifícios antigos inventariados possuem características muito semelhantes, ficando o período da sua construção compreendido entre meados dos séculos XIX e XX, onde as construções apresentam uma série de modificações que indicam o abandono das soluções identificadas com a arquitetura colonial. A utilização de novos materiais; principalmente aqueles necessários para o embelezamento e acabamento das edificações, bem como o surgimento de novas tipologias de relação com o lote, a exploração formal e plástica das fachadas e novas soluções de cobertura; entre outros fatores, fez com que, pouco a pouco, a aparência das construções urbanas se fosse modificando, embora não ocorressem transformações significativas das técnicas construtivas.

A construção destes edifícios objetivou a moradia das famílias tradicionais da época e dos novos comerciantes que enriqueciam com o comércio do charque. As edificações possuem basicamente a mesma configuração, ou seja: primeiro piso apoiado diretamente sobre as fundações; tendo como sustentação o próprio terreno compactado, sobre o qual está assente o contrapiso (base para a pavimentação) no caso das pavimentações frias (cozinha, banheiro, corredores) ou sobre caixa de ar (ventilada ou não), formada entre o terreno e o vigamento de sustentação do soalho (barrotes). Quando a caixa de ar é dotada de ventilação, oferece ao primeiro piso uma melhor proteção contra a umidade do solo, evitando ou amenizando a deterioração dos elementos construtivos constituídos de material orgânico (madeiras). Existem edifícios que possuem vãos inferiores com altura suficiente para proporcionar a circulação de pessoas e o uso como moradia

aos empregados, como área de serviço ou como depósito de mantimentos. Estes espaços constituem as caves, donde o conjunto formado pelos barrotes de sustentação e pelo soalho serve de teto a esses compartimentos e de pavimento ao primeiro piso. Já o segundo piso, onde se situa a área íntima (dormitórios e banheiro); também possui pavimento em soalho de tábua, mas nesse piso, o acabamento inferior, que serve de teto ao primeiro piso, é feito em estuque, podendo ter, conforme as posses do proprietário, preciosos ornamentos de gesso ou madeira, realizados por artesãos, muitas vezes oriundos da Europa.

Nos países de clima frio, que possuem uma tradição de conforto ambiental; a temperatura interna dos ambientes que constituem os edifícios; é condicionada e controlada pelo recurso, não só a sistemas de aquecimento, como também a soluções de reforço de isolamento térmico da respectiva envolvente exterior que colaboram para a manutenção de condições de conforto satisfatórias no seu interior e ainda para a economia de energia.

Como o Brasil é considerado um país de clima tropical, existe despreocupação em relação ao conforto térmico durante o período do inverno. Porém, a região Sul do Brasil, formada pelos Estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul, possui estações bem definidas e invernos rigorosos. Nestes Estados e, mais especificamente no Rio Grande do Sul; por estar numa posição geográfica mais próxima das ações das massas de ar polar, oriundas do continente Antártico, deve-se pensar de maneira oposta, dando-se uma maior atenção aos cuidados construtivos que possibilitem o bom uso dos edifícios em períodos de frio intenso. Mesmo com esta diferenciação climática, as construções, na quase totalidade, não são preparadas para atuar satisfatoriamente nesse período; não utilizam equipamentos que determinem um bom conforto ambiental e, quando os utilizam, o fazem de forma pontual, não tratando a edificação como um todo.

Este descuido se deve, em grande parte; a uma prática construtiva que não contempla este tipo de intervenção, quer por desconhecimento, quer pela elevação dos custos de produção que, neste último caso, acaba por inviabilizar o uso de tais procedimentos técnicos na maioria das construções dos Estados do Sul e, conseqüentemente, na região de Pelotas.

1.3.2-Levantamento das soluções

a) Considerações gerais

As soluções construtivas empregadas na cidade de Pelotas e na região Sul do estado do Rio Grande do Sul, conforme foi levantado à este estudo, acompanham as técnicas desenvolvidas na maioria das obras de construção civil do País; excetuando-se os grandes centros urbanos; onde, por se concentrarem a quase totalidade das grandes obras públicas e privadas e, conseqüentemente, as grandes construtoras; estas acabam por utilizar tecnologia mais avançada,

em função das exigências, cada vez maiores, de prazos e custos menores para execução sem perder qualidade, fatores cada vez mais determinadores para a viabilização destas obras.

As técnicas de construção hoje usadas na região de Pelotas são;ainda,na sua maioria, conservadoras e obedecem, basicamente, às soluções empregadas até meados do século XX. Para as edificações inventariadas, construções residenciais até dois pavimentos, que se enquadram dentro do objetivo estudado e correspondem aos prédios antigos que formam o acervo histórico-arquitetônico da cidade e da região, abaixo se descrevem as principais características e técnicas construtivas usadas nas edificações deste período.

b) Das fundações

As fundações dos prédios antigos analisados possuem processo construtivo bastante semelhante. No século XIX, época em que foram construídos os edifícios que hoje constituem o patrimônio histórico da cidade de Pelotas; a base das construções era executada com pedras graníticas (mais abundantes) ou calcárias, as quais possuíam forma irregular e eram assentes sobre colchão de areia grossa, rejuntadas com argamassa de areia e argila ou, em alguns casos, utilizando argamassa de cal; obtida pelo pó da rocha calcária ou pela moagem de conchas marinhas. Verifica-se que as dimensões (profundidade e largura) daquelas fundações eram bastante variáveis, ficando suas medidas condicionadas às dimensões (largura e altura) das paredes a suportar e às cargas da edificação. À medida que a época de construção se aproxima da atualidade, nota-se um menor volume neste tipo de alicerce; ficando com uma largura um pouco maior do que a da parede sustentada, em torno de um palmo para cada lado nas paredes internas e externas, enquanto que nas paredes externas; que divisam com outros lotes, esta saliência ocorre apenas pelo lado interno. Constatou-se que, em média, a camada inferior nos primeiros 0,50m, de cima para baixo; eram de tijolos maciços à frontal, enquanto que a camada abaixo desta era de pedra granítica irregular com uma altura média de 0,80m, sem nenhum tratamento de impermeabilização identificável.

Sabe-se que a barreira estanque era obtida pelo uso de uma camada de betume natural liquefeito pelo aquecimento e espalhado manualmente sobre a fundação e, enquanto este betume ainda estava pastoso, espalhava-se uma camada de areia grossa, que permitia uma melhor aderência com a primeira fiada de tijolos.

Existia um cuidado em manter, como deve ser; o embasamento acima do nível do terreno, permitindo assim, a secagem da água do solo, impedindo ou amenizando a ascensão capilar. Porém, com o tempo e o uso do edifício, verificam-se alterações na altura do terreno, fazendo com que esta zona fique totalmente envolvida, externamente, pelo solo, o que impede a ventilação, concentra a umidade, deteriora a barreira impermeável e inicia ou intensifica os problemas de umidade ascendente.

Já nas construções contemporâneas até dois pisos as fundações (alicerces) são, em geral, contínuas de alvenaria de pedra e constituídas por duas fiadas de blocos de granito (0,30m x 0,30m x 0,30m), onde a primeira fiada é assente sobre camada de areia grossa e rejuntada com argamassa de cimento e areia (1:4). Em algumas construções, em função do tipo de solo, da exigência do projeto ou da disponibilidade de recursos, são empregues estacas ou microestacas. Independentemente da modalidade aplicada, o alicerce é encimado por uma viga em concreto armado, cujas faces, lateral e superior, são devidamente tratadas com um revestimento estanque às ações da água proveniente do solo. O embasamento, onde se apoiam as paredes; que não se situem nas divisas do lote, não recebe nas faces exteriores revestimentos impermeabilizantes, ficando exposto às ações do vento e da insolação, permitindo assim a secagem da umidade que ascende do solo ou pelo contato da chuva. Na zona central da cidade de Pelotas a profundidade média do nível do lençol freático, na fase inicial da escavação situa-se a cerca de 2,40m enquanto que, após 24 horas, quando ocorre o reequilíbrio das cargas atuantes, este nível atinge uma média de 1,20m de profundidade.

c) Das paredes

Nos edifícios antigos se verifica que as paredes, além da função de vedação, possuem fim estrutural, sustentando todas as cargas da construção, como coberturas, pavimentos superiores, etc. São assim maciças e constituídas por pedra, adobes ou tijolos.

Na cidade e na região de Pelotas as construções pertencentes ao século XIX possuem paredes constituídas por tijolos cozidos rejuntados com argamassa de barro e areia e, em edifícios mais importantes e dependendo da localização e da facilidade de obtenção de materiais, de cal e areia. Estas paredes têm espessuras diferenciadas, conforme sua localização e a carga que sustentam. Portanto, encontram-se no mesmo piso dum mesmo edifício, no mínimo, duas espessuras diferenciadas de paredes. Geralmente a parede mestra, localizada na zona central longitudinal do edifício, e as paredes exteriores, por estarem sujeitas a condições mais

desfavoráveis de cargas excêntricas, provenientes do pavimento superior e da cobertura, possuem maior espessura, pois é nelas que atuam as maiores cargas. Já as paredes internas, do piso térreo, diferem das paredes internas do piso superior. No primeiro caso; embora menos espessas, sustentam as cargas secundárias, enquanto que as segundas, geralmente são apenas elementos de vedação e, sendo assim, são constituídos por sistemas construtivos mais leves, os pau-a-pique ou os tabiques, geralmente revestidos com estuque (Figura 1.1). Nas construções de apenas um piso, algumas paredes internas, por não sofrer carregamento, são executadas pelo sistema de pau-a-pique ou tabique.

No sistema de pau-a-pique é desenvolvida uma vedação onde os paus são colocados na vertical, perpendicularmente entre uma travessa horizontal inferior assente no assoalho (baldrame) e o frechal, neles fixando-se por meio de furos ou pregos. Estes paus são frequentemente roliços mantendo as cascas e possuem seção compatível com a espessura pretendida para as paredes que irão compor, em geral com afastamento de 0,15m a 0,20m, condicionados a um diâmetro de 0,10m a 0,15m. Normalmente a estes, são fixados outros mais finos, ripas ou varas, tanto de um lado como de outro, dispostas duas a duas ou intercaladas. O espaçamento entre as ripas é muito reduzido, praticamente inexistente, e elas são amarradas com seda em rama, linho, cânhamo, canabis sativa, tucum, cravete, guaxima, imbé, buriti e outras espécies próprias para amarrações. Estas cordas, no século XIX, genericamente eram conhecidas como embiras. Em alguns locais, ainda se utilizavam para fixação tiras de couro ou pregos. A trama formada pelo conjunto deveria ser suficientemente resistente para receber e sustentar o barro que iria encher os vazios da armação. As varas horizontais eram normalmente de taquaras inteiras ou partidas de fibras de coqueiro ou de canela de ema.[1]

Feita a trama, é o barro jogado e apertado sobre ela, trabalho que se faz apenas com as mãos, sem o auxílio de qualquer ferramenta, tornando este sistema conhecido pelo nome de “pescoção, taponá ou sopapo”, sendo também conhecida como taipa de mão ou taipa de sébe.

Em algumas regiões do Brasil, de clima mais ameno e seco, este tipo de construção era utilizado também para as paredes exteriores. Porém, na região Sul, seu emprego ficou limitado às paredes internas e sem carregamento, geralmente para vedação nos pavimentos superiores, por sua menor espessura, leveza, economia e rapidez de construção.



Figura 1.1-Parede de divisória em pau-a-pique - Edifício antigo

Tratando-se de edifícios habitacionais e/ou de serviços com até dois pisos, as construções atuais da região de Pelotas utilizam paredes estruturais de alvenaria de tijolo cerâmico maciço e furado, respectivamente nos pisos térreo e superior; com espessuras de 0,25m para paredes exteriores e 0,15m para paredes interiores, em ambos os casos já com o revestimento. Raramente são usados outros tipos de materiais de fechamento (blocos de cimento ou de concreto leve).

Para a confecção das alvenarias, na cidade de Pelotas e região, são utilizadas, geralmente, argamassas de cimento, cal e areia média com o traço 1:1:6 (traço mais usual), tanto para o assentamento como para o revestimento.

d) Dos revestimentos

As paredes são no geral revestidas de emboço de barro, completado ou não por reboco de cal e areia. Vez por outra, argamassa-se o barro com estrume de curral, para lhe dar maior consistência e para proporcionar melhor ligação entre o maciço de barro e o revestimento de cal e areia. Como exemplo, no auto de arrematação da cadeia de Sabará, em 1741, é salientado a forma de revestir as paredes: “querem-se as paredes rebocadas de bosta e caiadas tudo na última perfeição”. O Padre *Florian Bancke*, citado por *Paulo Barreto*, assim descreve o processo: “*hacen diferentes revoques en las paredes: el primero es de tierra, arena y estierco caballar secco molido que se mezcla con agua arcillosa; este revoque no sera jamas y mucho menos aún, el*

segundo que se hace de puro estierco vacuno fresco mezcla con arena y caliza de puras conchas quemadas, y con polvo de ladrillo” [1].

Quanto à cal, seria primeiramente importada e depois obtida de conchas ou mariscos queimados, até ao aparecimento da cal comum. Nas construções históricas da cidade de Pelotas, edificadas no século XIX; além da cal obtida pela moagem e queima de conchas e mariscos e da cal importada (pouco frequente); a qual chegava por via marítima ao porto de Rio Grande, cidade distante 60 km de Pelotas, e era trazida em carros de boi ou por via lacustre em pequenas barças que cruzavam a Lagoa dos Patos; utilizava-se também, para melhorar a liga e a trabalhabilidade, o sangue bovino ou o óleo de baleia, o primeiro devido às charqueadas (onde se fazia o charque) existentes na cidade e o segundo, pela proximidade do porto da cidade vizinha [1].

Em alguns compartimentos das edificações, como corredores, hall ou a parte inferior de paredes, os rebocos eram complementados pelo uso da escaiola, a qual propiciava um acabamento mais polido, permitia a pintura de frescos e dava uma característica mais impermeável ao conjunto.

Este tipo de acabamento, muito comum na cidade e na região de Pelotas é uma técnica italiana, chamada de *scagliuola*, que consiste numa mistura de gesso e cola (importados), que os portugueses muito empregaram nesta cidade. Depois de algum tempo, com a utilização dos azulejos, caiu em desuso.

Nas construções atuais da região, a composição da argamassa de reboco mantém-se bastante uniforme e sua utilização, em geral, independe das características do edifício. Este reboco é aplicado sobre uma camada de chapisco ou salpico; numa composição de uma parte de cimento para quatro partes de areia média grossa ou grossa (1:4), que propicia um maior poder de aderência da argamassa de revestimento à base, garantindo assim melhores trabalhabilidade e resistência aos esforços solicitantes, menor índice de fissuração e menor risco de infiltrações e descolamentos.

O revestimento, propriamente, é composto de argamassa de cimento, cal e areia média, em regra com o traço de 1:1:6. Esta camada possui espessura média de 15mm a 20mm, não devendo ser usada com espessuras muito diferentes daquelas para evitar retrações elevadas e os consequentes fendilhamentos. Estas anomalias, geralmente ocorrem em construções de má qualidade, onde as imperfeições na prumada e/ou no alinhamento da alvenaria, são corrigidas pelo uso de argamassa de revestimento que, além de revestir a parede, acaba por disfarçar os defeitos originados de uma execução descuidada.

1.3.3-Levantamento de anomalias num conjunto de edifícios

a) Considerações gerais

Os processos de intervenção em edifícios, antigos ou atuais, que estejam apresentando anomalias devem ser executados depois de cumprido um longo percurso investigatório; o qual começa pelo levantamento, análise e interpretação da situação existente e culmina num diagnóstico das manifestações anômalas identificadas. Só assim poder-se-á estabelecer os parâmetros entre os quais poderemos atuar, definindo os níveis aceitáveis de qualidade e segurança com que a construção ficará após a intervenção de recuperação.

Segundo estudo de DAL MOLIN(1988), *“as anomalias que ocorrem com maior incidência no Estado do Rio Grande do Sul são: as fissurações, encontradas em 66% das edificações, as manifestações de umidade, que afetam 18% das construções e, com 16% do total, encontram-se os descolamentos e outras anomalias”*. Todas estas manifestações são devidas, em grande parte, às oscilações diárias e anuais da temperatura registradas nesta região [2, 3, 4, 5].

As edificações da cidade de Pelotas, de um modo geral, apresentam com maior ou menor intensidade anomalias nos revestimentos de suas paredes; e estas não são exclusivas das construções antigas, sendo verificadas em muitas obras recentes. Para o levantamento e caracterização das anomalias presentes nas edificações da cidade de Pelotas foram observadas 377 edificações no perímetro central da cidade (*). A delimitação deste perímetro deveu-se ao fato de que, nesta zona, existe uma maior densidade de edificações e diversificação de revestimentos [5]. O conjunto dos 377 prédios inventariados possui 424 fachadas (95 de esquina e 329 não de esquina), as quais apresentaram uma incidência de 1575 anomalias (Tabela 1.1).

b) Caracterização das edificações

Em função das características urbanas da cidade de Pelotas as 424 fachadas estão homoganeamente distribuídas entre as orientações norte e sul, leste e oeste, donde 107 fachadas (25,2%) estão orientadas para o norte; 93 (21,9%) para o sul; 124 (29,2%) para o leste e 100 (23,6%) para o oeste. Estas fachadas se distribuem, por localização em relação ao quarteirão; em fachadas de esquina, num total de 95 ou 22,4% e em fachadas não de esquina, totalizando 329 fachadas ou 77,6% (Tabela 1.2). Estas construções possuem uma distribuição em número de pisos variando de 1 (um) a 6 (seis), sendo que 302 fachadas (71,2%) compõem paredes de edifícios com

(*) não incluem os edifícios construídos entre meados do século XIX e início do século XX.

um piso, 96 fachadas (22,6%) estão distribuídas em prédios com até dois pisos e os e os restantes 6,2% compreendem construções de 3 a 6 pisos.

Tabela1.1 -Anomalias identificadas em 424 fachadas de 377 edificações da cidade de Pelotas

Tipo de lesão	N.º de anomalias	% sobre o total de lesões
Manchas	304	19,3
Umidade ascensional	271	17,2
Descolamento em placas	168	10,7
Descoloração	144	9,1
Fissurações tipo mapeamento	102	6,5
Fissurações horizontais	85	5,4
Fissurações verticais	84	5,3
Eflorescências	68	4,3
Fissurações inclinadas	65	4,1
Descolamento com esfarelamento	55	3,5
Elementos quebrados	45	2,9
Apodrecimento	44	2,8
Corrosão	43	2,7
Erosão	30	1,9
Umidade acidental	20	1,3
Grandes fendas	19	1,2
Umidade por infiltração	18	1,1
Descolamento com empolamento	6	0,4
Vesícula	4	0,3
Total	1575	100,0

A idade das 424 fachadas pôde ser identificada em 314 delas; pois, em 110 não houve condições em obter estes registros. Das 314 fachadas com idades conhecidas quase metade, ou seja, 208 (49,1%); foram construídas antes de 1970 (onde estão inclusos os edifícios históricos), as demais tiveram sua construção compreendida entre 1970 e 1999 (Tabela 1.3). Constata-se, de acordo com o uso, que a grande maioria das fachadas, 292 (68,9%); estão em edifícios utilizados para fins residenciais e que, embora situada na zona central da cidade, a abrangência da área inventariada compreende edificações fora da região especificamente comercial. Fachadas pertencentes a edifícios comerciais compreendem um total de 99 (23,3%); as restantes 33 fachadas (7,8%) estão distribuídas em edifícios de uso misto, edifícios escolares, edifícios públicos e outras utilizações.

Tabela 1.2 -Distribuição das fachadas por localização do edifício no quarteirão

Localização	Fachadas	%
Fachada de esquina	95	22,4
Fachada não de esquina	329	77,6
Total	424	100,0

Tabela 1.3 -Idade das 424 fachadas de 153 edificações da cidade de Pelotas

Ano	Fachadas	%
Anterior a 1970	208	49,1
De 1970 a 1974	12	2,8
De 1975 a 1979	34	8,0
De 1980 a 1984	25	5,9
De 1985 a 1989	19	4,5
De 1990 a 1994	11	2,6
De 1995 a 1999	5	1,2
Sem idade conhecida	110	25,9
Total	424	100,0

c) Tipos dos materiais utilizados nas edificações

Neste item descrevem-se a constituição das fachadas, as soluções das coberturas, os materiais constituintes das esquadrias e as soluções de revestimento das fachadas das 153 edificações inventariadas no perímetro central da cidade de Pelotas.

Das 424 fachadas dessas edificações, a quase totalidade, 418 (98,6%), é constituída de alvenaria estrutural em tijolo cerâmico; as restantes 6 (1,4%) são de construção em madeira.

Por sua vez, 300 fachadas (70,7%) integram-se em edificações protegidas por coberturas em telhas cerâmicas de vários tipos; correspondendo 199 fachadas (46,9%) a coberturas com telhas capa-canal, 76 fachadas (17,9%) a coberturas com telhas francesas e 25 fachadas (5,9%) acoberturas em telha romana. Das restantes fachadas, 108 (25,5%) integram-se em edificações

com cobertura de chapas de fibrocimento e 16 fachadas (3,8%) em edificações com coberturas metálicas ou em concreto.

Os edifícios apresentam 283 fachadas (66,75%) contendo esquadrias de madeira, 74 fachadas (17,45%) com esquadrias em metal e 67 fachadas (15,8%) com esquadrias em madeira e metal.

A identificação dos materiais utilizados evidencia a predominância do revestimento de reboco com pintura, o qual foi empregue em 369 fachadas (87,0%). As 55 fachadas restantes (13,0%) estão revestidas por variados materiais de acabamento, entre os quais plaquetas cerâmicas, tijolos aparentes, revestimentos pétreos, pastilhas e rebocos aparentes, além de outros de menor expressão.

d) Estado de conservação dos edifícios analisados

O estado de conservação dos edifícios pertencentes ao perímetro central da cidade de Pelotas, segundo os critérios de *Paladini (1995)*, *que considera como lesão grave o defeito que impede a utilização do produto para o fim a que se destina; ou diminui sua vida útil afetando sua eficiência e, por lesão superficial, os defeitos menores que não atingem o desempenho do produto na sua função essencial*, é aqui apresentado, relacionando as anomalias identificadas com as fachadas das construções [6].

Verifica-se que praticamente metade das fachadas, ou seja, 189 fachadas (44,6%) apresentam bom estado de conservação. Em muito bom estado de conservação são identificadas 66 fachadas (15,6%), em estado regular se encontram 156 fachadas (36,8%) e, em estado ruim, estão 13 fachadas (3,1%). Estas fachadas apresentam de zero a onze lesões, distribuídas de forma assimétrica, donde 212 fachadas (50,0%) apresentam 3 ou menos lesões. Dasquelas identificadas, os resultados evidenciam que as manchas de sujidades ou por vegetação parasitária são as mais frequentes com 19,3% das lesões; seguidas da umidade ascensional com 17,2% das lesões, descolamento em placas com 10,7% das lesões e descoloração com 9,1% das lesões. Também apresentaram significativa incidência às fissurações do tipo mapeamento com 6,5% das lesões, as fissurações horizontais com 5,4% das lesões e as fissurações verticais com 5,3% das lesões. Já as eflorescências, objeto deste trabalho, apresentaram índice de incidência um pouco menor; totalizando 4,3% das lesões, valor que pode, em princípio, ser considerado baixo. Porém; como se trata de fachadas exteriores, lavadas pela chuva e varridas pelo vento, se pode considerar como importante esta quantidade de lesões por eflorescência, presumindo-se que, no interior das edificações este tipo de lesão deva apresentar incidências bem mais significativas, as quais,

com certeza, contribuirão para a ocorrência de anomalias bem mais gravosas à construção (Figuras 1.2, 1.3, 1.4 e Tabela 1.4).



Figura 1.2 -Manchas de sujidade e fissurações

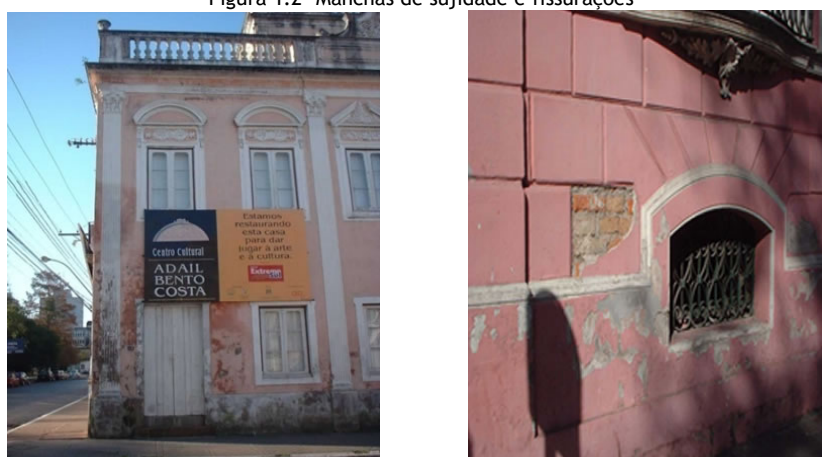


Figura 1.3 -Umidade ascensionalfigura 1.4 -Descolamento em placas e eflorescências

As 1575 lesões, identificadas na Tabela 1.1, estão distribuídas em 2339 elementos construtivos; sendo que o soco foi o elemento construtivo que apresentou maior concentração de lesões com 27,2% das lesões, seguido do pano cego com 22,9%, da platibanda com 17,0%, da moldura com 8,9% e dos muros com 5,4% das lesões (Tabela 1.4).

O fato de o soco ser a zona das fachadas com maior concentração de lesões deve-se, talvez ao fato de não receber os cuidados recomendados pela boa técnica construtiva, tais como uma impermeabilização eficaz e uso de revestimentos mais fortes, capazes de resistir a choques, respingos de água e erosão. Justamente no troço formado pelo soco é que se observa a maior

concentração de umidade e de manifestações de eflorescências e/ou criptoflorescências derivadas da umidade ascensional, o que evidencia a inexistência, falência ou insuficiência de impermeabilização da base das paredes.

Tabela 1.4 -Distribuição das lesões nas fachadas analisadas, por elemento construtivo

<i>Elemento construtivo</i>	<i>Lesões</i>	<i>% total de elementos construtivos com lesões</i>
<i>Soco</i>	638	27,2
<i>Pano cego</i>	536	22,9
<i>Platibanda</i>	399	17,0
<i>Moldura horizontal</i>	208	8,9
<i>Muro</i>	127	5,4
<i>Porta</i>	87	3,7
<i>Parapeito</i>	71	3,0
<i>Janela</i>	64	2,7
<i>Elemento decorativo</i>	43	1,8
<i>Sacada</i>	29	1,2
<i>Grade</i>	28	1,2
<i>Marquise</i>	22	0,9
<i>Moldura vertical</i>	21	0,9
<i>Laje</i>	16	0,7
<i>Soleira</i>	15	0,6
<i>Peitoril</i>	14	0,6
<i>Pilar</i>	7	0,3
<i>Cobertura</i>	2	0,1
<i>Viga</i>	1	0,0
<i>Outros</i>	11	0,5
<i>Total</i>	2339	100,0

Do ponto de vista dos materiais de revestimento, a maior incidência das lesões registradas ocorreu nos acabamentos em reboco com 64,8% da totalidade das lesões, principalmente naqueles que utilizaram argamassas inorgânicas (mais utilizados nos revestimentos analisados), e nas pinturas, com 18,3% das lesões. Estes altos valores expressam o grande uso deste tipo de revestimento na cidade de Pelotas. Considerando-se que das 424 fachadas analisadas 382 empregaram reboco com pintura ou reboco aparente em seu revestimento (Tabela 1.5) e que 1041 lesões foram localizadas neste material, chegamos a uma média de 2,75 lesões por fachada revestida em reboco.

Tabela 1.5 -Distribuição das lesões nas fachadas analisadas por tipo de material de revestimento

Material de revestimento	Lesões	% dos materiais com lesões
Reboco	1041	64,8
Pintura	294	18,3
Madeira	50	3,1
Plaqueta cerâmica	47	2,9
Metal	42	2,6
Tijolos aparentes	38	2,4
Pastilha	34	2,1
Revestimento Pétreo	11	0,7
Minerplast	10	0,6
Betão aparente	9	0,6
Cerâmica vidrada	7	0,4
Telha	2	0,1
Plástico	1	0,1
Outros	21	1,3
Total	1608	100,0

As lesões identificadas evidenciam a falta de proteção nas fachadas dos edifícios, pois a maior parte das anomalias ocorreu, de forma localizada, em zonas não protegidas (Tabela 1.6).

Tabela 1.6 -Distribuição das lesões nas fachadas analisadas por condição de exposição

Condição de exposição	Lesões	%
Zona não protegida	1541	97,8
Zona protegida	34	2,2
Total	1575	100,0

A incidência das lesões mostra que 1020 lesões (64,8%) ocorreram de forma localizada e que 555 lesões (35,2%) distribuíram-se de forma generalizada nas fachadas (Tabela 1.7). A predominância das lesões ocorreu no primeiro piso das edificações, embora também tenham ocorrido lesões no segundo piso e no terceiro ou mais pisos. Estas lesões apresentaram quantidades de 1486, 218 e 51; respectivamente no primeiro piso, no segundo piso e no terceiro piso ou em pisos superiores, o que corresponde a um espaço vertical de 0 a 3 m, de 3 a 6m e de mais de 6m; totalizando, de acordo com este último parâmetro, 424 lesões (74,1%) para uma altura até 3m, 112 lesões (21,3%) de 3 a 6m e 26 lesões (4,5%) (Tabela 1.8).

Tabela 1.7 -Distribuição das lesões nas fachadas analisadas por incidência

Incidência	Lesões	%
Lesões localizadas	1020	64,8
Lesões generalizadas	555	35,2
Total	1575	100,0

Tabela 1.8 -Distribuição das lesões nas fachadas analisadas por piso

Pisos	Lesões	%
Primeiro piso	1486	84,7
Segundo piso	218	12,4
Terceiro ou mais pisos	51	2,9

Os posicionamentos das fachadas em relação às orientações norte, sul, leste e oeste não estão relacionados com a quantidade de lesões, evidenciando que, independentemente da orientação, as lesões se distribuem equilibradamente nas fachadas (Tabela 1.9).

Tabela 1.9 -Distribuição das lesões nas fachadas analisadas por orientação

Orientação	Lesões	%
Norte	390	24,3
Sul	363	22,7
Leste	473	29,5
Oeste	376	23,5
Total	1602	100,0

e) Levantamento pormenorizado das eflorescências

As 424 fachadas exteriores dos edifícios avaliados na cidade de Pelotas indicaram uma série de anomalias, as quais podem traduzir possíveis consequências aos interiores daquelas construções; porém, como o objetivo primeiro do presente trabalho é a avaliação das anomalias de reboco, quer exteriores quer interiores, que afetam os paramentos das construções, o estudo dirige-se então à análise e avaliação destas anomalias dos edifícios.

As manifestações de eflorescências e/ou criptoflorescências encontradas nos edifícios analisados evidenciam erros de execução, de concepção ou de projeto.

Grande parte da anomalia de eflorescência e/ou de criptoflorescência mostra nitidamente uma característica de despreocupação com a manutenção do edifício. Verifica-se que o estado saudável da construção, em quase todos os casos, significa apenas a correção estética das imperfeições que se manifestam em pontos bem específicos, os quais possam causar desconforto visual (Figuras 1.5 e 1.6). As áreas pouco visíveis e que possam ser deixadas para futuras correções vão determinando um acréscimo de anomalias implicando, quando da intervenção, programas de recuperação mais onerosos e demorados, em geral, de mais difícil identificação e correção.

A presença das eflorescências e/ou criptoflorescências ocorre, geralmente, nas faces internas das paredes até porque é no interior das construções que existem menores taxas de ventilação, maior concentração de umidade e condensações e ausência de lavagem pela água das chuvas. Nos prédios analisados, contaminados por estas anomalias, verifica-se que a grande incidência é originada pelo contato com a água do solo, por não existir uma barreira que propicie um eficaz impedimento da ascensão capilar da umidade. Também os materiais construtivos são de qualidade inferior: tijolos muito porosos, mal cozidos e que utilizaram argilas impuras, areias com algum teor de sais solúveis, principalmente cloretos e sulfatos, além de impurezas orgânicas e cales provenientes de reações químicas incompletas. Especificamente as construções modernas, devido às exigências de cumprimento de prazos de finalização, acabam por receber, num período inadequado, camada final de acabamento, que utiliza massas corretivas e tintas plásticas ou acrílicas. Este tipo de acabamento determina o fechamento superficial dos revestimentos e a consequente vedação da parede, impedindo a normal perda da umidade de construção por evaporação da água. Já nos edifícios antigos se verifica que, quando são submetidos a manutenção, esta se realiza em regra de uma forma inadequada, sem uma prévia avaliação dos materiais e das técnicas construtivas utilizadas, o que acaba por determinar o uso de materiais impróprios, principalmente tintas e massas plásticas e acrílicas, os quais, no primeiro momento, parecem solucionar a anomalia mas que, num tempo relativamente curto, acabam por agravar as manifestações de eflorescências.



Figura 1.5 -Encobrimentos das eflorescências por revestimento em madeira e pedra



Figura 1.6 -Agravamento das eflorescências pelo uso inadequado de materiais na construção e/ou recuperação

Como resultado provável do carregamento de sais à superfície das alvenarias pelo movimento de água na estrutura porosa da mesma; discute-se, no capítulo seguinte às formas das suas manifestações. Esta discussão tem o papel de esclarecer, de forma sucinta, as condições nas quais as eflorescências e criptoflorescências ocorrem, bem como de estabelecer a relevância destas no prosseguimento do estudo em questão.

Capítulo 2

Eflorescências nas construções

2.1 - Considerações gerais

2.2 - Origens e formas de manifestação das eflorescências

2.1-Considerações gerais

O fenômeno das eflorescências consiste no aparecimento de formações salinas (manchas esbranquiçadas) sobre a superfície de muitos materiais de construção (argamassas de revestimento, concretos, estuques, gesso, tijolos cerâmicos, pedras, etc...). Na maioria dos casos esta anomalia não causa problemas maiores que o mau aspecto que resulta desta manifestação; porém, existem circunstâncias em que a formação salina pode levar a lesões tais como os descolamentos dos revestimentos ou das pinturas, desagregações das paredes e até o colapso de elementos construtivos. O mecanismo das eflorescências é bastante simples: quase todos os procedimentos construtivos utilizam água como um elemento da construção. Esta água pode estar contida no interior dos próprios materiais usados ou derivar de ações exteriores (chuva, condensações e água do solo) as quais acabam por se somarem, elevando assim o teor de umidade das paredes e conduzindo, provavelmente, ao surgimento de alguma manifestação patológica no edifício.

A umidade é um dos graves problemas que podem afetar as construções. Portanto, é de essencial importância conhecer as formas de sua manifestação e as anomalias construtivas a que pode dar origem nas edificações. Segundo estudo desenvolvido no Estado do Rio Grande do Sul [4], 18% das anomalias encontradas nas construções é proveniente da umidade. Por meio deste conhecimento é que poderemos elaborar corretamente um diagnóstico e identificar as causas, propondo as soluções de reabilitação adequadas.

A umidade é proveniente das intempéries, quando a água da chuva penetra, através das fachadas e/ou cobertura de uma edificação; da condensação, quando o vapor de água existente no interior de um ambiente entra em contato com superfícies frias e condensa, ou se difunde através dos elementos da envolvente dos edifícios, condensando no seu interior; da água do solo, que aparece nas áreas inferiores das paredes, que absorvem esta água através da fundação; e da água contida nos materiais que compõem a construção e/ou no processo construtivo empregado.

A presença de umidade nas construções determina um estudo mais aprofundado desta anomalia, onde se busca conhecer e tratar com maior conhecimento técnico a anomalia advinda da umidade, garantindo assim, uma boa habitabilidade dos edifícios. As manifestações de umidade, embora muitas vezes sejam desconsideradas as suas importâncias, determinam consequências bastante gravosas, principalmente nas áreas social, cultural e econômica.

A degradação causada pela umidade é um fator bastante presente nas habitações populares, quer pelo uso de materiais de qualidade inferior, quer pelo processo construtivo descuidado, o que acaba por gerar uma sucessão de anomalias, as quais, isoladamente ou combinadas, determinam o aparecimento das manifestações de umidade. Estes edifícios se tornam insalubres e acabam por contribuir para as manifestações de doenças nos seus utentes, além da deterioração da construção.

Já nas edificações antigas, a falta de manutenção ou as formas erradas de intervenções acabam por torná-las inapropriadas ao uso. Muitas vezes, esta impossibilidade de ocupação dos edifícios gera problemas sociais, pelo desalojamento de pessoas que os habitam, e grandes danos culturais, determinados pela descaracterização de períodos relevantes da cultura. Estes dois fatores, social e cultural, com certeza, acabam por determinar grandes perdas econômicas, os quais poderiam ser evitados com maiores investimentos nos cuidados construtivos e preventivos, no conhecimento das causas e anomalias determinadas pela presença da umidade e nas formas corretas de recuperação dessas manifestações nas construções.

Como se sabe, grande parte dos materiais de construção possuem, na sua constituição própria, a presença de sais solúveis ou foram contaminados por sais exteriores, provenientes de outros materiais, do solo ou da poluição ambiental. A presença de umidade ou de sais nas construções, por si só, não caracteriza um problema construtivo. As manifestações de eflorescências são determinadas, basicamente, pela ação conjunta da água e dos sais solúveis. Este fenômeno só não ocorre quando uma das duas variáveis não estiver presente, principalmente a água.

Durante a absorção de água por parte do material de construção os sais são incorporados dissolvidos, e são transportados do interior do material até sua superfície durante o processo de secagem. Uma vez evaporada a água, os sais cristalizam-se novamente e se fazem visíveis em forma de cobertura, geralmente de cor branca, a qual se chama de eflorescência. Por efeito do ar, os sais podem transformar-se, na superfície, em compostos insolúveis, constituindo um defeito permanente do aspecto do material, ou também podem permanecer solúveis em água. Neste caso serão dissolvidos por novas absorções de água, podendo penetrar novamente no material. A mudança constante de diluição e cristalização dos sais solúveis em água conduz com o tempo à destruição da estrutura do material; donde, paulatinamente, o material vai debilitando-se e começa a degradar-se, erodindo e/ou provocando o desprendimento de camadas completas dos revestimentos [3, 7, 8, 9, 10, 11, 12].

As características apresentadas pela eflorescência, como cor e esboroamento nos revestimentos, estão diretamente relacionadas com as composições químicas dos sais solúveis. Os sais solúveis de coloração esbranquiçada são sais de cálcio, potássio e sódio. As colorações de cor marrom ou verde, além de conter sódio, potássio e cálcio, também contêm óxido de ferro, manganês e material orgânico.

2.2- Origens e formas de manifestação das eflorescências

A presença de sais na construção é um fator que se pode considerar; de certo modo, como de caráter normal, pois os próprios materiais utilizados possuem, na sua grande maioria, sais pertencentes aos seus componentes ou adquiridos por contaminações exteriores, provenientes do solo, do ambiente ou de outros materiais que entram em contato com aqueles elementos construtivos.

Como já mencionado anteriormente, a simples presença dos sais solúveis, de forma isolada, não determina à construção um fator danoso, por estarem os sais inertes dentro das partes construídas. Porém, muitos dos sais que se encontram nas edificações são solúveis, apresentando, em alguns casos, a característica da higroscopicidade (capacidade de absorver a umidade contida no ar).

A manifestação de formações salinas nas construções ocorre, basicamente, de duas formas: eflorescências e criptoflorescências.

Denominam-se “eflorescências” os cristais de sais, geralmente de cor branca, que se depositam na superfície de tijolos, telhas e dos revestimentos de paredes. Os mecanismos da eflorescência são muitos e frequentemente complicados. No entanto, explicando com simplicidade, os sais solúveis em água que estejam em solução, são trazidos à superfície da alvenaria e depositados nela pela evaporação. As soluções salinas podem migrar através das superfícies das unidades, entre a argamassa e as unidades, ou pela estrutura porosa quer da argamassa, quer das unidades da alvenaria [2, 11, 12, 13, 14].

Há certas condições simultâneas que devem estar presentes para que se dê a ocorrência da eflorescência. Os sais solúveis devem estar presentes nas unidades aparentes, nas unidades do interior das alvenarias espessas, nos componentes da argamassa, nos ornamentos, etc.; e tem também de existir uma fonte de água que deve estar em contato com os sais durante tempo suficiente que permita a dissolução destes. A alvenaria deve permitir que ocorra a migração das soluções salinas para a superfície e esta deve estar em contato com um ambiente que seja indutor da evaporação da água.

É aparente, pelo acima exposto, que se a alvenaria tiver sido construída por forma a não conter sais solúveis em água, ou a não permitir que sejam penetradas pela água, as eflorescências não deverão aparecer. No entanto nas alvenarias convencionais expostas ao tempo, nenhuma destas condições pode ser cumprida. Consequentemente, a maneira mais prática para a eliminação das eflorescências é reduzirem-se todos os fatores contributivos ao mínimo.

As manifestações de eflorescências inicialmente são precedidas pelo aparecimento de manchas de umidade, as quais podem ter origens diversas, na superfície aparente dos revestimentos, estejam estes revestimentos pintados ou não. Após algum tempo estas manchas começarão a secar, geralmente, da periferia da mancha para seu interior ou da parte superior para baixo, determinando assim, as chamadas zonas de umedecimento/secagem. Durante o processo de secagem começa a se revelar, nesta superfície, o surgimento de áreas claras e esbranquiçadas, determinadas pela recristalização dos sais solúveis. Este processo pode ser passível de vários ciclos sucessivos, ocorridos em períodos bastante pequenos.

Quando o revestimento utilizado apresenta características impermeáveis; quer pelo uso de aditivos integrados na sua composição, quer por técnicas de impermeabilização superficial (pinturas com tintas plásticas ou acrílicas e revestimentos betuminosos); quer pelo fechamento dos poros dos materiais constituintes (por estarem colmatados por cristais de sal); a umidade que consegue contaminar e dissolver os sais encontra grande dificuldade em chegar à superfície externa do revestimento, ocorrendo, quando da redução das fontes de umidade ou em períodos de temperaturas mais elevadas, no interior do paramento a formação de cristais de sal. Inicialmente este fenômeno fica oculto durante um período variável; mas com as repetidas fases que ocorrem e as consequentes expansões interiores; que exercem pressões bastante significativas; determinam expansões de dentro para fora e acabam por se manifestar na superfície na forma de um aumento de volume localizado; os quais rompem o revestimento e a camada da película protetora, mostrando no seu interior a argamassa de reboco deteriorada misturada aos sais cristalizados, determinando assim, o fenômeno conhecido como criptoflorescências [15].

Nas alvenarias de tijolos cerâmicos sem revestimento exterior (tijolo à vista), a forma de manifestação das eflorescências possui etapas muito semelhantes aos fenômenos ocorridos nas alvenarias rebocadas. Como a maioria dos demais materiais de construção, o tijolo cerâmico é um material poroso, donde os poros são interligados por canais capilares, por onde caminha a água que o contata e nele penetra. O próprio processo de fabricação do tijolo e o material utilizado muitas vezes determinam a presença de sais solúveis incorporados ao produto. Esta parede desprotegida de revestimento superficial, ao ser contatada pela água da chuva, acaba transferindo esta água para o interior da alvenaria. Esta transferência pode ocorrer pela superfície desprotegida do próprio tijolo (quando este não recebe proteção hidrofugante) ou pela junta da argamassa e assentamento (muitas vezes; poroso, irregular e fendilhada). A água que penetra na alvenaria propaga-se para a face interna desta e pode atingir toda a sua espessura. Quando o período da chuva acaba, esta água permanece, por um período de tempo, dentro da parede e, em função do vento e da insolação externa, começa a secar. Este processo de secagem determina uma inversão no fluxo de caminhamento da água; significando um movimento do interior para o exterior da alvenaria. Com o processo de secagem, os sais solúveis, dos tijolos e/ou argamassa, acompanham este fluxo de retorno e acabam se acumulando na superfície exterior onde a água evapora e o sal cristaliza, ocorrendo às formações esbranquiçadas, a eflorescência. Em paredes de pedra as manifestações de eflorescências são identificadas pelo aparecimento de manchas escuras ou esbranquiçadas (as quais dependem da origem das eflorescências) sobre as faces exteriores das pedras. Estas manchas ocorrem em função das reações químicas entre os materiais orgânicos contidos nas pedras e os álcalis (soda e potássio) provenientes do aglomerante utilizado. A água que atinge a superfície da parede penetra na junta e carrega consigo os álcalis até ao interior das pedras. Depois, pelo processo de secagem, chegam à superfície na forma das manchas acima mencionadas.

A osmose pode também ser considerada como um acréscimo de agressividade. Trata-se de um processo físico-químico que ocorre quando uma solução de maior concentração procura caminhar na direção de soluções menos concentradas, para assim tentar homogeneizar a diluição, determinando novos movimentos da água capilar [2].

As manifestações de eflorescências e/ou criptoflorescências são determinadas basicamente pela ação conjunta da água e dos sais solúveis que estão contidos nos paramentos das construções, donde estas anomalias podem também sofrer a influência de outros fatores, próprios da construção ou do ambiente donde está localizado o edifício [14].

Os sais eflorescentes que contaminam as construções apresentam, geralmente, origem química alcalina, donde são identificados sulfatos e carbonatos terrosos alcalinos, além de cloretos. Os sais mais comuns encontrados em eflorescências são compostos por sulfatos e carbonatos de sódio, potássio, cálcio, magnésio e alumínio. Também podem ocorrer cloretos nas eflorescências. Esta é geralmente a consequência do uso do cloreto de cálcio como acelerador na argamassa, da contaminação das unidades de alvenaria ou da areia das argamassas pela água do mar, ou da utilização imprópria de ácido hidroclorídrico em soluções de limpeza. As eflorescências são cumulativamente complicadas pelas muitas possíveis origens de sais solúveis. Os sais solúveis podem estar presentes nas unidades da alvenaria (tijolo, blocos interiores, ornamentação) e na argamassa; ou podem resultar quer da água da chuva que contata as superfícies externas do edifício e, ao penetrar nas falhas dos revestimentos, carrega os elementos poluentes (que podem conter sais) para o interior das paredes, quer da água do solo, e ainda de outras fontes conforme se referirá adiante.

No caso de alvenarias construídas em tijolos, quando ocorre a manifestação de eflorescência na face da parede, frequentemente e erradamente é assumido como sendo por culpa do tijolo. Não é esse geralmente o caso. Existem, no entanto, sais solúveis presentes em muitas das unidades que constituem o conjunto da parede.

Nas unidades de *tijolo*, em consequência das matérias primas e da alta temperatura associadas ao seu processo de fabrico, é possível existirem fases solúveis no interior do tijolo acabado. Se for absorvida água por tais produtos, os sais solúveis entram em dissolução e a eflorescência pode-se formar conforme se vai desenvolvendo a evaporação à face do tijolo. Estes tijolos são contaminados com sais solúveis em água durante a etapa de cozedura do processo de fabrico, segundo *BROWNELL* [16], que afirma: “Produtos tais como estes irão apresentar eflorescências quando colocados em água destilada, mesmo se forem tomadas todas as precauções para se eliminarem as contaminações exteriores”.

O potencial que uma unidade de alvenaria tem para a manifestação de eflorescências pode ser facilmente identificado pela utilização do teste de eflorescência, conforme prescrito na ASTM C67 [17].

Quando as alvenarias são constituídas por blocos de concreto e ocorre a presença de água suficiente para contatar e dissolver os sais, verifica-se uma maior incidência da manifestação de eflorescências nas superfícies dos paramentos.

Num estudo desenvolvido por *YOUNG* [18], onde foram comparados vários tipos de blocos de concreto e de tijolos cerâmicos; foram medidos o teor de sais solúveis e a tendência para eflorescência dos diversos tipos de unidades ensaiadas, tendo-se concluído que as unidades em concreto continham entre duas a sete vezes mais sais solúveis que os teores encontrados nos materiais cerâmicos.

Os ornamentos construtivos que compõem à edificação, tais como corrimãos, capeamentos, soleiras, lintéis, pedras-de-fecho, etc..., são feitos frequentemente com materiais diferentes; que não cerâmicos. Estes ornatos podem ser em pedra natural, pedras artificiais, concretos, etc., os quais podem conter sais solúveis e contribuir, significativamente, para a eflorescência na face dos tijolos adjacentes. As argamassas utilizadas, tanto para o assentamento dos tijolos bem como para o revestimento das paredes, podem ser um contribuinte significativo para as formações de eflorescências, segundo a afirmação de *BROWNELL* [16]:

“A primeira e mais óbvia fonte de contaminação dos tijolos que de outra maneira estariam livres de eflorescências é a argamassa usada na construção das paredes. A argamassa está em contato íntimo com os tijolos pelo menos em quatro das suas seis faces. É aplicada ao tijolo numa condição molhada e pastosa que proporciona ampla umidade para a transferência dos sais solúveis a partir dessa argamassa para os tijolos. Se algum material solúvel em quantidade apreciável estiver presente na argamassa, ele será transportado para o tijolo proporcionalmente à quantidade de umidade transferida” [19, 20].

“O mais simples caso de contaminação com sais solúveis sobre tijolos livres de eflorescências é a migração de soluções de “álcalis-livres” a partir da argamassa para o tijolo”. Esta situação não é só o mais simples mecanismo, mas também o mais comum. No mercado, é conhecida por “flores da construção nova”.

Os cimentos utilizados como aglomerante de algumas argamassas possuem álcalis solúveis em água, donde os mais vulgares são o sódio e o potássio. Os álcalis presentes no cimento Portland (mais usados) variam conforme a origem deste, entre limites aproximados de 0,02% até 0,09% em peso desse cimento [13]. Por informações dos próprios fabricantes, em função da região de produção do cimento, podemos ter alguns cimentos Portland com teor de álcalis entre 0,03% até 0,27% em peso do cimento, determinando assim, uma probabilidade de ocorrência de eflorescências bastante elevada. Por outro lado os sulfatos contidos nos cimentos contribuem para constituir a suspeita de que estes elementos podem ser tão significativos como os teores de álcalis para a manifestação de eflorescência. Com efeito, os processos modernos de fabricação

de cimento induzem ao acréscimo de largas quantidades de sulfatos na manufatura deste produto.

A utilização da cal como aglomerante componente da argamassa ainda gera a discordância de alguns investigadores quanto à contribuição deste material na manifestação de eflorescências nas paredes. Em artigo publicado em 1959 por *T.J. Minnick* [21] é demonstrado que a adição de cal, de argila ou de areia à composição de uma argamassa geralmente não contribui para a eflorescência. De fato, estes componentes tendem a diluir os efeitos deletérios de um cimento altamente alcalino. Por outro lado, a cal é relativamente solúvel. A sua presença pode servir para neutralizar os ácidos sulfúricos gerados no interior da alvenaria. No entanto, uma solução de limpeza que contenha ácido hidrocloreídrico pode produzir cloreto de cálcio muito solúvel, o qual pode migrar para a superfície. Mesmo assim, a cal na argamassa é muito importante no estabelecimento de uma boa coesão entre os tijolos, e por isso aumenta a resistência à água das alvenarias.

As areias utilizadas na argamassa são essencialmente siliciosas, e como tal não são solúveis em água. As areias, no entanto, podem estar contaminadas com materiais que contribuem para a eflorescência. Esta contaminação pode incluir água do mar, escorrimentos provenientes da terra, de plantas vivas e de matérias orgânicas em decomposição, entre outras; donde, qualquer destes materiais pode contribuir para a eflorescência.

Além das argamassas e das unidades usadas na execução da alvenaria, existem outras fontes exteriores de sais que podem contribuir para a formação de eflorescência. Dentre elas se podem destacar os aditivos, a água contida nos solos e a atmosfera.

Os aditivos utilizados nas argamassas são produzidos em larga variedade pela indústria e na maioria são constituídos por produtos patenteados, donde não são divulgadas suas composições. Os efeitos dos aditivos nas propriedades das argamassas são geralmente limitados à fluidez, à retenção da água e à resistência, não havendo muita informação sobre alterações na capacidade de coesão, quer entre a argamassa aditivada e os tijolos, quer entre a argamassa aditivada e armaduras eventualmente existentes. Sabe-se, por experiência em obra, que alguns aditivos podem reduzir a coesão entre a argamassa e tijolos, determinando assim uma maior vulnerabilidade à penetração de água em paredes em alvenaria, o que pode contribuir às eflorescências. Por estas razões não são recomendáveis a utilização em argamassas de aditivos com componentes desconhecidos, a menos que, pela larga experiência prática e/ou por testes laboratoriais, se saiba que estes materiais não irão oferecer riscos à redução da coesão bem como contribuir às manifestações de eflorescências.

Outro fator a ser observado, quanto ao uso de aditivos, é o emprego de cloreto de cálcio, muitas vezes adicionado às argamassas com o objetivo de acelerar a pega. Este material não é recomendado para alvenarias que contenha peças ou armaduras metálicas, porque a corrosão do metal envolto pela argamassa irá ocorrer quando as condições de exposição lhe forem favoráveis.

O limite recomendável, no caso de uso de cloreto de cálcio, conforme indicação do fabricante; deve ser limitado a uma dosagem máxima que não exceda 2% em peso do cimento Portland utilizado; no caso de outro tipo de cimento, esta quantidade não deve ultrapassar 50% do valor anterior, ou seja, 1% do total de cimento empregado na alvenaria. Obedecendo-se a estes valores quantitativos, o cloreto de cálcio não irá contribuir para a eflorescência.

O solo onde está assente a construção pode conter sais solúveis. Estes sais são dissolvidos pela água contida no solo e, caso haja contato deste solo com as alvenarias do edifício, esta água poderá ser absorvida pela alvenaria e pode subir, por ação capilar, vários decímetros acima do solo, carregando os sais dissolvidos, tornando possível a acumulação de sais nas alvenarias.

Em regiões costeiras e/ou de grande concentração industrial, poderá ocorrer a contaminação das alvenarias pelos gases sulfurosos contidos na atmosfera. A permanência desta situação durante um período de tempo irá provocar a desintegração da superfície da argamassa de revestimento e das juntas (caso de paredes de tijolo à vista); donde estes ácidos poderão atacar os componentes do próprio tijolo.

Muitas vezes a presença de eflorescências nas paredes das construções é confundida com o salitre. Entre estas duas anomalias existe uma grande diferença. O processo de formação de eflorescências é constituído principalmente, como já se referiu, por reações químicas de sais de metais alcalinos, como o sódio e o potássio, e de sais de alcalinos terrosos, como o cálcio e o magnésio, que são total ou parcialmente solúveis na água [7, 9, 16, 22].

A manifestação dos processos deteriorativos, causados pelo salitre nas construções, é determinada, basicamente, por nitrato de cálcio, que é o resíduo do desenvolvimento de bactérias que utilizam para sua nutrição o amoníaco proveniente da água do solo e o carbonato de cálcio existente nas paredes.

As bactérias existentes no solo encarregam-se de decompor os materiais poluentes, gerando o amoníaco, que entra em solução com a água contida no próprio solo. A água do solo, impregnada de amoníaco e bactérias, penetra nas paredes por capilaridade e atinge as faces expostas ao ar. Quando a concentração de amoníaco atinge 0,2 gramas por litro, em determinadas zonas, as bactérias transportadas pela água ou existentes sobre a superfície aparente, desenvolvem-se; estas bactérias têm por principal atividade a oxidação, produzindo inicialmente ácido nitroso e depois ácido nítrico, com utilização do oxigênio do ar e do amoníaco contido na água. Com ajuda destes ácidos, elas atacam o carbonato de cálcio das paredes, de onde extraem elementos carbonados necessários ao seu desenvolvimento. O subproduto desta reação é o nitrato de cálcio que constitui assim, o salitre, reforçando o fenômeno da eflorescência. A temperatura adequada para que ocorram estas reações situa-se entre 24 e 29°C e, abaixo de 5°C, o processo de formação de salitre não ocorre.

Todos os materiais constituídos com carbono (carbonato de cálcio da pedra, do concreto, da argamassa, hidrocarbonatos da madeira, do papel e das pinturas) são atacados por estas bactérias. A esta corrosão se acrescenta a ação dos ácidos nitrosos e nítricos, cuja decomposição favorece o desenvolvimento de mofo e fungos nas superfícies expostas. Sob estas superfícies, a ação de degradação se exerce em profundidade e de modo não perceptível. Frequentemente, quando se decide pela intervenção recuperadora, a parede está profundamente comprometida.

Para combater o aparecimento do salitre, basta atacar uma ou mais das condições necessárias à sua formação, quer de forma preventiva, quer de forma curativa.

Outro tipo de bactéria usa o enxofre, poucas vezes atuante, no qual o resíduo é o sulfato de cálcio que, por possuir maior volume, provoca o empolamento do revestimento. A presença de salitre nas construções é, geralmente, desencadeada pelo somatório das reações determinadas pela ação do nitrato e do sulfato de cálcio, raramente esta manifestação patológica ocorre de forma isolada. Na Tabela 2.1 estão indicados os sais que podem contaminar as construções, os de maior frequência, seu grau de solubilidade bem como as origens mais prováveis [19].

Tabela 2.1 -Características mais importantes das eflorescências

Natureza química das eflorescências			
Composição química	Fórmula química	Solubilidade em água	Provável fonte
Carbonato de cálcio	CaCO ₃	Pouco solúvel	Carbonatação da cal lixiviada da argamassa e da argamassa de cal não carbonatada
Carbonato de magnésio	MgCO ₃		
Carbonato de potássio	K ₂ CO ₃	Muito solúvel	Carbonatação dos hidróxidos alcalinos de cimento de elevado teor de álcalis
Carbonato de sódio	Na ₂ CO ₃		
Hidróxido de cálcio	Ca(OH) ₂	Solúvel	Cal liberada na hidratação do cimento
Sulfato de cálcio bi-hidratado	CaSO ₄ .2H ₂ O	Parcialmente solúvel	Hidratação do sulfato de cálcio do tijolo
Sulfato de magnésio	MgSO ₄	Solúvel	Tijolo e água de amassamento
Sulfato de cálcio	CaSO ₄	Parcialmente solúvel	
Sulfato de potássio	K ₂ SO ₄	Muito solúvel	Reação tijolo-cimento-agregados / água de amassamento
Sulfato de sódio	Na ₂ SO ₄		
Cloreto de cálcio	CaCl ₂		Água de amassamento
Cloreto de magnésio	MgCl ₂		
Nitrato de potássio	KNO ₃		Solo adubado e/ou contaminado
Nitrato de sódio	NaNO ₃		
Nitrato de amônia	NH ₄ NO ₃		
Sais mais frequentes			

Quando as formações de eflorescências são originadas pelos sais solúveis contidos dentro dos materiais de construção, este processo tende a ter um fim, pois a quantidade de sal acaba por esgotar-se e o ciclo de umidificação/cristalização pode desaparecer ao fim de um determinado período.

Ao contrário, quando o processo de deterioração é em função da migração dos sais que contaminam os solos, considera-se este ciclo permanente, pois os materiais contaminadores estão em grandes quantidades no solo e são facilmente renovados pela circulação de água. Portanto, é muito importante tomar às devidas precauções antes de construir o edifício, ou seja, executar barreiras estanques eficientes ao impedimento das migrações de água, para, com isso, evitar o combate aos efeitos advindos do contato da água do solo e dos sais solúveis com as paredes da construção.

O processo de deterioração causado pelos sais está mais diretamente ligado à migração da água do solo na direção das faces livres das paredes; podendo ocorrer também por infiltrações da água da chuva, por condensação do vapor de água contido no interior dos edifícios e pela água advinda dos materiais de construção e/ou do processo construtivo.

Para que ocorra a contaminação da parede por sais que provenham do solo por ascensão capilar é preciso que ocorram as seguintes condições:

- a parede apresente uma superfície exposta ao ar e outra em contato com o solo
- o solo contenha umidade
- o solo contenha sais solúveis
- os materiais constituintes das paredes sejam porosos
- a não existência uma barreira de estanque que impeça a ascensão capilar da umidade
- existência de bactérias (no caso da presença de nitratos) no solo ou no interior das paredes

Com estas condições atuantes, começa no próprio solo o processo de contaminação das paredes e sua posterior degradação. Este solo possui sais e materiais orgânicos nitrosos, que podem ter sua origem nos adubos animais, nos fertilizantes industriais, materiais de dejetos domésticos ou industriais, materiais de demolição, etc.

Em geral, as eflorescências não provocam muitos danos nos paramentos exteriores do edifício, as pequenas alterações no aspecto das paredes frequentemente são eliminadas pela lavagem provocada pela chuva sobre as fachadas ou por limpeza com jatos de água.

Conforme descrito anteriormente, se a origem dos sais solúveis é proveniente unicamente dos materiais, o reaparecimento sucessivo das eflorescências é cada vez mais atenuado e os sais são constantemente eliminados, diminuindo sua quantidade; neste caso, a lavagem da superfície exterior é suficiente para eliminar os depósitos de sais que nela se manifestam. Ao contrário, se os sais têm origem na água do solo, sua renovação é ilimitada, e a chuva sozinha não o eliminará. Acresce ainda que, nem todos os casos são assim tão simples: certos sais pouco solúveis, tais como os carbonatos e sulfatos de cálcio, não são dissolvidos pela chuva; para sua eliminação é necessário um tratamento eficaz.

Sobre os revestimentos internos das construções as eflorescências são bem mais danosas pois, devido aos efeitos das condensações, das condições deficientes de ventilação e do aumento da concentração de umidade, essa anomalia pode ser agravada. Porém, uma simples limpeza superficial, comumente utilizada, pelo uso de água, não só não irá determinar a redução da eflorescência, como pode intensificar o processo de deterioração instalado no revestimento, originando, além de descolamentos, manchas e alterações das pinturas até a erosão destas superfícies.

Sabe-se que as presenças de umidade e sais solúveis, isoladamente, não constituem danos à construção. Porém, estas duas manifestações atuam em conjunto, determinando reações patológicas que afetam os edifícios. Dentre estas reações, a mais importante é a manifestação das eflorescências; ficando assim, o tratamento contra as eflorescências integradas dentro da luta contra a umidade [15].

A cristalização dos sais, tanto na superfície como no interior dos materiais constituintes, é a maior ameaça à existência dos revestimentos de paredes pintadas [23].

A relação existente entre a cristalização dos sais e as características do clima; são estudadas e consideradas como um fator de grande importância. As medidas destas características climáticas são combinadas com as observações das formações de cristais de sal e seus efeitos. Os resultados mostram que os sais higroscópicos cristalizam periodicamente de acordo com a variação da umidade relativa do ar e, também, as variações da temperatura do ar. Sempre que a umidade relativa do ar baixar a valores inferiores a um valor crítico, que depende do tipo de sal (ex. 75% para o cloreto de sódio), ocorre a formação de cristais de sal no trecho superior da mancha de umidificação da parede, zona onde ocorre o processo úmido-seco. Este tipo de cristalização de sais produz atualmente a principal deterioração das paredes pintadas.

Em edifícios com ambientes aquecidos, a cristalização dos sais e a posterior degradação dos revestimentos e da alvenaria estão diretamente ligadas à variação da umidade nestes ambientes e ao efeito potencializador do aquecimento ambiente sobre a secagem das paredes; que pode acelerar aquele processo. A variação de umidade pode; também, estar subordinada às variações do clima exterior e às consequentes trocas térmicas entre o interior e o exterior da edificação, induzindo no período de inverno possíveis condensações na superfície interna e/ou no interior das paredes exteriores e a solubilização e posterior cristalização dos sais existentes nas mesmas. Em ambientes não aquecidos, a variação sazonal da temperatura induz cristalizações periódicas.

As deteriorações em pedras, rebocos, paredes, pinturas e outros materiais porosos constituintes dos monumentos e edifícios são obviamente atribuídas às ações dos sais solúveis.

Apesar de todos os estudos que têm sido publicados sobre este tema, pouco se conhece sobre o real processo desenvolvido “*in situ*”.

O estudo prático das cristalizações requer a observação, a determinação e a documentação das formas de degradação (os diferentes tipos de sais, formas de cristalização, os solventes, sua distribuição dentro das paredes, etc.). Com base nestes dados e nas condições climáticas dos ambientes estudados combinados com os períodos de observação das cristalizações dos sais, pode-se, durante um prazo de muitos anos, determinar onde e como cristalizam os diferentes sais, que morfologia apresentam e quais os tipos de deterioração produzem. Somente muitas observações combinadas, análises e medições climáticas comparativas darão a base realística para uma experimentação laboratorial [23].

Os sais acumulados nas paredes têm origem nos íons que são liberados das pedras, dos tijolos, de outros materiais usados e do solo onde a construção está apoiada. Deposições provenientes da atmosfera (limpa ou poluída) determinam o metabolismo dos organismos. Os íons são principalmente diluídos e transportados em meios aquosos, concentrando-se e acumulando-se onde o solvente (água) evapora, ou seja, na superfície das paredes. A cristalização; em função do tipo de sal, dar-se-á em diferentes localidades da zona umedecida, ou seja, os sais menos solúveis, sulfatos e carbonatos, são concentrados e enriquecidos nas partes mais baixas e os mais solúveis, cloretos e nitratos, manifestam cristalização nas áreas mais altas da manifestação da umidade capilar ascensional [23].

A formação das eflorescências é determinada pela solubilidade dos sais, e este fenômeno é favorecido por alguns fatores externos. Sabe-se, com efeito, que:

- o maior ou menor teor de sal dissolvido está diretamente ligado à maior ou menor quantidade de água e ao tempo de contato com os componentes construtivos;
- a maior elevação da temperatura ajuda na dissolução dos sais e favorece uma evaporação mais rápida da água absorvida;
- um maior grau de porosidade de alguns componentes da alvenaria pode determinar que estes apresentem uma maior cristalização de sais.

As eflorescências nem sempre se desenvolvem nas partes mais contaminadas por sais solúveis, pois estes sais migram por capilaridade para os materiais de porosidade mais elevada, tendendo a depositar-se sobre eles. Esta recristalização dos sais é, diretamente, dependente do transporte da umidade, que contém o sal solúvel, no meio poroso.

O conhecimento sobre o provável carregamento de sais solubilizados às superfícies das alvenarias e das condições para que ocorram suas recristalizações; quer eflorescentes que criptoflorescentes, permitem, no próximo capítulo, discutir-se a fenomenologia do transporte de umidade e sais solúveis em meio poroso e, também, a definição de um modelo matemático simplificado a utilizar no presente trabalho.

Capítulo 3

Fenomenologia do transporte de umidade e sais em meio poroso

3.1 - Considerações gerais

3.2 - A ascensão capilar de águas subterrâneas em paredes de alvenaria.

3.3 - Influência da porosidade e do meio ambiente no transporte de umidade entre o substrato e o reboco

3.4 - Modelo matemático simplificado para umidade de ascensão em painéis de alvenaria

3.1-Considerações gerais

Os mecanismos que controlam o transporte de umidade numa parede são complexos; quer na fase de difusão e convecção de movimentos de vapor quer na fase líquida, determinados por fatores como a capilaridade e a gravidade; o que resulta em diferentes gradientes de pressão internos. No entanto, cabe salientar que o transporte, tanto na fase líquida como na fase de vapor ocorre simultaneamente. Outros fatores que contatam o edifício, como as temperaturas, as umidades relativas do ar, as precipitações, as radiações solares e as pressões dos ventos; definem as condições de comportamento e as ações que poderão ocorrer, quer no seu exterior quer no seu interior; supondo-se, nestas situações, a não ocorrência de histerese variável, de fusão, de congelamento e de ebulição. De um ponto de vista físico, a absorção, a condensação e a capilaridade, podem ser considerados os três mecanismos fundamentais para a ocorrência de umidade. Estes três mecanismos permitem explicar, na maioria dos casos, as variações no valor do teor de umidade no interior dos materiais de construção porosos. Os três mecanismos não são independentes, podendo-se adicionar a eles a ação da gravidade e pressões externas; o que aumenta a complexidade da investigação experimental e o esforço de criar um modelo do movimento global de água no interior dos materiais de construção [24].

Os edifícios, antigos ou contemporâneos, são constituídos de materiais porosos (pedras, tijolos, argamassas, concretos...), os quais quando submetidos ao convívio de umidade e sais solúveis, podem, comumente, manifestar a anomalia de recristalização destes sais. Quando esta recristalização se dá na superfície externa dos paramentos, formando uma película visível e esbranquiçada, chamamos de *eflorescência*. Porém, este mecanismo de nova formação de cristais de sal pode, conforme as características e comportamento dos materiais; ocorrer dentro dos poros; principalmente, na zona de contato entre o substrato e o revestimento de reboco; neste caso, chamamos esta anomalia de *criptoflorescência* (subflorescência).

Os fatores termodinâmicos e cinéticos, que influenciam a pressão de recristalização, estão diretamente ligados a presença da umidade, a ascensão capilar, a evaporação, a hidratação do cimento, aos sais que contatam o edifício e, também, pela atividade metabólica de micróbios. [25].

A ascensão capilar das águas subterrâneas que contatam a base da construção tem seu grau de contaminação diretamente conduzido pela distribuição, tamanho e inter-relação entre os poros contidos nos materiais que constituem a alvenaria da construção; bem como, o grau de molhabilidade do corpo poroso.

A umidade ascendente é um movimento de subida da água do solo através de uma parede de alvenaria permeável. A água sobe através dos poros da alvenaria por meio de um processo chamado de capilaridade, no qual as moléculas de água são eletroquimicamente atraídas às superfícies minerais, permitindo que a água se mova verticalmente através dos poros de um determinado tamanho, contrariamente a força gravitacional. O fenômeno da ascensão capilar vem sendo observado ao longo dos séculos e é um problema constante e onipresente [18].

Desta forma, neste capítulo serão apresentados algumas considerações recentemente divulgadas na literatura sobre o fenômeno de ascensão capilar em uma parede, no sentido da proposição de uma teoria simplificada que represente o comportamento observado em laboratório de paredes revestidas com diferentes argamassas e submetidas à ascensão capilar.

3.2-A ascensão capilar de águas subterrâneas em paredes de alvenaria.

A ascensão das águas subterrâneas em paredes de alvenaria dar-se-á pela sucção capilar da umidade que contata os poros dos componentes da alvenaria. Conforme a altura da área molhada aumenta, percebe-se que o crescimento desta medida ascensional da umidade é registrado de forma cada vez menor; porém, a evaporação da superfície molhada se mantém praticamente constante.

A ascensão capilar da água subterrânea pode ser esquematicamente elucidada na Figura 3.1. Na zona próxima ao solo ocorre uma elevada taxa de umedecimento e uma menor secagem, dando lugar à formação de uma lâmina líquida sobre a superfície da parede. A evaporação aumenta a concentração de sal na água, não significando, diretamente, uma solução supersaturada nessa zona, pois, parte do sal em excesso retorna à fonte original. Mais acima na parede, onde a taxa de aumento de umidade é mais lenta, a solução pode tornar-se supersaturada, de modo que os cristais afloram à superfície gerando eflorescência. Na altura h_s , a taxa de fornecimento de água por ascensão capilar torna-se igual à taxa de evaporação e acima desse local, a água evapora dentro da parede, resultando em subflorescência ou criptoflorescência (ou seja, um crescimento de cristais abaixo da superfície).

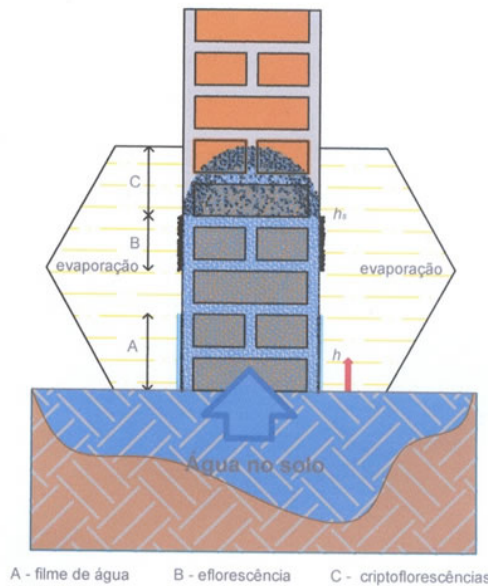


Figura 3.1-Esquema gráfico da ascensão capilar e evaporação de um muro em contato com o solo úmido

A ascensão da água em contato com a parede é dependente da pressão capilar p_c , a qual é diretamente vinculada ao tamanho e a distribuição dos poros e a molhabilidade do corpo poroso. O fluxo da água J no interior da parede é expresso pela lei de *Darcy* (Equação 1) [26,27].

$$J = -\frac{k}{\eta} \nabla p \quad (1)$$

Onde, k é a permeabilidade da parede, η a viscosidade da água e p a pressão. Havendo um aumento de altura da zona molhada h indica que o gradiente de pressão ∇p é aproximadamente $(p_c + \rho_L gh)/h$, onde p_c é a pressão capilar, ρ_L é a densidade do líquido e g é a aceleração gravitacional.

O fluxo da ascensão capilar (J_C) é determinado pela Equação 2 [26,27]

$$J_C = \Phi A \frac{dh}{dt} = \frac{k(-p_c - \rho_L gh)}{\eta h} \quad (2)$$

Nessa equação, A é a área da superfície da parede em contato com o solo e Φ é a porosidade do material. Esta equação não se aplica quando $t = 0$, pois os efeitos da inércia são importantes [25], sendo válida, portanto, para pequenas distâncias acima do solo. Neste caso, ocorre uma redução da taxa de ascensão capilar e uma manutenção mais ou menos constante da taxa de evaporação J_E , conforme ocorre o acréscimo da altura h . As condições de estabilidade das

ações atuantes no sistema determinam um estado de equilíbrio quando a pressão dos poros variar linearmente de $p = 0$, ao nível do solo, para $p_c + \rho_L g h_s$ na altura h_s , conforme mostrado na Figura 1, onde $J_c \approx J_E$, se $J_E = 0$, então, h_s é apenas a altura de equilíbrio da ascensão capilar, h_{eqm} .

O estudo teórico da transferência de massa e calor em elementos porosos insaturados e; em particular, nos materiais de construção, tem sido alvo de importantes trabalhos de investigação com base em vários modelos fundamentados na mecânica dos fluidos, utilizando as leis de difusão de massa [fase líquida (Darcy) e fase vapor (Fick)] e difusão de calor (Fourier). Podemos nos referir às obras de *Luikov* [28], *Vos* [29], *De Vries* [30,31], *Glaser* [32], *Philip e De Vries* [33], *Krischer* [34], *Crausse* [35] e *Whitaker e Chou* [36].

Discutem-se a seguir alguns destes modelos no sentido de entender as evoluções na explicação das várias formas de transporte de umidade em meios porosos.

3.2.1 - Modelo de Glaser

As condições para a continuidade na interface; no modelo de difusão térmica de *Glaser*, baseia-se na *Lei de Fick*, e ainda é amplamente usado em engenharia civil (devido à sua facilidade de uso gráfico), para análise de risco de condensação e na definição das especificações de qualidade que os elementos construtivos devem satisfazer. O modelo de *Glaser* apresenta uma grande simplicidade, pois só permite que a umidade unidirecional possa se transferir e intervir na fase de vapor, assumindo estado estacionário e, este método, permite prever a condensação. No entanto, considera que a fase líquida resultante da condensação não tem qualquer movimento subsequente. A comparação do valor teórico e os resultados experimentais mostram que a teoria de *Glaser* é insuficiente para prever o fenômeno da condensação [37, 38].

3.2.2 - Modelo de Freitas, Abrantes e Crausse

O modelo matemático utilizado por *Freitas, Abrantes e Crausse*; no trabalho publicado em 1996 "*Moisture Migration in Building Walls - Analysis of Interface Phenomena*" [24]; foi estabelecido por *Luikov* [28] e *Philip e De Vries* [33], tendo a vantagem de permitir a análise, ao mesmo tempo, da transferência de umidade, tanto na fase em líquido como na fase em vapor e a transferência de calor das paredes do edifício. O sistema de equações propostos por ambos os autores são semelhantes. A diferença está só na escolha de variáveis para o nível de umidade [baseada no peso (kg / kg) por *De Vries* e baseada em volume (m^3 / m^3) por *Luikov*].

A teoria por *Philip e De Vries* [33] assume que os materiais não são deformáveis, são isotrópicos e macroscopicamente homogêneos e, também, que não há histerese, nem manifestações dos fenômenos de congelamento, fusão e ebulição.

O sistema de equações diferenciais que vão desenvolver-se no programa de computador, TRhumidade, para simular o comportamento de parede do edifício em relação à transferência de calor e de umidade para um fluxo de unidirecional, em regime variável, é o apresentado na seguinte equação:

$$\frac{\partial w}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(D w \cdot \frac{\partial w}{\partial x} + D t \cdot \frac{\partial t}{\partial x} \right) \quad (3)$$

$$\rho^* C^* \cdot \frac{\partial w}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda^* \cdot \frac{\partial t}{\partial x} \right) \quad (4)$$

Nas equações de conservação de energia (3) e (4) acima os seguintes pressupostos, entre outros, foram introduzidos; quer implicitamente, quer explicitamente.

- O efeito da gravidade é desconsiderado. Para os materiais utilizados no estudo experimental foi provado que a gravidade não tem influência no teor de água dos perfis. Para os materiais o estudo experimental mostrou que a força da gravidade tem nenhuma influência sobre os perfis de teor de água. O transporte de calor devido ao fenômeno da evaporação/condensação é insignificante quando comparado com o transporte por difusão [33].
- O transporte de calor durante o fenômeno da evaporação/condensação não é considerado quando comparado com o transporte por difusão.

A parede de um edifício, em geral, consiste em várias camadas; e, assim, a investigação da transferência de umidade presume conhecimento sobre a continuidade entre as camadas. De um modo geral, podemos considerar três tipos de contatos, configurados como se segue:

- (a) “Continuidade hidratada” - quando existe interpenetração da estrutura porosa de ambas as camadas,
- (b) “Contato natural” - quando há contato sem interpenetração porosa de ambas as camadas,
- (c) “Espaço de ar entra as camadas” - quando existe uma bolsa de ar entre as camadas com alguns milímetros de espessura.

Na situação de “continuidade hidratada”, a equivalência da pressão capilar ($P_{c1} = P_{c2}$) provoca um relacionamento entre os valores do teor de umidade dos dois materiais na interface ($W_1 = RW_2$), estabelecido por uma função $R(P_c)$. Conforme apresentado na Figura 3.2.

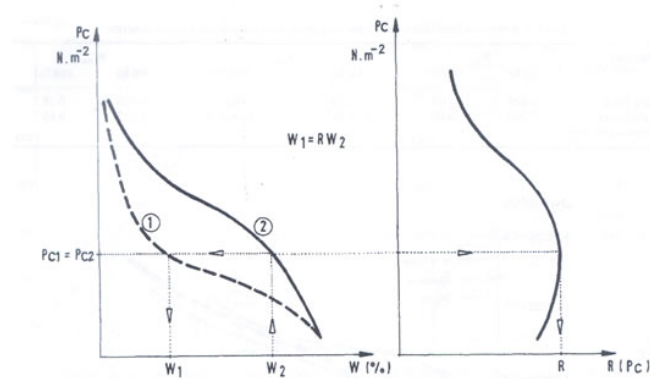


Figura 3.2 -Princípio de cálculo para a relação $R(P_c)$ [15]

Na situação de “contato natural”, admitindo-se a continuidade da temperatura e da equivalência do fluxo térmico, para que ocorra o fluxo máximo de umidade transmitida entre as interfaces das camadas, conforme nos estudos experimentais desenvolvidos por *V.P. Freitas, V. Abrantes e P. Crausse* [15, 35], foi identificada a presença de uma resistência hídrica na interface, nestas condições de fluxo máximo temos $W_1 \neq W_2$.

Na situação de “espaço de ar entre as camadas”, a equivalência da umidade relativa permite estabelecer uma relação entre os valores da umidade dos materiais em ambos os lados da interface ($W_1 = S \cdot W_2$) estabelecida por uma função $S(\varphi)$.

As três configurações de contato analisadas entre duas camadas diferentes, bem como a definição das equações de continuidade, acima, definem a continuidade na interface entre as camadas; porém, continuam a ser uma questão muito complexa, ainda distante de uma solução definitiva.

3.2.3 - Modelo Hall-Hoff

No trabalho publicado em 2007 por *Christopher Hall e William Hoff* “*Rising damp: capillary rise dynamics in walls*” [39] é desenvolvido um modelo expandido (com base naquele apresentado por *Hall e Hoff* em 2002). Nesse modelo temos uma estrutura de altura limitada e em contato hidráulico com o solo, esta possui espessura constante (b) e é composta por material poroso;

onde, nessa estrutura, a única propriedade do material que precisamos conhecer é a sorvidade (S), onde esta propriedade é facilmente medida (Hall 1989). Se a estrutura é composta por vários materiais, precisamos conhecer apenas algum tipo de a sorvidade média ou composta. Toma-se como ponto de partida a proposição de que o aumento da umidade é o resultado de competição entre a absorção capilar de água ao longo da fronteira AA' e a evaporação da água ao longo da superfície exposta BB' , apresentada na Figura 3.3 [9, 39] Adota-se a taxa total de absorção ao longo de AA' como U e a taxa total da evaporação BB' como E . Quando a altura de ascensão capilar (h) estabilizar-se em algum valor (h_{ss}); tem-se um estado de equilíbrio em que $U=E$. Este não é um estado de equilíbrio estático, onde nada acontece, mas um estado de equilíbrio dinâmico em que a 'água in' é equilibrada com a 'água out'; onde, estabilizando a umidade ascendente, há um fluxo constante de água através do sistema $F_{ss} = E_{ss} = \epsilon h_{ss}$, onde ϵ é a taxa de evaporação por unidade de área da superfície molhada; onde, na realidade, a magnitude do fluxo constante F_{ss} é um dos resultados mais interessantes da análise [39].

A quantidade total de água armazenada dentro unidade do comprimento da parede é $Q = \theta_w b h$. Onde θ_w é o teor de umidade da região molhada da parede. Para ser mais preciso, é o volume de água, em média, por unidade volume de material, sobre toda a região molhada. A quantidade θ_w aparece em todas as derivações de fórmulas que tratam da ascensão capilar, por isso o seu significado e medição são importantes. Ele pode ser obtido por medição direta do teor de umidade na parede. No entanto; sabe-se de muitos estudos em trabalhos de pesquisa anteriores que o valor de θ_w sempre se situa na faixa bastante estreita entre a fração de volume de poros do material de f ("porosidade" convencional) e a chamada umidade capilar do material (valor obtido numa experiência de ascensão capilar de curto prazo). Uma vez que o teor de umidade capilar é, raramente, inferior a aproximadamente $0.7f$, portanto, se tomarmos $\theta_w = 0.85f$, não se estará a introduzir muitos erros e, se as medições no local estão disponíveis, tanto melhor. A Figura 3.3 a é um esboço da síntese física bidimensional de subida de umidade numa parede genérica. Uma vez que o objetivo proposto por Christopher Hall e William Hoff [39] é compreender as relações de escala na dinâmica de umidade ascendente, unidimensional e aglomerada, conforme na Figura 3.3(b).

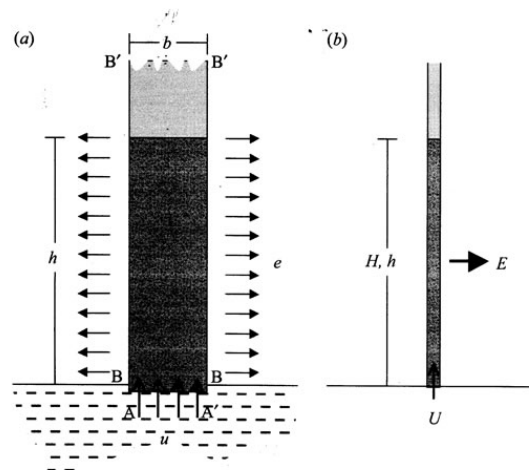


Figura 3.3 - Umidade ascendente [39]

Nesta representação, a taxa de perda evaporativa E depende apenas da altura da região molhada h ; se a evaporação ocorre em um ou ambos os lados da parede física, não é de interesse. A evaporação em todos os níveis é aglomerada, tal como a absorção total capilar, na base da parede.

Consideram-se, por sua vez, as duas quantidades U e E . A água que entra na estrutura ao longo de AA' depende das propriedades de absorção de água de capilaridade do material de parede (s). Para quase todos os materiais de construção, água de absorção capilar, em uma barra de matéria seca, obedece a uma simples lei física $i = St^{1/2}$, onde i é o volume acumulado de água absorvida (por unidade de área de influxo da superfície) e t é o tempo decorrido. Este fato fornece uma definição da propriedade de sorvidade: S é facilmente determinado por um teste laboratorial sobre uma pequena amostra de material.

Ressalta-se aqui que a sorvidade não é um parâmetro empírico, mas é rigorosamente definido na teoria do fluxo insaturado e na teoria da difusão capilar baseada em equações de *Buckingham-Richards* [39]. Nota-se que, como a água sobe na parede, a gravidade exerce uma força para baixo. Esse efeito pode ser facilmente incluído no modelo, mas implicam em algumas complicações matemáticas. No entanto, as forças de capilaridade são geralmente dominantes em paredes e, portanto, desenvolve-se aqui, a teoria desconsiderando as forças gravitacionais:

$$U = b \frac{di}{dt} = \frac{1}{2} bSt^{-1/2} = \frac{bS^2}{2i} \quad (5)$$

Para descrever a absorção capilar, para o trecho AA' da parede, desde $i = \theta_w h$, tem-se a equação abaixo, que mostra que a taxa U em que a água é absorvida na base da parede varia inversamente com a altura da ascensão capilar h .

$$U = \frac{bS^2}{2\theta_w h} \quad (6)$$

Segundo *Hall and Hoff* [39], os efeitos da gravidade na subida de umidade são, na maioria das vezes, determinados por forças capilares dominantes, tendo a drenagem gravitacional um desempenho menor; uma vez que temos equações exatas para a abordagem ao surgimento de estado estacionário, com e sem os efeitos da gravidade nos capilares, onde se pode apoiar esta afirmação por cálculo. Na Figura 3.4 se mostra uma comparação da cinética da ascensão capilar para dois exemplos, negligenciando a drenagem gravitacional, em que as alturas no estado estacionário da ascensão são 500 e 1000mm. Para estes valores específicos dos parâmetros S , b e θ_w , a gravidade reduz as alturas em estado estacionário à aproximadamente 488 e 951mm; respectivamente, no pressuposto de que a altura de equilíbrio final de ascensão, na ausência de evaporação, é de 10m. O efeito sobre a taxa de aumento é menor. Em casos mais extremos, onde as condições são tais que o aumento chega a alturas de umidade maiores, a influência pode ser maior. Contudo, estas condições são raras e, provavelmente só de significado prático, em longas escalas de tempo onde a evaporação é excepcionalmente pobre.

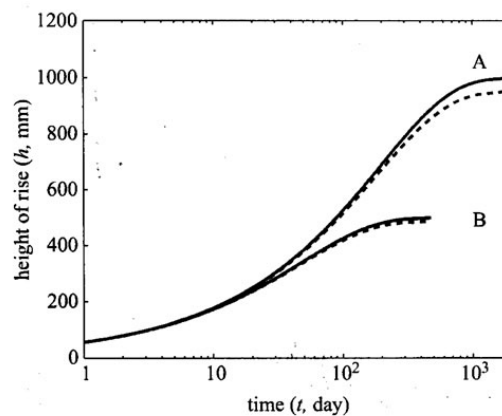


Figura 3.4 -Mostra o fraco efeito da gravidade sobre a ascensão capilar em paredes [39]

No *BRE Digest "Rising damp in walls: diagnosis and treatment"* [41], umidade ascendente é descrita como o resultado da alvenaria porosa sugando água do solo. Ela sobe na parede, muitas vezes, a uma altura de um metro ou mais, onde, geralmente, deixa uma marca quase horizontal, bem característica. Os materiais constituintes de uma parede são, até certo ponto, porosos, de

modo a conter certo volume de ar. A porosidade é definida como a razão entre o volume de ar dividido pelo volume total do material, o que é sempre menor que a unidade. As bolsas de ar são, muitas vezes, ligadas por uma rede de capilares, permitindo, assim, que o líquido passe através do material.

A água tem uma forte afinidade para com os poros e capilares de pequenas dimensões presentes, o que provoca a subida da água na estrutura da alvenaria, sendo a água arrastada para dentro dos materiais constituintes pela força da capilaridade. A absorção capilar ou capilaridade é maior no caso dos pequenos capilares e, inversamente proporcional ao raio do poro, como descrito na lei de *Jurin*; já a altura de ascensão (h) da água em um tubo é regulada pela equação (7):

$$h = \frac{2\gamma \cos \theta}{r\rho g} \quad (7)$$

onde:

γ = tensão superficial,

θ = ângulo de contato,

r = raio capilar

ρ = densidade do líquido,

g = gravidade.

A equação descreve a relação entre o tamanho do poro e a altura da ascensão capilar da umidade. Para o caso da água foi verificado que quando o tamanho do poro é de 0,1mm o acréscimo da ascensão capilar é de 14cm, mas que, quando o tamanho do poro é de 0,01mm, a altura da área molhada pela ascensão capilar pode ser de 1,4m. O tamanho do poro em tijolos e argamassas pode ser tão pequeno como 0,001mm, de modo que existe um potencial significativo para a ascensão capilar [42].

O potencial para a ascensão capilar é regido pela equação (7), mas há outros fatores a serem levados em consideração.

Quando o líquido flui através de um tubo, existem fatores que retardam o fluxo. A lei de *Hagen-Poiseuille* descreve o comportamento e a equação mostra que a determinação da taxa de fluxo é inversamente proporcional ao quadrado do raio do poro. Isto significa que à medida que os poros se tornam menores, a taxa de fluxo é cada vez mais reduzida. A importância disto é que os fatores de fricção neutralizam o efeito de absorção capilar. Como os poros tornam-se menores, há

uma maior tendência para que a água suba, mas o processo torna-se mais lento devido a contribuições de atrito. Portanto, há duas influências concorrentes [42].

3.2.4 - Modelo Scherer

A grande maioria dos corpos porosos possui poros interconectados. Esta interconexão, que, quando do contato do corpo com a água, permite o caminhamento da umidade entre os poros, abastecendo-os enquanto a pressão hidráulica for superior a pressão atmosférica, também é responsável pela secagem do corpo poroso umedecido. A secagem do corpo produz, por evaporação, um esvaziamento do poro, gerando um menisco no seu interior e a diminuição da pressão capilar, conforme a equação (8) de *Laplace*, onde se considera que o escoamento nos canais se encontra em regime laminar. Nestas condições, assume-se que o transporte de massa nos canais pode ser descrito por uma equação de balanço material, onde não há reação química no meio poroso ou, se houver; esta será de primeira ordem, podendo ser representada por expressões lineares, onde assim, toda a rede comportar-se como um sistema linear, onde, pela aplicação da transformada de *Laplace* é possível determinar a transferência (transporte) dos fluídos na rede [26].

$$p_c = p_e + \gamma_{LV} K_{LV} = p_e + \frac{2\gamma_{LV}}{r_m} \quad (8)$$

Onde p_e é o equilíbrio entre a pressão de vapor numa superfície plana, γ_{LV} é a energia da superfície líquida e K_{LV} é a curvatura do menisco. Para a segunda igualdade, equação (9) de consideramos um menisco hemisférico com raio de curvatura r_m , onde esta curvatura está relacionada com a umidade relativa do ar UR [43].

$$p_c - p_e = \frac{2\gamma_{LV}}{r_m} = \frac{R_g T}{V_L} \ln (UR) \quad (9)$$

Onde V_L é o volume molar do líquido. Estes meniscos, independentemente dos diferentes tamanhos entre os poros, devem apresentar raios de curvatura r_m iguais; pois independem do raio dos poros r_p envolventes. Enquanto não houver esta igualdade entre os raios de curvatura dos meniscos, a pressão capilar induzirá fluxos entre os poros até que o equilíbrio seja estabelecido, ou seja, o raio de curvatura do menisco é dependente da umidade relativa UR e não do raio dos poros. Em observação a Figura 3.5(a), que consiste numa relação entre um grande poro r_{gr} e um pequeno poro r_{pq} , verifica-se que, independentemente do tamanho dos raios dos poros r_{gr} e r_{pq} ,

sendo a UR alta e θ o ângulo de contato entre o líquido e o sólido, verifica-se que ambos os poros ficam cheios de líquido. Equação (10).

$$\frac{R_g T}{V_L} \ln (UR) \geq - \frac{2\gamma_{LV} \cos (\theta)}{r_{gr}} \quad (10)$$

Assumindo-se as características de um ângulo de contato θ pequeno, que comumente ocorre entre os materiais cimentícios e a pedra, e havendo uma queda na UR temos a equação(11):

$$- \frac{2\gamma_{LV} \cos (\theta)}{r_{gr}} > \frac{R_g T}{V_L} \ln (UR) \geq - \frac{2\gamma_{LV} \cos (\theta)}{r_{pq}} \quad (11)$$

Sendo assim, o poro maior irá drenar, ocorrendo uma diferença de pressão Δp entre os dois, onde o raio do menisco do menor poro é r_{mpq} , determinado pela equação de *Poiseuille*, a qual relaciona o fluxo de um líquido viscoso transportado num tubo cilíndrico, levando em consideração o raio r , a distância h , a pressão p e o coeficiente de viscosidade η , onde o escoamento é considerado laminar. Equação (12)

$$\Delta p = 2\gamma_{LV} \cos (\theta) \left(\frac{1}{r_{gr}} - \frac{1}{r_{mpq}} \right) \quad (12)$$

Esta diferença de pressão Δp faz com que o poro menor receba o líquido proveniente do poro maior. Sendo $\theta = 90^\circ$, então o menisco é plano, e ambos os poros drenam simultaneamente quando a UR cai; se $\theta > 90^\circ$, então o poro menor drena primeiro, onde a UR satisfaz o sistema da equação (13)

$$\frac{R_g T}{V_L} \ln (UR) < - \frac{2\gamma_{LV} \cos (\theta)}{r_{pq}} \quad (13)$$

Então, o poro pequeno pode drenar quando o equilíbrio estiver estabelecido entre os poros. Supondo-se que o menisco do poro grande tenha recuado para o interior apenas a distância h , conforme mostrado a Figura 3.5(b), de modo que o fluxo de líquido para a superfície é dado pela equação (14)

$$J_c = - \frac{K_s \Delta p}{\eta h} = \frac{2\gamma_{LV} \cos (\theta)}{h} \frac{K_s}{\eta} \left(\frac{1}{r_{mpq}} - \frac{1}{r_{gr}} \right) \quad (14)$$

Onde K_s é a permeabilidade da rede parcialmente saturada, na qual apenas os pequenos poros contem líquido. Se o fluxo do líquido J_c é maior que a taxa de evaporação, J_E , então, o poro

pequeno não drenará e o seu menisco irá adquirir apenas a curvatura suficiente para desenhar um fluxo correspondente, J_E . Paralelamente ao aumento de h ocorre um acréscimo da UR próxima à superfície do menisco do poro grande, determinando a redução da taxa de evaporação sobre esta superfície e aumentando a secagem por evaporação na superfície externa ao menisco de menor poro. Com o recuo do líquido para o interior do poro grande, o aumento de h reduz o fluxo de J_c , diminuindo o raio do menisco do poro pequeno e a máxima queda de pressão irá ocorrer quando $r_{mpq} = r_{pq}$. O poro pequeno, finalmente irá drenar quando o menisco do grande atingir a profundidade h_s , onde equação (15):

$$J_E = \frac{2\gamma_{LV}\cos(\theta)}{h_s} \frac{K_S}{\eta} \left(\frac{1}{r_{pq}} - \frac{1}{r_{gr}} \right) \quad (15)$$

Deste modo, h_s representa a largura da frente de secagem, a qual é a distância entre as zonas que estão completamente saturadas e àquelas totalmente drenadas [1, 33]. Quanto mais rápida taxa de evaporação, mais estreita se torna a frente de secagem. Se a diferença do tamanho entre os poros é grande, (então Δp é grande), e as extremidades dos tamanhos dos poros são grandes (então K_S é alta); então o vapor pode percolar inteiramente através do corpo enquanto o líquido permanece nos poros menores perto da superfície de secagem; ou seja, h_s é maior que a espessura do corpo. No entanto, quando K_S é pequeno, a frente pode ser estreita, mesmo quando J_E é baixa.

Num corpo com uma gama variada de tamanho de poros, como a frente de secagem avança através do corpo, pode ocorrer pequenas zonas de líquidos que se tornam isolados, conforme mostra a Figura 3.5(d), por causa das pequenas entradas para os poros nestas regiões. Tais regiões serão drenadas quando ocorrer uma baixa suficiente na UR local, para que, desta forma, os meniscos possam penetrar na entrada dos poros.

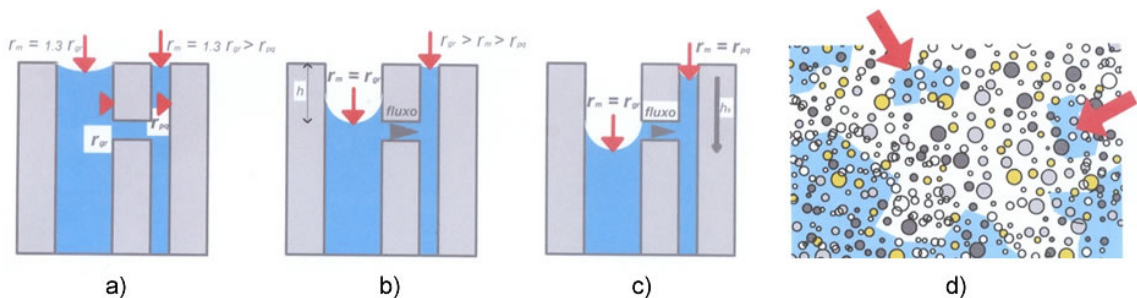


Figura 3.5 -Transporte (movimento) da umidade num meio poroso

3.2.5 - Modelo de Christopher Hall

O modelo de penetração frontal *Christopher Hall* [32] oferece uma abordagem alternativa, que tem sido considerada útil em muitos casos. Aqui aproximamos a franja capilar difusa que marca, por uma bem definida fronteira, a transição entre regiões úmidas e secas, o que chamamos de frente de penetração. Assim na Figura 3.6, temos a frente de penetração que representa a absorção unidirecional da água, inicialmente num material seco. A frente molhada é caracterizada por uma frente capilar molhada potencial Ψ_f a qual é constante (P_0 , na Figura 3.6, representa a pressão externa; comumente, a pressão atmosférica). A região molhada entre a entrada e a superfície frontal é assumida como tendo um conteúdo de água constante θ_s próximo da saturação e, portanto, uma condutividade hidráulica constante $K(\theta_s)$ perto da permeabilidade convencional K_s . Uma vez que o teor de umidade em pontos no interior da região molhada não muda com o tempo; temos $\nabla\theta = 0$, $\nabla u = 0$ e, portanto, $\nabla^2\Psi = 0$, que é a equação de *Laplace*. Na Figura 3.6, dimensão geométrica semi-infinita da figura A, pode-se definir a quantidade de líquido absorvido (ou absorção cumulativa) em função do tempo, conforme equação (16):

$$i = (-2fK_s\Psi_f)t^{1/2} = St^{1/2} \quad (16)$$

Onde f é a fração do volume de porosidade do material e S é a sua ascensão capilar. Existe uma queda na pressão de viscosidade que varia linearmente a partir da superfície do fluxo à frente de molhagem.

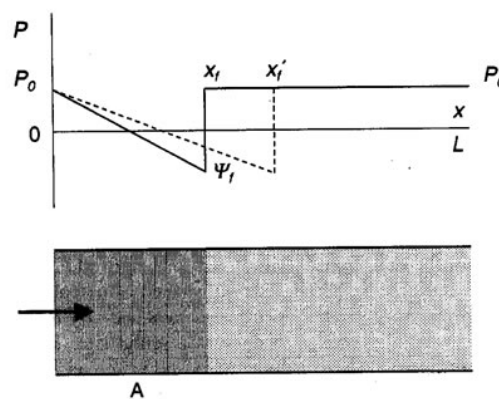


Figura 3.6 - Absorção capilar de água em um sólido poroso em sentido unidimensional: modelo de penetração frontal [44]

3.2.6 - Modelo de L. Pel e K. Kopinga

O modelo matemático proposto por *L. Pel e K. Kopinga* [45] com o intuito de entender a transferência de massa em meios porosos macroscópicos é baseado em equações de difusão. Os autores partem de uma equação de difusão não linear (17) desconsiderando a ação da gravidade e considerando o transporte de umidade numa dimensão única.

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(D_{\theta} \frac{\partial \theta}{\partial x} \right) \quad (17)$$

Nesta equação θ (m^3m^{-3}) é o volume de umidade contido e D_{θ} (m^2s^{-1}) a difusão da umidade. Neste modelo de difusão todos os mecanismos de transporte de umidade, o fluxo de líquido e difusão de vapor, são combinados em uma única difusividade de umidade, que é dependente do conteúdo real de umidade.

No modelo a quantificação de D_{θ} é realizada experimentalmente pela técnica de ressonância magnética nuclear (NMR). As experiências descritas por *L. Pel e K. Kopinga* [45] foram realizadas utilizando um aparelho de NMR, que foi concebido de tal modo que as medições quantitativas do perfil de umidade possam ser realizadas, ao contrário do padrão de MRI (Imagem por Ressonância Magnética), que é geralmente usado em uma forma qualitativa. Uma extensa descrição deste aparelho pode ser encontrada em *Kopinga et al* (1994) [46] e *L. Pel* (1995) [47].

As amostras utilizadas nas medições foram cilindros com um diâmetro de 20mm e um comprimento que variava entre 25 e 180mm. A resolução de uma dimensão do aparelho de RMN de cerca de 1,0mm, enquanto que o teor de umidade a uma determinada posição nas amostras pode ser determinada com uma imprecisão de 1 % em 40s. Durante as medições de um perfil de umidade uma marca de tempo é adicionada a cada ponto do perfil, a fim de permitir uma comparação com as previsões teóricas adequadas.

Sendo válida a equação acima (17), todos os perfis experimentais de um tipo de material podem estar relacionados com a transformação de *Boltzmann*, $\lambda = x t^{-1/2}$.

Para determinar a dependência de D_{θ} sobre o teor de umidade, usamos a solução bem conhecida de equação (17) após a transformação de *Boltzmann*, onde no uso da equação (18), D_{θ} pode ser calculado numericamente a partir dos perfis de umidade experimentados.

$$D_{\theta} = -\frac{1}{2} \frac{1}{\left(\frac{d\theta}{d\lambda}\right)_{\theta}} \int_{\theta_0}^{\theta} \lambda d\theta' \quad (18)$$

3.3-Influência da porosidade e do meio ambiente no transporte de umidade entre o substrato e o reboco

O transporte de umidade é altamente dependente do tamanho e da distribuição dos poros entre o substrato e o reboco [48].

Por exemplo, *Groot* observou rebocos que apresentam uma porosidade de dimensões medianas, com $r_p = 0.5 \mu m$, que influenciam, de forma determinante, o transporte de umidade entre o substrato e o reboco, donde um reboco com porosidade fina, cujo $r_p = 50 nm$, acaba por absorver com facilidade a solução salina proveniente de um substrato constituído por grossa porosidade, onde $r_p > 0.5 \mu m$; pois, neste caso, a pressão de absorção capilar nos poros maiores é menor do que àquela atuante nos poros de menor dimensão, propiciando assim o transporte do substrato para o reboco.

Sendo a parede constituída por um substrato de porosidade predominantemente mais fina do que o reboco; a solução salina tende a permanecer, em grande parte, no próprio substrato; pois o transporte da solução do substrato ao reboco é dificultado pela diferença de pressão capilar, que é maior nos meios porosos finos do que nos meios porosos grossos, neste caso a secagem se dá pelo lento transporte de vapor, determinando uma recristalização dos sais atrás da camada de revestimento (criptoflorescência). A utilização de aditivos repelentes de água na composição da argamassa de revestimento determina, também, a dificuldade de transporte da solução salina do substrato ao reboco, produzindo uma secagem por evaporação e, conseqüentemente, a anomalia da criptoflorescência.

As condições ambientais; quer interiores quer exteriores, somadas as características da argamassa, determinam variações na secagem, influenciando diretamente no transporte da umidade e sal que contaminam as paredes do edifício. Superfícies submetidas à intensa radiação solar e ventos fortes; bem como a sistemas de aquecimento e ventilação, podem causar uma elevada velocidade de secagem, o que resulta em uma frente de secagem na interface entre substrato e reboco ou no interior do revestimento e, os sucessivos ciclos de

cristalização/dissolução podem levar às fragmentações e graves danos à zona afetada. Porém, se o revestimento é submetido a uma secagem lenta, determinada pela ação de ventilação e aquecimentos moderados, os ciclos de cristalização/dissolução dar-se-ão na superfície externa do revestimento, podendo causar descamações na película de pintura e eflorescência.

A variação da umidade relativa do ar determina, também, uma forte influência no transporte de umidade e sal no interior da alvenaria. Caso a *UR* seja elevada, igual ou maior que 75%, (o que agrega mais umidade ao conjunto), a velocidade de secagem se reduz, permitindo um deslocamento da solução à superfície, onde ocorre a cristalização do sal (eflorescência). Em condições de *UR* menores, a velocidade de secagem é aumentada, determinando um trajeto de transporte mais curto e a consequente cristalização do sal atrás da argamassa de reboco (criptoflorescência) [24, 49, 50].

3.4-Modelo matemático simplificado para umidade de ascensão em painéis de alvenaria

Tendo em vista a definição de um modelo matemático de representação da ascensão de umidade em paredes de alvenarias de edifícios, antigos ou novos; e face aos conhecimentos já elucidados nos capítulos anteriores, resumem-se as seguintes premissas:

- o mecanismo de absorção de água pelo conjunto da alvenaria (tijolo/argamassa de assentamento/reboco) é decorrente da característica porosa destes três elementos; por onde a água se desloca, elevando assim, sua altura ascensional, ou seja, a altura da mancha de umidade na parede;
- esses corpos porosos são geralmente caracterizados por um número de vasos capilares comunicantes, que possuem formas e dimensões variadas, o que determina uma estrutura porosa muito complexa.

Em assim sendo, a modelação ideal a aplicar no estudo do transporte num meio poroso deveria ser baseada na estrutura real deste meio. Essa representação só é possível em casos muito especiais, onde a estrutura é definida e criada dentro de um modo rigoroso. A heterogeneidade própria dos materiais de alvenaria e a consequente complexidade dos seus sistemas de poros torna improvável a elaboração de modelos que descrevam todos os parâmetros da estrutura real dos materiais componentes da parede. Portanto, torna-se imperativo estudar a adequação de um modelo matemático simplificado que represente o observado experimentalmente.

Neste modelo simplificado considera-se que os poros da alvenaria estão inicialmente vazios; possuindo dimensões e quantificações diferenciadas, onde o movimento da água é desencadeado

pela transferência desta entre os poros capilares que constituem os diferentes materiais, migrando, por diferença de pressão interna, dos poros de maior diâmetro aos de menor diâmetro. Para que possamos atingir esta leitura simplificada da estrutura complexa formada entre os poros dos materiais, assume-se que o meio poroso é estatisticamente homogêneo, não se tomando em conta as possíveis heterogeneidades existentes em seu interior.

Nesta modelação parte-se do princípio que a porosidade aberta e a capilaridade são maiores nas unidades de alvenaria (tijolos cerâmicos); do que nas argamassas de rebocos, o que, aliás, foi constatado durante a caracterização dos materiais.

Pode-se assim entender que as unidades de alvenaria atuam numa primeira fase, como um elemento alimentador da água a ser transferida às argamassas de reboco. Uma vez saturada a base da parede (tijolo-argamassa), pode-se a partir daí assimilar que a ascensão capilar é prioritariamente vertical, reduzindo a altura da ascensão capilar com o passar do tempo, sob efeito da gravidade e da evaporação. Com base neste caminho inicial; pode-se deduzir que, ao atingir o equilíbrio ascensional, se pode reduzir o transporte a uma ação unidimensional, ou seja, um transporte horizontal do tijolo ao exterior, transferindo a água ao revestimento de reboco e, conforme as características de porosidades, já identificadas, poderão ocorrer às formações eflorescentes e/ou criptoflorescentes.

Utilizando o mesmo esquema proposto por *Scherer* (2004) e representado na Figura 3.1, podemos dizer que na zona próxima ao solo ocorre uma elevada taxa de umedecimento e uma menor secagem, dando lugar à formação de uma lâmina líquida sobre a superfície da parede. A evaporação aumenta a concentração de sal na água, não significando, diretamente, uma solução supersaturada nessa zona, pois, parte do sal em excesso retorna à fonte original. Mais acima na parede, onde a taxa de aumento de umidade é mais lenta, a solução pode tornar-se supersaturada, de modo que os cristais afloram à superfície gerando eflorescência. Na altura h_s , a taxa de fornecimento de água por ascensão capilar torna-se igual à taxa de evaporação e acima desse local, a água evapora dentro da parede, resultando em subflorescência ou criptoflorescência (ou seja, um crescimento de cristais abaixo da superfície), conforme visto na Figura 3.1.

Sabe-se que o movimento de um líquido através da capilaridade de corpos porosos, que chamamos de transporte, é geralmente descrita pela lei de *Darcy*, representada na equação19 [2]:

$$Q = -K \frac{\Delta h}{L} \quad (19)$$

onde:

Q : é a taxa de fluxo de líquido através de uma unidade de superfície do corpo poroso

k : é o coeficiente de permeabilidade

L : é a espessura do corpo poroso, através do qual o líquido flui

Δh : é a variação de pressão expressa em altura líquida

Adaptando o modelo de fluxo de líquido proposto por *Pereira de Oliveira* [51] para o caso de ascensão de umidade aqui estudado, definimos que o fluxo em um meio poroso ocorre através dos vazios existentes entre as partes (grãos) que constituem os materiais. Estes espaços vazios formam o volume de poros, constituídos por uma rede de poros entre eles os de dimensão capilar.

Esta rede capilar possui direcionamento variado. Porém, o fluxo do transporte neste meio pode ser considerado linear e, para tal, pode-se simplificar o meio poroso tornando-o como um conjunto capilar paralelo de tubos cilíndricos com raio R . Esta simplificação do modelo para o estudo em questão leva à Figura 3.7, abaixo:

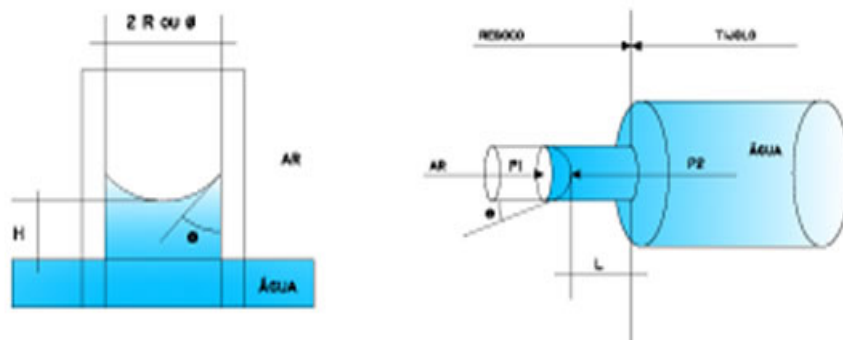


Figura 3.7 - Absorção capilar de água em um sólido poroso em sentido unidimensional [51]

O fluxo de um líquido de viscosidade μ através de uma unidade de superfície do corpo poroso, assimilada neste modelo, pelo tubo capilar de raio R suposto fluir em regime laminar, pode ser expresso pela lei de *Poiseuille*:

$$Q = -\frac{\pi R^2 \delta}{8\mu} \text{grad}\Phi \quad (20)$$

onde:

R : é o raio capilar

δ : é a densidade do líquido

μ : é a viscosidade do líquido

Φ : pressão hidráulica

Conhecendo-se o número de tubos capilares por unidade da superfície (n), o fluxo por meio dos capilares é dado por:

$$v = -\frac{nQ}{\pi R^2} = -\frac{nR^2\delta}{8\mu} \text{ grad}\Phi \quad (21)$$

Comparando as equações (20) e (21), deduzimos que o coeficiente de permeabilidade K pode ser definido como na equação (22):

$$K = -\frac{nR^2\delta}{8\mu} \quad (22)$$

Por se saber que num tubo capilar o aumento da quantidade líquida está diretamente ligado à tensão gerada na superfície do tubo, torna-se necessário conhecer a pressão do transporte deste líquido no interior dos capilares. Sendo a molhagem do tubo imperfeita, ou seja, com diferentes formas de contato, um ângulo de contato θ se forma entre o fluido e a parede do tubo. Para estes casos, a ascensão capilar H , em equilíbrio, poderá ser determinada pela equação (23):

$$H = -\frac{2\Gamma\cos\theta}{\delta R} \quad (23)$$

onde:

H : é a ascensão capilar

Γ : é a tensão superficial

θ : é o ângulo de molhagem

Conforme o esquema gráfico mostrado nas figuras acima, o meio poroso foi simplificado por um conjunto de tubos capilares paralelos pelos quais o transporte da umidade, enquanto houver realimentação da água, se faz equilibrado e constante.

No caso estudado, tanto a unidade de alvenaria (tijolo) como o seu revestimento (argamassa de reboco) constituem um meio poroso que possibilita o transporte de água em função das dimensões de seus poros. Portanto, temos assim, dois raios capilares de ações interagindo no sistema (tijolo-reboco), onde se chamam de R_s o raio superior e R_i o raio inferior. No qual, para o tijolo, o capilar acaba no reboco, enquanto que, para o reboco, o capilar acaba no ar. Havendo uma saturação dos capilares do tijolo, haverá uma transferência da água aos capilares do reboco.

Portanto, a quantidade de água absorvida depende da diferença entre os raios dos poros existentes tanto na unidade da alvenaria como na argamassa de reboco. Esta transferência da água pode ser obtida pela pressão de condução definida na lei de *Laplace*, expressa pela equação (24):

$$\Delta p = 2\Gamma \cos\theta \left(\frac{1}{R_s} - \frac{1}{R_i} \right) \quad (24)$$

Para que se possa conhecer a quantidade de líquido que penetra num certo comprimento L , se deve escrever a lei de *Poiseuille* para um capilar, onde a velocidade deste fluxo será expressa pela equação (25):

$$v = \frac{R_i^2 \Delta p}{8\mu L} \quad (25)$$

Na qual a quantidade $-\delta \text{ grad}\Phi$ foi substituída por uma quantidade finita Δ_p/L . Então, substituindo-se Δ_p na equação (25), tem-se:

$$v = \frac{\Gamma \cos\theta}{4\mu} R_i \left(1 - \frac{R_i}{R_s} \right) \frac{1}{L} \quad (26)$$

Como $v = dL/dt$, pode-se escrever:

$$\varphi = \frac{\Gamma \cos\theta}{4\mu} R_i \left(1 - \frac{R_i}{R_s} \right) \quad (27)$$

Fazendo:

$$\frac{dL}{dt} = \frac{\varphi}{L} \quad (28)$$

Assumindo-se φ como uma constante, a qual se discute, tem-se:

$$L = (2 \varphi t)^{1/2} \quad (29)$$

Sendo n o número de capilares por unidade de área de uma alvenaria e V_c o volume de água absorvido por unidade de área da alvenaria, num tempo t , tem-se:

$$V_c = n \cdot \pi \cdot R_t^2 \cdot L (2\varphi t)^{1/2} \quad (30)$$

Substituindo na equação (30) o valor de φ definido na equação (9), tem-se:

$$V_c = n \cdot \pi \cdot \left(\frac{\Gamma \cos \theta}{2\mu} \right)^{1/2} \cdot R_i^{5/2} L \cdot \left(1 - \frac{R_i}{R_s} \right)^{1/2} \cdot t^{1/2} \quad (31)$$

Como o fenômeno de umidade ascensional está relacionado a diâmetros de poros de

pequeníssima dimensão, se assume que o termo $\left(1 - \frac{R_i}{R_s} \right)^{1/2}$ seja pouco sensível as variações de R_s e que a relação R_i/R_s seja suficientemente pequena. Assim, pode-se considerar que o volume de água absorvido por unidade de área da alvenaria, num tempo t seja expresso de maneira simplificada por:

$$V_c = \varpi \cdot t^{1/2} \quad (32)$$

Onde ϖ é uma constante do sistema (tijolo + reboco).

Se desejarmos uma modelação um pouco mais sofisticada, isto é possível se tempo t for dividido em intervalos Δt_i , durante o qual se assume que o raio R_s permanece constante e igual a R_i .

Nomeando os primeiros termos da equação (30) como:

$$\xi = n \cdot \pi \cdot \left(\frac{\Gamma \cos \theta}{2\mu} \right)^{1/2} \quad (33)$$

Pode-se, então, expressar o volume de água absorvida entre o tempo inicial t_0 e o tempo de saturação t_s por:

$$V_c = \xi R_i^{5/2} \sum_{t=0}^{t_s} \left(1 - \frac{R_i}{R_s} \right)^{1/2} \cdot (\Delta t_i)^{1/2} \quad (34)$$

Finalmente, pode-se especular como premissa para prova experimental, que o modelo simplificado expresso pela equação (32) possa representar a variação do volume de água ascensional em paredes de alvenaria num determinado tempo t e que ϖ venha representar a característica própria do sistema (unidade de alvenaria + reboco). Se com alguma aproximação pudermos afirmar que a porosidade das unidades de alvenaria varia muito pouco ou quase nada,

então esse “coeficiente” poderá ser utilizado para identificar um efeito provável da estrutura porosa de diferentes revestimentos (reboco).

Ainda assim a variação da água ascensional em paredes de alvenaria pode ser medida, em um ambiente com taxa de evaporação constante, pela área molhada da parede compreendida pela altura do perfil hidráulico medido num tempo t . Outra especulação que se pode realizar é que o perfil hidráulico a termo sob efeito da evaporação sofre uma redução devido à gravidade. Neste caso a linearização matemática do modelo teórico pode ser melhor representada por uma função logaritmica conforme a equação (35).

$$A_m = \omega \cdot \ln t \quad (35)$$

Onde:

A_m = área de molhagem

ω = é a constante do sistema (tijolo +reboco)

t = tempo

Finalmente, apresenta-se esquematicamente na Figura 3.8, o modelo gráfico de evolução do perfil hidráulico ou área de molhagem com o tempo a ser experimentado em laboratório.

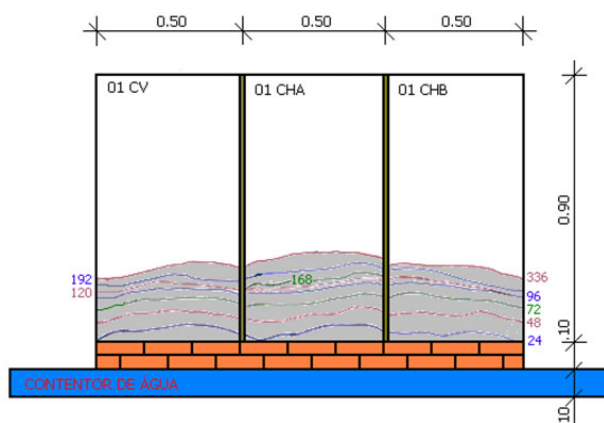


Figura 3.8 -Modelo experimental de observação da ascensão da umidade ao longo do tempo (*)

O conhecimento da forma como se dá ascensão das águas subterrâneas em paredes de alvenaria, da complexidade dos mecanismos que controlam o transporte de umidade nestas estruturas bem como dos modelos teóricos desenvolvidos por pesquisadores da área; embasaram o desenvolvimento de um modelo matemático simplificado a ser aplicado no trabalho experimental do próximo capítulo.

(*) 01CHA - argamassa 01 com cal hidratada / 02CHB - argamassa 02 com cal hidratada e adição de cinzas / 03CV - argamassa 03 com cal virgem

Desenvolvimento do trabalho experimental

Capítulo 4

Seleção de edifícios para estudo e caracterização do edifício eleito

4.1 - Seleção de edifícios para estudo

4.2 - Caracterização das técnicas construtivas do edifício selecionado

4.1-Seleção de edifícios para estudo

O trabalho de investigação proposto à tese tem por objetivo inicial à busca de uma argamassa de reabilitação a ser aplicada nos edifícios patrimoniais da cidade de Pelotas, tendo em vista o grande conjunto edificado na cidade no período compreendido entre início do século XIX até meados do século XX. Portanto, a eleição de um conjunto arquitetônico pertencente ao patrimônio catalogado, bem como o conhecimento das anomalias instaladas e suas prováveis causas, os processos construtivos e quantitativos, bem como os materiais à época utilizados, são fundamentais às metodologias e aos objetivos da tese; pois, procurar-se-á utilizar materiais e dosagens similares às originalmente empregues nas construções, processo obrigatório à recuperação de edifícios tombados pelo IPHAN (Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional). Portanto, para tal, faz-se necessário a eleição de um conjunto de prédios considerados pelo patrimônio, tanto no nível federal, estadual ou municipal, para que se possa avaliá-los e definir aquele com que apresente melhores condições e possa ser utilizado, com as devidas autorizações, ao estudo pretendido. Assim, devido ao período construtivo em que o conjunto foi edificado, aos processos e aos materiais utilizados, mesmo com a eleição de um exemplar único, as soluções e as conclusões obtidas na tese poderão ser aplicadas à quase totalidade do conjunto histórico edificado.

Dentro do levantamento realizado nos edifícios da cidade, foram selecionados numa primeira fase, como elementos de estudo, parte do conjunto arquitetônico de construções ecléticas; localizado no entorno da Praça Coronel Pedro Osório, situado entre as ruas Lobo da Costa e Barão do Butuí, conjunto este constituído pelos casarões com os números 2, 6 e 8 da praça em questão, respectivamente o chamado Casarão 2, construído para o charqueador José Vieira Viana no início do século XIX e reformada em 1880 (Figura 4.1); o chamado Casarão 6, que foi construído em 1879, para o segundo Barão de São Luís, Leopoldo Antunes Maciel (Figura 4.2) e o chamado Casarão 8, construído em 1878 para o Conselheiro Francisco Antunes Maciel (Figura 4.3). Também foi analisado o edifício do Castelo João Simões Lopes Neto, onde está instalada a Casa de Cultura do mesmo nome, situado no final da Avenida Brasil na saída da cidade de Pelotas para a cidade de Rio Grande, cuja construção se desenvolveu de 1920 à 1922 (Figura 4.4); o edifício da Catedral São Francisco de Paula, localizado na zona central da cidade que ocupa área da Praça José Bonifácio, e situado entre as ruas Quinze de Novembro, Felix da Cunha, Senador Mendonça e Major Cícero, que teve sua construção iniciada em 1813 (Figura 4.5); e o edifício do Instituto Dom Antônio Zattera (Instituto de Menores de Pelotas), construído em 1850, localizado no final da Avenida Domingos de Almeida (Figura 4.6).



Figura 4.1 - Casarão 2



Figura 4.2 - Casarão 6



Figura 4.3 - Casarão 8



Figura 4.4 - Castelo Simões Lopes Neto



Figura 4.5 - Catedral São Francisco de Paula



Figura 4.6 - Instituto de Menores de Pelotas

A eleição destes prédios acima descritos deveu-se à importância dos mesmos e ao período da sua construção, além da permissão obtida, tanto do poder público como da mitra diocesana, para o

desenvolvimento de trabalho nessas edificações. Cabe salientar que no perímetro urbano da cidade de Pelotas existem catalogados em torno de sessenta prédios que representam as construções mais importantes compreendidas dentro do período citado. A maioria destas construções é, contudo, de propriedade privada e apresenta dificuldades para realização de estudos. E, mesmo nos edifícios públicos, são encontradas muitas restrições, determinadas basicamente por setores governamentais, como o IPHAN (Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional), que controla todo e qualquer tipo de intervenção nos edifícios que constituem o conjunto patrimonial das cidades e regiões. Assim, as dificuldades para trabalhar num número maior de edificações foram bastante grandes e, na maioria dos edifícios, ocorreu uma total impossibilidade, o que acabou por restringir o estudo àquelas construções que possibilitaram as investigações e que, de certa forma, representavam uma amostra significativa. No casario da Praça Coronel Pedro Osório, localizado entre as ruas Dr. Lobo da Costa e Barão do Butuí, constituído por três edifícios, foi constatado a impossibilidade de se trabalhar nos Casarões 2 e 8. No primeiro edifício (Casarão 2), foi constatado um processo de intervenção bastante adiantado, onde os elementos mais importantes para o estudo, os revestimentos, já haviam sofrido um processo de total substituição, inviabilizando a continuidade da investigação. Já na segunda construção (Casarão 8), o estado de deterioração estava generalizado e tão avançado que acabou por comprometer a continuidade da investigação, pois impossibilitaria uma interpretação fidedigna das causas e dos efeitos e, além desta dificuldade, foi verificado, também, que muitos elementos dos revestimentos não eram mais originais.

Os levantamentos realizados nos prédios do Castelo Simões Lopes Neto e do Instituto de Menores de Pelotas; mostraram nitidamente erros construtivos, como terraço com tratamento inadequado e canteiros junto à base das paredes exteriores, sem nenhum tipo de proteção, respectivamente no primeiro e segundo edifício e, principalmente, erros de uso, onde ficaram evidenciadas intervenções que acabaram por contribuir para o agravamento das anomalias e descaracterizaram os revestimentos originais; contribuindo assim, para a não continuidade dos trabalhos nestas edificações.

Restou, portanto, a investigação da Catedral São Francisco de Paula e do Casarão 6. O levantamento feito no edifício da Catedral evidenciou que o mesmo já havia sofrido processos de intervenção para a recuperação de danos causados pela presença de umidade e sais. A técnica utilizada, conforme relato da administração paroquial; foi a de esconder o problema. Neste caso; com o uso de placas de mármore (material compatível esteticamente com o utilizado originalmente no altar); que foram colocados aderentes às paredes; o que acabou por dificultar a ventilação e a secagem da umidade, oriunda da ascensão capilar da água do solo e também das infiltrações da água da chuva, que ocorriam por falhas da cobertura e das tubulações pluviais;

além de fissurações nas paredes e nos detalhes arquitetônicos exteriores (saliências horizontais nos rebocos, que retêm parte da água pluvial e a conduz, através das fissurações, para o interior da construção). O edifício possui nas duas fachadas laterais; presença de canteiros ornamentais localizados junto às paredes, onde a presença de solo vegetal, plantas e pontos abertos de recolha dos coletores pluviais permitem a constante renovação da água que acaba por penetrar no solo e contatar a fundação e as alvenarias (Figuras 4.7 e 4.8).



Figura 4.7 -Anomalias interior Catedral



Figura 4.8 -Erros construtivos exterior Catedral

Além destes fatores, o referido edifício encontra-se em processo de reabilitação, tendo sofrido intervenções de impermeabilização das paredes e fundações por injeção de cristalizantes e pelo uso de membranas impermeabilizantes industrializadas, além de ter recebido revestimento exterior em reboco de argamassa de cimento e areia com aditivos. Cabe salientar que as intervenções em execução no edifício da Catedral São Francisco de Paula; quando totalmente finalizadas, irão determinar, conforme projeto da empresa executora, o isolamento da alvenaria ao contato da água, quer pela criação da barreira impermeável na base dos paramentos, quer pela eliminação dos canteiros e recondução da água pluvial; e a consequente eliminação da umidade, o que propiciará o restauro e retorno ao esplendor das pinturas internas, constituídas pelos magníficos painéis (frescos) dos pintores italianos *Aldo Locatelli* e *Emílio Sessa*. Estes procedimentos foram iniciados durante o período no qual se levantava as condições do edifício; portanto, acabaram por determinar a interrupção do trabalho investigatório, pois as áreas, alvo deste estudo, começaram a sofrer intervenção, impossibilitando o avanço técnico-científico programado à construção (Figura 4.9).



Figura 4.9 -Processo de recuperação da Catedral

Fica assim, o estudo limitado ao casarão nº 6, o qual atende às necessidades e possibilita a continuidade das investigações, além de um belo exemplar representante do período mais significativo do conjunto arquitetônico e histórico da cidade e região.

O casarão nº 6, conhecido como Casa Barão de São Luís, teve seu projeto desenvolvido pelo arquiteto italiano *José Izella Merote*; e, dentro do conjunto neoclássico da cidade, é um dos que possui características construtivas mais preservadas e um regular estado de conservação, permitindo assim um estudo mais fiel das técnicas de construção usadas na época (Figura 4.10).



Figura 4.10 -Fachada principal do edifício selecionado e detalhe da entrada

Como dito anteriormente, havia outros prédios contemporâneos a este, mas em estado de conservação lamentável, não havendo praticamente revestimentos nas paredes e os que restavam não eram mais os originais, fato que descaracterizaria o objetivo do trabalho proposto; além, é claro, da impossibilidade de acesso e intervenção nos edifícios, determinada, quer pelos órgãos públicos que ora ocupam aqueles espaços, quer pelos proprietários, que não permitem tais procedimentos.

Nas seis edificações antigas avaliadas, e mais especificamente nas duas últimas construções (Catedral São Francisco de Paula e Casarão 6), além das anomalias já mencionadas no capítulo anterior e dos fatores determinadores, encontramos outros que contribuem decisivamente para o agravamento da deterioração. Os mais importantes são:

- fundações com ausência ou falência da barreira impermeabilizante;
- uso inadequado da edificação;
- materiais de construção contaminados na origem, durante o processo construtivo e/ou pelo uso; num dos casos, a cave servia como depósito de mantimentos, entre eles sal grosso e charque (carne salgada);
- técnicas e materiais inadequados utilizados nos processos de recuperação aos quais as construções foram submetidas ao longo dos anos;
- falta de legislação e de conhecimentos técnicos apropriados à recuperação do patrimônio histórico edificado.

4.2- Caracterização das técnicas construtivas do edifício selecionado

No edifício selecionado foram usadas as técnicas construtivas tradicionais para a época. Assim; as fundações (alicerces) são constituídas por alvenarias de pedras graníticas, de forma e dimensões irregulares, apoiadas diretamente sobre o solo e envolvidas por ele. Estas pedras são assentes com argamassa de areia muito grossa e barro, não se podendo confirmar o uso de cal como componente do traço da argamassa de assentamento das pedras do alicerce, embora se tenha encontrado alguns vestígios de crustáceos na argamassa (Figura 4.11). Esta presença pode indicar que a cal utilizada foi proveniente da calcinação não plena de esqueletos de animais lacustres ou marinhos; que acabou por se desfazer pelo permanente contato com a água ao longo do tempo, tendo sido incorporada no solo envolvente ou, o que é mais provável, que areias impuras, impregnadas de restos de esqueletos lacustres ou marinhos tenham sido empregadas na construção das fundações. Sobre esta camada se desenvolve uma segunda alvenaria, constituída

de tijolos maciços (fabricados artesanalmente), que preenchem o espaço entre o alicerce propriamente dito e o nascimento das paredes, servindo de embasamento a estas paredes. Este embasamento possui os tijolos assentes com argamassa de cal e areia e apresenta uma maior espessura junto aos alinhamentos do terreno, formando um ressalto médio de aproximadamente 0,10m apenas nas paredes exteriores. Esta etapa da construção acaba por constituir, na maior área do edifício, as paredes da caixa de ventilação (Figura 4.12) e, na região do pátio interno e do fundo ao leste, constituem a cave da edificação (Figura 4.13). Durante o processo de análise das características construtivas da construção não foi identificado nenhum tratamento de impermeabilização das fundações. Esse fato pode dever-se; quer à inexistência deste procedimento, quer à falência do produto utilizado na época da construção; donde o material empregue pode ter sofrido um desgaste natural causado pelo constante contato com a água do solo e seus materiais orgânicos, levando à sua deterioração e provável mistura com a argamassa de assentamento, perdendo assim, sua função e impossibilitando sua identificação.



Figura 4.11- Detalhe da fundação do edifício



Figura 4.12 - Detalhe da caixa de ventilação (gateira)



Figura 4.13 - Espaço destinado às caves do edifício eleito

As alvenarias exteriores; que delimitam os espaços das caves e das caixas de ar, assim como as paredes externas do primeiro piso e algumas paredes internas deste piso, posicionadas abaixo das paredes do piso superior, possuem espessura de 0,70m e são construídas com tijolos cerâmicos maciços assentes com argamassa de cal e areia; neste último caso (paredes internas do primeiro piso), as alvenarias possuem função estrutural, pois sustentam as cargas do piso superior. Já as alvenarias internas; que delimitam as caixas de ar; as caves e os compartimentos do primeiro piso possuem espessura de 0,40m e são construídas de forma semelhante às descrições anteriores. No piso superior, todas as alvenarias externas são igualmente em tijolos cerâmicos maciços e com espessura de 0,40m sendo que, neste piso, as paredes internas diferem do processo construtivo das anteriores; pois são construídas pela técnica do estuque, com o objetivo de reduzir as cargas atuantes sobre os pisos inferiores. Esta característica construtiva é identificada, também, nalgumas paredes do primeiro piso, onde a função básica é servir como painéis delimitadores dos compartimentos. O estuque é um sistema construtivo muito semelhante à taipa de sebe; utiliza pranchas de madeira colocadas na vertical, e fixadas em sua parte inferior numa linha de madeira chamada esteio e na parte superior noutra linha de madeira chamada frechal. Estas pranchas, geralmente com trinta centímetros de largura e uma polegada de espessura, ficam dispostas lado a lado, pregadas sobre linhas horizontais de madeira, formando uma parede dupla. Nas suas superfícies externas são pregadas ripas horizontais de madeira, bambu ou de coqueiro; este último foi o material usado no edifício selecionado. Em alguns casos, as construções em estuque dispensam o uso do pau-a-pique, ficando constituídas apenas pelo conjunto de tábuas e ripas (processo utilizado) no edifício selecionado (Figuras 4.14 e 4.15).



Figura 4.14 - Paredes em tijolos de barro



Figura 4.15 - Paredes em estuque

As paredes com 0,70m de espessura estão localizadas nos limites laterais sul e norte da construção, donde divisam com os casarões 2 e 8 respectivamente, assim como as paredes a leste

e a oeste, que constituem, nessa ordem, a fachada de fundos e de frente da construção (Figura 4.16).

As alvenarias, na sua quase totalidade, são revestidas, tanto nas suas faces externas como nas faces internas, com um reboco de argamassa de cal e areia com espessura média de trinta milímetros aproximadamente.

Nas paredes dos corredores e algumas salas, o acabamento final é constituído por escaiola, enquanto que, na cozinha e nos banheiros, estão revestidas com um lambril de azulejos até meia altura (Figura 4.17).

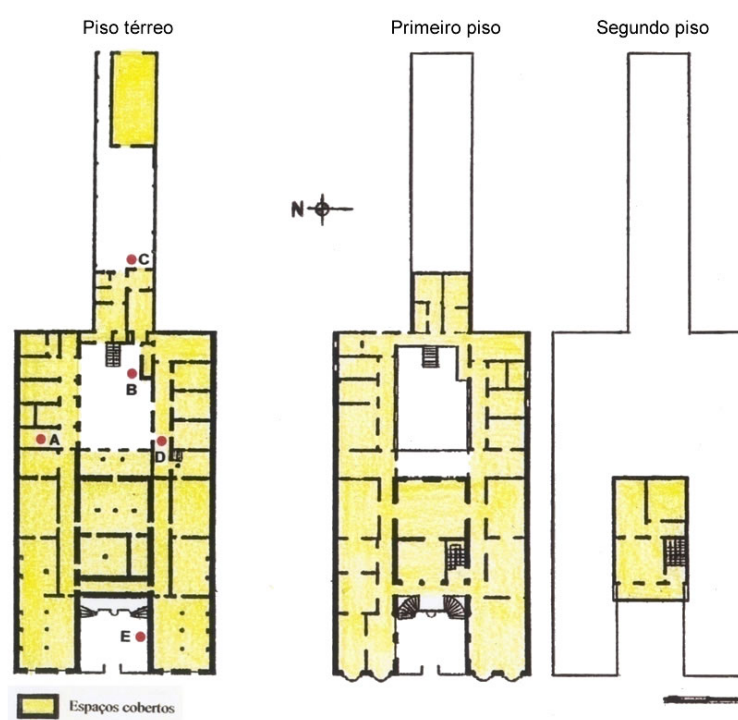


Figura 4.16 - Plantas dos pisos do Casarão 6

- A - interior caves
- B - exterior pátio interno
- C - exterior pátio fundos
- D - interior corredor
- E - exterior fachada



Figura 4.17 - Revestimento em escaiola e azulejos (respectivamente)

As esquadrias são de madeira, fixadas por pregos em tarugos de madeira embutidos nas alvenarias, não sendo utilizados contra marcos. Por serem os remates das paredes com as esquadrias, nas faces exteriores do edifício; formados pelo próprio revestimento de argamassa que encontra as esquadrias, acabam ocorrendo, nestes pontos, muita infiltração de umidade, quer pelas falhas das argamassas (fissurações), quer pelo apodrecimento das madeiras (Figuras 4.18 e 4.19).



Figura 4.18 - Apodrecimento interno das esquadrias



Figura 4.19- Apodrecimento externo das esquadrias

Os vidros são fixados às esquadrias pelo uso de pregos (arestas) e massa de vidro, mas em muitos pontos, a falência das fixações acaba por permitir infiltrações que acrescem umidade às paredes do edifício, além do apodrecimento dos caixilhos (Figura 4.20).

Os vãos de maiores dimensões, tanto para esquadrias como para espaços livres, são executados com arcadas de tijolos ou com vigas metálicas.



Figura 4.20 - Perda da massa de fixação dos vidros e apodrecimento dos caixilhos

Os pavimentos são de tábuas assentes em barrotes de madeira fixados às paredes por simples encaixe e apoio nestas. Em áreas de grandes vãos livres, os barrotes estão apoiados sobre muretas de alvenaria (Figura 4.21). No piso térreo; os vãos abaixo do barroteamento constituem as caixas de ventilação e as caves (Figura 4.22) e, no piso superior o conjunto do soalho com as

vigas de madeira constitui, também, o teto do piso inferior, recebendo em sua face inferior tratamento em estuque, finalizado com ricos ornatos em gesso (Figuras 4.23, 4.24, 4.25 e 4.26).



Figura 4.21 - Barrotes de fixação do soalho



Figura 4.22 - Murete e sustentação dos barrotes



Figura 4.23 - Pavimento em soalho



Figura 4.24 - Teto em madeira



Figura 4.25 - Estuque no teto



Figura 4.26 - Ornatos de gesso sobre estuque

A cobertura do prédio é constituída por telhas coloniais portuguesas apoiadas sobre estrutura de madeira (Figura 4.27). A estrutura de sustentação do telhado é formada por tesouras, caibros, terças e ripas. Verifica-se visualmente que as peças de madeiras usadas são bastante toscas, apresentando em alguns pontos um elevado estágio de deterioração, determinado por cupins e/ou apodrecimento.

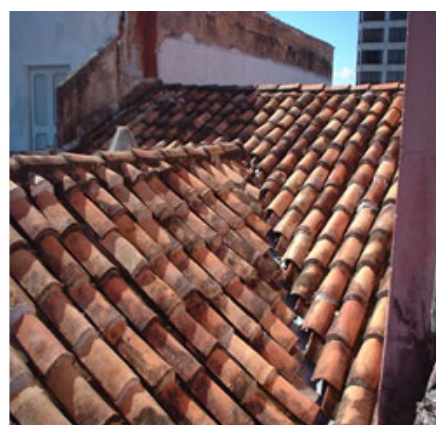


Figura 4.27 - Cobertura em telhas portuguesas

Algumas zonas do encontro do madeiramento da cobertura com as paredes apresentam as cabeças das linhas das tesouras comprometidas, facilitando assim o rebaixamento pontual da estrutura e a consequente penetração de água das chuvas, o que acaba por contribuir para o aparecimento de anomalias nos tetos e paredes (Figura 4.28). Os tubos de queda pluviais são embutidos nas paredes e, por serem metálicos, acabaram por sofrer, ao longo do tempo corrosão, determinando infiltrações bastante importantes. As caleiras são também metálicas e, na sua

quase totalidade, estão localizadas atrás de platibandas, apresentando muitas zonas degradadas e propiciando assim, infiltrações da água da chuva para o interior do edifício. Estas infiltrações, somadas a outros pontos de penetração de água (telhas partidas ou deslocadas), contribuem negativamente para as manifestações de umidade e eflorescências identificadas na construção.



Figura 4.28 - Infiltrações nos tetos e paredes

Como o interesse do trabalho está direcionado especificamente para as anomalias causadas pela presença de umidade e sais solúveis, e em particular para as eflorescências e/ou criptoflorescências, e estas anomalias foram detectadas no piso térreo, são caracterizados os revestimentos específicos deste piso. Conforme pode ser constatado em 6.8 e 6.9, onde são caracterizados os revestimentos originais do edifício estudado, se verifica que a composição da argamassa de revestimento varia seu traço, substancialmente, de uma porção de cal para seis porções de areia (1:6) até uma porção de cal para doze porções de areia (1:12). Esta acentuada variação na dosagem pode indicar; no primeiro momento, que a variação poderia ter ocorrido devido à ausência de um controle da qualidade construtiva nas edificações de menor qualidade, pertencentes às classes mais pobres, pois naquela época a mão de obra, principalmente dos trabalhos de toscos, era bastante rudimentar e variava muito de um obreiro para outro. Mas esta hipótese constitui uma possibilidade muito remota, pois o edifício foi construído para uma pessoa abastada. Outra hipótese que se julga mais adequada; corresponde à possibilidade de ter havido, ao longo do tempo, uma perda natural do aglomerante utilizado (cal), pelo contato com a água da chuva que, determinando a perda das características protetoras das pinturas exteriores, expôs o revestimento à ação direta das intempéries, desgastando e eliminando paulatinamente os seus componentes mais finos.

Verifica-se que no edifício estudado podem ter ocorrido os dois fatores acima descritos, pois a diferenciação da dosagem foi registrada em revestimentos internos, pertencentes a áreas próximas, indicando, neste caso, que pode ter ocorrido a ausência do controle de qualidade. Já

nas áreas exteriores, principalmente naquelas sujeitas às ações mais intensas da chuva incidente (leste e norte), foi detectada, também, uma marcante redução da quantidade de aglomerante (cal), justificada possivelmente pela perda gradual pela ação da chuva e limpeza das fachadas.

As paredes são compostas por alvenaria de tijolo de barro cozido, com dimensões de 0,30m de comprimento, 0,15m de largura e 0,07m de altura, agrupados de forma a determinar a espessura da parede: parede de um tijolo e meio e parede de dois tijolos. Já os tijolos maciços comercializados na atualidade apresentam dimensões bem menores; ou seja, 0,22m de comprimento, 0,10m de largura e 0,05m de altura (Figuras 4.29e 4.30).

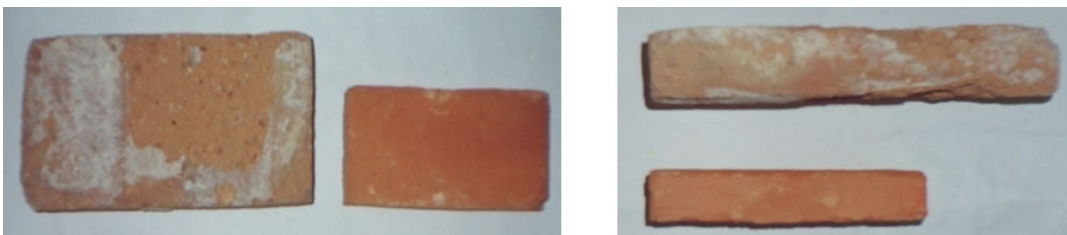


Figura 4.29 - Comparação dimensional entre os tijolos usados no edifício estudado e os tijolos atuais

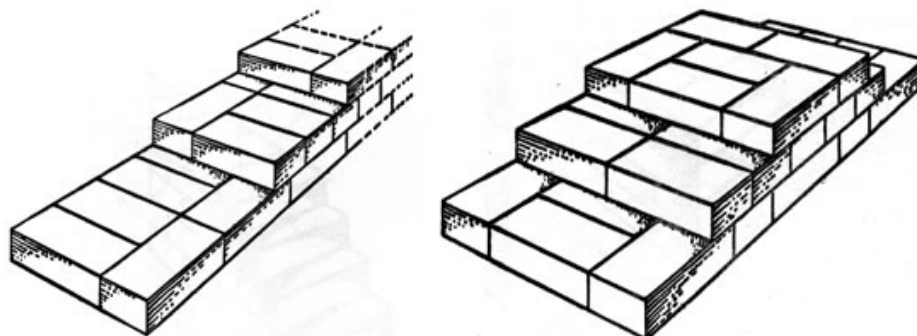


Figura 4.30 - Paredes de um tijolo e meio e de dois tijolos (respectivamente)

Estes tijolos apresentam características dimensionais variáveis devido à forma artesanal do fabrico; com o uso de formas unitárias de madeira que se desgastavam com a utilização, uma argila com muitas impurezas e com amassamento ineficiente e a imperfeição do processo de queima; fatores que acabam por determinar elevadas porosidade e permeabilidade à água, alto poder de absorção, deformações e fissurações, o que fatalmente contribuem para as deteriorações encontradas na construção. O assentamento destes tijolos é feito com argamassa de cal e areia, nas mesmas composições dos revestimentos, não havendo um controle da espessura dos rejuntas, que ficam bastantes irregulares. Em função da não uniformidade dimensional dos materiais e do pouco cuidado construtivo, encontram-se paredes com revestimentos com espessuras bastante irregulares, onde muitas das imperfeições dos toscos são

corrigidas pelo uso excessivo da argamassa de reboco.

As areias utilizadas são de origem siliciosa, conforme a grande maioria das areias encontradas na região Sul, compostas essencialmente de sílica ou de óxido de silício, e apresentando uma granulometria variada, indicando que não havia a preocupação com o uso de certa característica granulométrica. Tanto nas argamassas de assentamento como nas de revestimento, encontra-se um percentual considerável de areia grossa e muito grossa, retidas nas peneiras de malha de 2,38mm e 4,76mm, além de muitas impurezas orgânicas de origem vegetal. Como aglomerante utilizava-se, na época, a cal importada ou obtida, na região, pela moagem e calcinação de conchas ou mariscos. Identifica-se em muitas construções este tipo de matéria prima; ao se retirar amostras de revestimentos se encontram pequenos pedaços de conchas, o que não significa a certeza do seu uso como componente de uma cal artesanal utilizada, pois as areias empregadas nas construções deste período; na sua grande maioria, provinham do Arroio Pelotas ou da Lagoa dos Patos, locais ricos em crustáceos.

No edifício estudado verificou-se que foi utilizada cal como componente das argamassas de revestimento, que poderia provir da rocha calcária calcinada e hidratada. Como o processo de calcinação e hidratação não ocorria dentro de um controle técnico e científico, acabava por gerar um produto de qualidade inferior, o que determinava no interior do revestimento o aparecimento de grânulos de calcário "*in natura*" devido a extinção (hidratação) incompleta da cal. Estes grânulos, quando na presença de uma nova fonte de umidade, reiniciam o processo da extinção, gerando assim, novas reações químicas e físicas no interior do reboco. A continuidade destas reações acaba por expandir o revestimento, o que determina o aparecimento de fissuras.

O uso de tijolos e cales obtidos por processos bastante rudimentares e de areias impuras e sem uma granulometria definida acabam por determinar, de imediato, algumas das características construtivas negativas encontradas na construção. Ao longo do tempo, estes fatores, certamente, contribuíram para as anomalias observadas, principalmente, as derivadas da presença da água em combinação com os sais solúveis.

O conhecimento mais aprofundado dos processos construtivos e das anomalias observadas no edifício eleito permite definir o trabalho experimental a desenvolver; bem como os locais e os testemunhos necessários aos ensaios, possibilitando assim, o conhecimento técnico das dosagens e dos materiais empregados na construção original, conforme previstos no próximo capítulo.

Capítulo 5

Organização do trabalho experimental

5.1 - Objetivo do trabalho experimental

5.2 - Definição dos locais e dos materiais a ensaiar no edifício selecionado

5.1-Objetivo do trabalho experimental

O programa experimental tem os seguintes objetivos: a) identificar as variáveis relacionadas à composição de argamassas típicas de revestimento de alvenaria que governam os seus comportamentos face ao mecanismo de transporte de umidade em paredes; b) determinar o grau de significância das variáveis nas propriedades das argamassas de revestimento relacionadas ao fenômeno da umidade de ascensão; c) modelar matematicamente o comportamento das propriedades relacionadas à umidade de ascensão e suas consequências e d) provar a premissa de que, mesmo utilizando materiais, cimento, cales e areias, disponíveis na região de Pelotas, aplicados em traços previamente definidos, com o emprego de elementos não usuais, como incorporador de ar e hidrofugante, a(s) argamassa(s) pode(m) dificultar e reduzir o transporte de umidade em meios porosos e, conseqüentemente, minimizar o afloramento de sais nas superfícies expostas dos revestimentos.

O trabalho experimental inicia-se com a caracterização do desempenho dos revestimentos existentes no edifício selecionado; e, também, das caracterizações técnica e de desempenho dos materiais constituintes das argamassas contemporâneas, além da observação dos revestimentos propostos e aplicados, nos painéis experimentais (painéis montados em laboratório e zonas selecionadas para a aplicação no edifício antigo) e nos corpos de prova moldados.

Foram realizadas experimentações no edifício selecionado, tanto por meio de ensaios “*in situ*”, como pela retirada de amostras e análise laboratorial. Os ensaios “*in situ*” compreenderam as medições do teor de umidade e das temperaturas dos revestimentos nas superfícies das paredes da construção. Os ensaios desenvolvidos em laboratório foram realizados nas amostras dos revestimentos e dos tijolos, extraídos da construção, as quais foram devidamente acondicionadas e posteriormente submetidas a ensaios de teor de água (umidade), de reconstituição do traço, de identificação de sais solúveis, de porosidade e de absorção de água por capilaridade.

A real necessidade da avaliação comportamental do edifício eleito; quer nos ensaios “*in situ*” quer nos ensaios laboratoriais, deve-se a obrigatoriedade de conhecimento mais aprofundado das características e causas que determinam as anomalias (temperatura e teor de umidade nos pontos afetados por eflorescências); e, também, o conhecimento dos materiais, das dosagens e do comportamento das argamassas aplicadas nas alvenarias originais da construção (reconstituição dos traços, absorção capilar, teor de sais solúveis...). Pois, como referido no capítulo anterior, o trabalho visa buscar uma argamassa de reabilitação que possa ser utilizada na recuperação dos edifícios patrimoniais da cidade de Pelotas; e, como estes prédios são

controlados pelo IPHAN (Instituto do Patrimônio Histórico e artístico Nacional), devemos trabalhar com materiais e metodologias o mais próximo das originais, requerendo, portanto, o pleno conhecimento dos procedimentos e dos componentes aplicados à época.

5.2-Definição dos locais e dos materiais a ensaiar no edifício selecionado

5.2.1-Critérios gerais

O edifício selecionado, por suas características e valor histórico; pelas anomalias advindas da umidade encontradas nos revestimentos de reboco e, também, pela busca de soluções às obras de restauro a serem realizadas, confirma a base principal e pioneira ao presente trabalho, onde as experimentações realizadas ofereceram os subsídios ao estudo com as argamassas de recuperação.

Os locais a serem analisados no edifício selecionado foram definidos com base nas características dos revestimentos existentes (originais à época da construção) e das manifestações de anomalia apresentadas. Foram selecionados locais para a investigação, exteriores e interiores, afetados por anomalias causadas pela presença de umidade e saís ou situados muito próximo a essas manifestações. Estas localizações caracterizam áreas bem distintas e de usos diferenciados; que abrangem a construção na sua totalidade, onde se apresentam as plantas dos pisos do edifício selecionado(Figura 4.19).

5.2.2-Ensaio realizados no edifício selecionado

Os ensaios realizados no edifício selecionado foram efetuados tanto nas amostras extraídas da construção como no solo e ambiente onde está implantado o mesmo, para assim, caracterizar as argamassas originais, identificar as prováveis fontes de umidade e subsidiar as novas s de argamassas de recuperação.

Tabela 5.1 - Ensaio de caracterização do edifício e sobre os materiais constituintes das paredes

Materiais objeto de ensaio		Ensaio “ <i>in situ</i> ”	Ensaio em laboratório
Condições gerais		Temperatura e umidade superficiais	
Materiais constituintes das paredes (extraídos do edifício)	Argamassas de reboco	–	<ul style="list-style-type: none"> • Teor de água • Reconstituição do traço-IPT-B25 • Identificação de sais solúveis-NBR 9917 • Absorção de água por capilaridade e secagem da água absorvida-LNEC-140/00
	Argamassas de assentamento da alvenaria	–	<ul style="list-style-type: none"> • Teor de água • Reconstituição do traço-IPT-B25 • Identificação de sais solúveis-NBR 9917
	Tijolos	–	<ul style="list-style-type: none"> • Identificação de sais solúveis-NBR 9917 • Formação de eflorescências-ASTM-C67-66
Solo		–	<ul style="list-style-type: none"> • Teor de água • Identificação de sais solúveis-NBR 9917

5.2.3-Ensaio “*in situ*” e laboratoriais no edifício selecionado

a) Medição da temperatura e umidade superficial no edifício selecionado

A medição da temperatura e da umidade superficial foi efetuada em cinco locais correspondentes a áreas distintas do edifício selecionado. Estes locais foram denominados A, B, C, D e E, todos pertencentes ao piso térreo; respectivamente: (A) porão do setor Norte (voltado para o Sul); (B) pátio interno do setor Sul (voltado para o Norte); (C) pátio dos fundos do setor Leste (voltado para o Leste); (D) galeria interna do setor Sul (voltada para o Norte) e (E) fachada externa do setor Sul (voltada para o Norte). (vd. Figura 4.16 - plantas do edifício selecionado). Cabe salientar que os paramentos donde foram retiradas as amostras A, B, C e E são rebocados com argamassa comum e o local D possui reboco em escaiola. Em cada local foram feitas três medições no mesmo paramento, respectivamente à altura de 0,50m, 1,00m e 1,50m do solo, tendo por objetivo verificar a variação térmica em função direta com o teor de umidade relativa do ar, o qual, em princípio, decresce à medida que se afasta do solo. Nestes locais as medições foram executadas

em três datas diferentes, sempre à mesma hora do dia e, para tal, foi utilizado um termohigrômetro eletrônico (Figuras 5.1 e 5.2).



Figura 5.1 - Termohigrômetro utilizado “*in situ*” nas medições de umidade e temperatura



Figura 5.2 - Medições das temperaturas e teor de umidade relativa do ar

As medições de temperatura e umidade superficial foram realizadas em três períodos diferentes e sempre na mesma faixa horária. Estes períodos compreenderam os meses de Maio, Junho e Julho. Foram realizadas cinco medições semanais para cada local predeterminado, totalizando vinte medições em cada mês. Cada local foi avaliado em quatro situações; três junto às zonas de extração de revestimentos (com uso de brocas rotativas de $\frac{1}{2}$ ”), nas alturas acima descritas, e uma junto à zona de extração de revestimento (esta com o uso de uma serra copo), com altura de 0,50m. Em cada mês foram executadas vinte medições (cinco por semana).

b) Ensaios laboratoriais nas amostras extraídas do edifício selecionado

A extração de amostras dos revestimentos foi executada com utilização de broca de meia polegada; onde as perfurações ocorreram em profundidades de 2,5cm, 5,0cm e 10,0cm (Figura

5.3). Estas amostras foram recolhidas em sacos plásticos e devidamente lacradas para não alterar as características encontradas no local e serviram, também, para a identificação dos possíveis sais solúveis. Com o uso de uma serra copo, foram retirados testemunhos maiores (biscoitos), os quais foram igualmente protegidos e transportados para o laboratório para averiguação do teor de água (Figura 5.4). Para a análise do solo, foram realizadas escavações na base da construção, com profundidade suficiente para expor por completo a fundação, onde o solo encontrado, junto à base da fundação, foi recolhido e cuidadosamente armazenado.



Figura 5.3 -Extração de amostras dos revestimentos



Figura 5.4 - Extração de amostras serracopo

Os tijolos a serem ensaiados foram extraídos de partes da construção que apresentavam uma grande área deteriorada, não implicando traumas maiores ao patrimônio (Figura 5.5).



Figura 5.5 - Extração dos tijolos a serem ensaiados

Para os ensaios de absorção de água e de reconstituição do traço (composição) das argamassas de revestimento e de assentamento antigas, foram retiradas amostras irregulares, com áreas e profundidades médias de 75cm^2 e $3,0\text{cm}$, respectivamente, correspondentes aos locais anteriormente selecionados. Estas amostras foram extraídas com o uso de uma ponteira de ferro e martelo de picão (Figura 5.6).



Figura 5.6 - Amostras de revestimentos para ensaios de absorção de água e reconstituição do traço

1- Medição laboratorial do teor de água das amostras de argamassas e do solo extraídos

As amostras foram colocadas em cápsulas numeradas e taradas e foram registradas a massa úmida do conjunto (amostra + tara) e a massa úmida, descontando a tara da cápsula. Em seguida o conjunto foi mantido em estufa a 105°C, repetindo-se a pesagem do mesmo até o registro de massa constante; obteve-se, assim, a massa da água contida na amostra, a qual foi expressa em percentual. Estas análises foram realizadas para todas as amostras colhidas, tanto para as argamassas de revestimentos como para as amostras de solo.

2-Método usado para reconstituição dos traços das amostras de argamassas extraídas

Uma das etapas do estudo é o conhecimento das características das argamassas originais. Para tal foram colhidas várias amostras em cada um dos cinco locais selecionados e, também, procurou-se obter informações sobre o uso e as possíveis intervenções ocorridas no edifício durante a sua existência. Como a construção possui mais de 120 anos; um tempo considerado longo, em comparação com as demais construções locais, verificou-se que algumas argamassas de revestimento haviam sofrido substituições, descaracterizando algumas partes da construção original. Porém, como estas modificações, e outras que o edifício possa ter sofrido, não foram registradas, é difícil poder traçar considerações sobre os fatos que possam ter influenciado a construção ao longo do tempo, principalmente no que se refere aos revestimentos (anamnese). Portanto, o estudo deteve-se naqueles locais que, pelas características visuais (textura, forma, cor e continuidade de conjunto), mostravam pertencer ao período da construção original.

As amostras recolhidas foram devidamente catalogadas e armazenadas. Parte delas foram destinadas ao ensaio de reconstituição do traço usado na sua confecção. Estas amostras

forneceram também uma identificação expedita das camadas de pintura que o edifício recebeu ao longo do tempo, na qual se pode identificar que as duas últimas intervenções utilizaram tintas plásticas; o que acabou por contribuir para o agravamento das anomalias.

O ensaio foi desenvolvido conforme descrito em 5.2.3(c). Das cinco amostras analisadas do edifício estudado, três foram retiradas dos paramentos exteriores (B, C e E) e duas retiradas dos paramentos interiores (A e D), sendo que a amostra D diferencia-se das demais amostras por pertencer a um reboco em escaiola. Todas as amostras de rebocos extraídos do edifício selecionado, conforme a tradição à época da construção a constatação visual e as análises laboratoriais, são constituídas de argamassas de cal e areia.

A reconstituição do traço foi baseada no princípio de que os aglomerantes são solúveis em ácido clorídrico permanecendo inalterados os agregados utilizados na composição da argamassa. A metodologia utilizada para esta reconstituição foi desenvolvida pelo IPT [52]. Este método foi desenvolvido originalmente para uso na reconstituição de traços de concreto, mas tem sido utilizado com êxito em argamassas. A dissolução dos aglomerantes em presença do ácido clorídrico e a permanência dos agregados permitem a determinação das quantidades destes últimos. Assim, determina-se, por diferença de massa, a quantidade de aglomerante que compunha a argamassa. Por se acreditar que as argamassas reconstituídas não utilizam cimento na sua composição, aumenta a confiança no procedimento aplicado, pois o resultado envolve apenas as massas de agregado e um tipo de aglomerante.

Toda a preparação e o método usado possibilitaram também, além da quantificação do teor de finos, a análise granulométrica do agregado usado na composição da argamassa. Sabe-se que, para o número de variáveis a ser considerado na reconstituição dos traços, este procedimento não contempla um domínio total sobre todas estas variáveis, mas para efeito de comparações entre os locais de onde foram extraídas as amostras de argamassa, nos permite uma boa caracterização do material utilizado.

O método preconizado pelo IPT [52] e utilizado no presente estudo constituiu-se das seguintes etapas (Figuras 5.7 e 5.8):



Figura 5.7- Pesagem, destorroamento, secagem e imersão em ácido clorídrico



Figura 5.8 - Filtragem, secagem do papel filtro e análise granulométrica

3-Método usado para a identificação de sais solúveis nas amostras extraídas

As amostras das argamassas de revestimento e assentamento, de tijolos e de solo, foram submetidas a ensaios para a detecção da presença de sais solúveis. As amostras de argamassa e de solo foram ensaiadas segundo a NBR 9917/1987 [53], que prescreve o método para determinação do teor de sais solúveis em água, em agregados para concreto, quantificando em particular os teores de cloretos e sulfatos solúveis. Estes ensaios foram desenvolvidos no Laboratório de Química Analítica do Curso de Química da Universidade Católica de Pelotas (Figura 5.9).

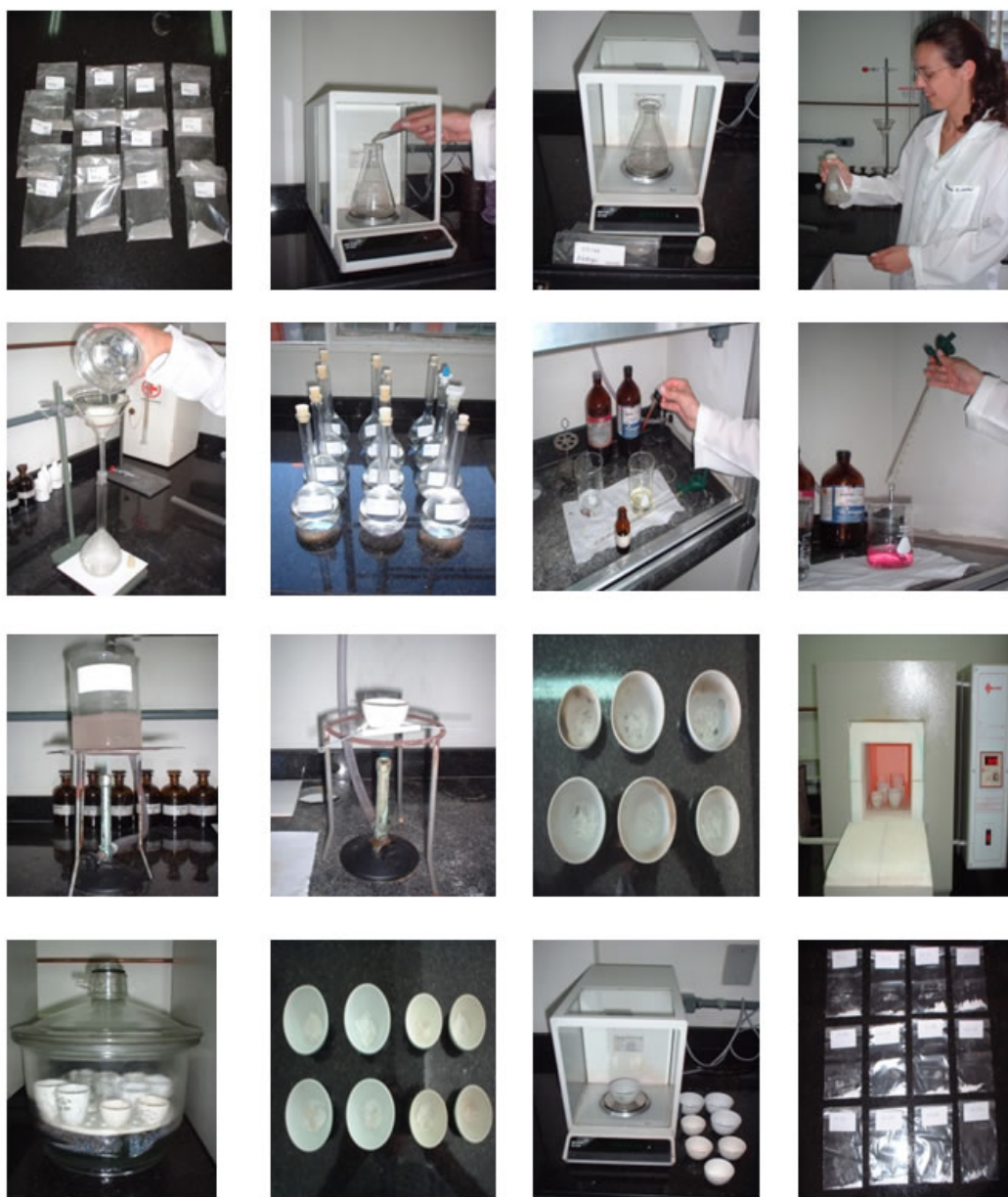


Figura 5.9 -Registro fotográfico do ensaio

4-Método usado para a verificação de manifestações de efluorescência nas amostras dos tijolos extraídos e dos tijolos empregados na construção dos painéis experimentais

No ensaio de efluorescência realizado nas amostras de tijolos extraídas do edifício estudado bem como nas amostras dos tijolos usados na construção dos painéis experimentais, o procedimento de análise baseou-se na Norma Americana ASTM C67 [17] - American Society for Testing and

Materials, *Standard Methods of Sampling and Testing Brick and Structural Clay Tile*, de 1966, e constituiu-se na seguinte metodologia:

Os tijolos ensaiados foram devidamente limpos, tendo-se eliminado toda a sujidade superficial aderente, evitando assim enganos na análise final.

O ensaio consiste em imergir uma unidade de cada par de amostras em água destilada, a uma profundidade de aproximadamente 2,5 cm, por um período de sete dias, num ambiente seco. Havendo mais de uma unidade em cada recipiente, estas deverão estar separadas de no mínimo 5,0 cm. A outra unidade de cada par será mantida no mesmo ambiente, sem contato com a água. Depois dos sete dias, se coloca cada par em estufa para secagem por um período de três dias. Em seguida, examina-se a parte superior e as quatro faces dos tijolos. Não havendo diferenças entre eles, considera-se a não presença de eflorescências. Se houver alguma diferença devido a formações eflorescentes, a unidade afetada deverá ser observada a uma distância de aproximadamente 3,00m; sob iluminação, e, se desta forma, ainda for notada a presença de eflorescências, podemos considerar tal anomalia como presente no tijolo analisado; caso contrário, sob as mesmas condições, nada for observado, considera-se como fraca eflorescência (Figura 5.10).



Figura 5.10 -Análise visual de manifestações de eflorescências

5-Métodos usados para a determinação de absorção de água por capilaridade e secagem da água absorvida nas amostras de argamassas extraídas

Das amostras de argamassas antigas extraídas pelo uso de ponteira e martelo picão com forma e dimensão irregulares, uma parte serviu para o ensaio de absorção de água por capilaridade e secagem da água absorvida. O método aplicado para este ensaio baseia-se no modelo preconizado pelo relatório 140/00 - NCCt do LNEC [54] (Figuras 5.11 e 5.12).



Figura 5.11- Pesagem e contato dos corpo de provas com a água

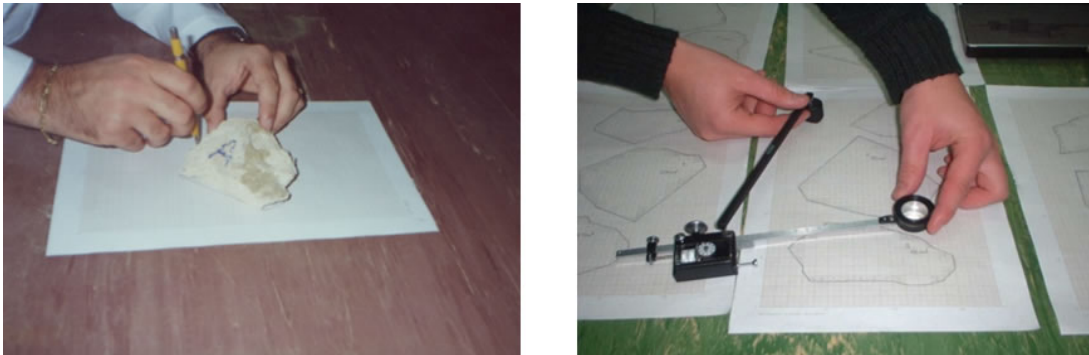


Figura 5.12 - Medição dos corpo de provas

Os coeficientes de capilaridade são depois calculados através da razão entre a massa de água absorvida por unidade de área entre os instantes t_1 e t_0 (por regressão linear) e a diferença entre as raízes quadradas desses tempos: $C_{cc} = (M_1 - M_0) / (\sqrt{t_1} - \sqrt{t_0})$ e os resultados obtidos se encontram nas Tabelas I (18 a 22) do Anexo I e nos valores compilados na Tabela 5.11.

5.3-Apreciação dos resultados dos ensaios no edifício selecionado

5.3.1-Ensaio “*in situ*”

a) Medição de temperatura e umidade superficial

Tabela 5.2 - Temperatura e umidade superficial das paredes, indicado nas figuras 4.16 e 5.2.

Local	Média da temperatura superficial(°C)	Média da temperatura ambiental(°C)	Média do teor de umidade superficial(%)	Média do teor de umidade ambiental(%)
A	14,9	14,4	76,7	79,0
B	14,4	15,1	76,2	78,3
C	15,5	15,5	77,2	77,0
D	16,7	16,7	68,6	66,8
E	14,8	15,0	75,5	74,7

Verificou-se, nos cinco locais analisados(A,B,C,D e E) (ver Figuras 4.16 e 5.2), que, embora em zonas e condições de uso diferenciadas, apresentam valores de temperaturas e umidades superficiais muito semelhantes, as quais correspondem sensivelmente às médias para a época do ano em que foram efetivadas as análises (Tabela 5.2).

Esta manutenção dos teores de umidade e de temperaturas superficiais, mesmo em alturas diferenciadas, pode indicar, também, uma forte influência da água contida no revestimento, quer por absorção superficial (porosidade, fendilhações, etc.), quer por ascensão capilar da água do solo. Além deste importante fator constata-se que os registros termohigrométricos, obtidos nos ambientes do edifício que contatam os paramentos, apresentam valores muito próximos (Tabela 5.2) ou, nalguns casos, iguais aos obtidos nas superfícies dos revestimentos.

5.3.2-Ensaio laboratoriais

a) Ensaio para determinação do teor de água das amostras de argamassa e do solo extraídos

As amostras extraídas de cada um dos cinco locais do edifício foram coletadas e ensaiadas conforme descrito em 5.2.3 (a) e 5.2.3 (b), encontrando-se os respectivos resultados nas Tabelas 5.3, 5.4, 5.5, 5.6 e 5.7.

Tabela 5.3-Teor de água nas amostras do local A

LOCAL A	A1 (*)	A2 (*)	A3 (*)	A4 (**)	A5
PORÃO NORTE	Ø1/2"-h=0.50	Ø1/2"-h=1.00	Ø1/2"-h=1.50	S.C. h=0.50	Solo
Teor de umidade (%)	4,7	0,7	2,5	5,0	—

(*)Broca com Ø ½" (**) S.C.= serra copo

Tabela 5.4-Teor de água nas amostras do local B

LOCAL B PÁTIO SUL	B1 (*)	B2 (*)	B3 (*)	B4 (**)	B5
	Ø1/2"-h=0.50	Ø1/2"-h=1.00	Ø1/2"-h=1.50	S.C. h=0.50	Solo
Teor de umidade (%)	4,6	3,6	2,5	6,1	27,0

(*)Broca com Ø 1/2" (**) S.C.= serra copo

Tabela 5.5-Teor de água nas amostras do local C

LOCAL C PÁTIO LESTE	C1 (*)	C2 (*)	C3 (*)	C4 (**)	C5
	Ø1/2"-h=0.50	Ø1/2"-h=1.00	Ø1/2"-h=1.50	S.C. h=0.50	Solo
Teor de umidade (%)	1,9	0,2	0,4	2,4	19,3

(*)Broca com Ø 1/2" (**) S.C.= serra copo

Tabela 5.6-Teor de água nas amostras do local D

LOCAL D GALERIA SUL	D1 (*)	D2 (*)	D3 (*)	D4 (**)	D5
	Ø1/2"-h=0.50	Ø1/2"-h=1.00	Ø1/2"-h=1.50	S.C. h=0.50	Solo
Teor de umidade (%)	4,6	5,8	2,1	7,8	—

(*)Broca com Ø 1/2" (**) S.C.= serra copo

Tabela 5.7-Teor de água nas amostras do local E

LOCAL E FACHADA SUL	E1 (*)	E2 (*)	E3 (*)	E4 (**)	E5
	Ø1/2"-h=0.50	Ø1/2"-h=1.00	Ø1/2"-h=1.50	S.C. h=0.50	Solo
Teor de umidade (%)	3,8	3,6	2,7	7,5	11,1

(*)Broca com Ø 1/2" (**) S.C.= serra copo

Constata-se que os teores de água nas amostras extraídas do edifício apresentam valores relativamente baixos. Admite-se que tal se deva, em parte, ao modo de extração, com recurso a brocas rotativas e serras de copo que, embora de baixa rotação, acabam por determinar uma secagem, por aquecimento, durante a obtenção da amostra.

Como as amostras foram extraídas no mesmo período em que foram realizadas as medições das umidades relativas do ar e das temperaturas, acabam; estes testemunhos, apresentando características termohigrométricas muito semelhantes àquelas registradas nos ambientes avaliados.

b) Reconstituição do traço das amostras de argamassas extraídas

A Tabela 5.8 mostra os resultados dos constituintes analisados e nas duas últimas linhas, em cinza, apresentam-se os traços reconstituídos das argamassas de reboco extraídas do edifício selecionado.

Tabela 5.8 - Reconstituição de traço das Amostras

Análise	Amostra A	Amostra B	Amostra C	Amostra D	Amostra E
massa original da amostra triturada	254,09g	283,04g	207,17g	201,78g	222,05g
massa original da amostra triturada seca P1	240,35g	273,63g	202,64g	185,94g	210,79g
massa do filtro de papel P2	3,14g	3,10g	1,57g	1,58g	1,56g
massa do filtro de papel + finos secos P3	10,54g	13,31g	7,22g	5,52g	4,55g
massa dos finos secos (P3-P2)	7,40g	10,21g	5,65g	3,94g	2,99g
massa da areia seca P4	197,17g	220,40g	157,78g	167,93g	191,51g
% de areia $[(P4/P1) \times 100]$	82,42%	80,55%	77,86%	90,31%	90,85%
% de finos $[(P3-P2/P1) \times 100]$	3,08%	3,73%	2,79%	2,12%	1,42%
% de aglomerante dissolvido	14,5%	15,72%	19,35%	7,57%	7,73%
Traço em massa	1:5,90	1:5,36	1:4,17	1:12,21	1:11,94
Traço em volume	1:4,40	1:4,00	1:3,11	1:9,11	1:8,91

Verifica-se uma heterogeneidade de traços no mesmo edifício, o que corresponde a uma prática comum para as construções daquele período. Como se pode verificar, na Tabela 5.8, acima, a variação de traços ocorre em dois grupos, ou seja: as amostras A, B e C possuem valores aproximados, onde a amostra C apresenta um traço mais forte que a amostra B e esta, um traço mais forte do que o encontrado na amostra A. Já as amostras D e E, que constituem o segundo grupo; apresentam, também, valores muito próximos, sendo neste caso a amostra E de traço mais forte que a amostra D.

As variações verificadas nos traços encontrados poderiam ter ocorrido, também, pela perda contínua do aglomerante (cal); devido aos desgastes determinados ao longo do tempo, quer pela própria água interior que, ao aflorar à superfície, carrega consigo os finos para o exterior do revestimento, donde, gradativamente, vão sendo eliminados, quer pelo desgaste natural ou pelo uso, quer pelas lavagens superficiais naturais e artificiais (chuvas e limpezas dos paramentos); mas certamente, os fatores fortemente determinantes e inevitáveis às variações de dosagens identificadas estão relacionados com a forma imprecisa utilizada na manufatura das argamassas; quer pelo manuseio humano, quer pelos equipamentos de medição imprecisos utilizados (padiolas ou volumes), determinando assim uma não constância nos traços empregados.

Nas paredes exteriores, sujeitas à ação das chuvas e com alta degradação por eflorescências e/ou criptoflorescências; poderia ocorrer nítido enfraquecimento das argamassas de reboco, pelo qual se poderia confirmar a teoria anteriormente descrita, neste caso, acrescida da deterioração interior do reboco, determinada pela expansão dos cristais de sal, o que leva a uma perda da coesão interna e a uma conseqüente e continuada desagregação; os saís que chegam à superfície dos revestimentos ou se acumulam muito próximo a esta zona acabam por ser eliminados, carregando consigo parte do aglomerante utilizado na composição da argamassa, e determinando, possivelmente, as variações registradas nos resultados obtidos nos ensaios de reconstituição do traço das argamassas antigas.

Nota-se, também, que as argamassas das paredes com exposição solar privilegiada acabam por apresentar um traço mais fraco; o que levaria a crer que a incidência do sol determina expansões e retrações, originando o aparecimento de micro fendilhação que facilita a penetração da água, a qual, por lavação e arraste, poderia ser responsável por sucessivas perdas do aglomerante e pelo enfraquecimento e desagregação dos rebocos. Porém, as diferenças encontradas nos traços reconstituídos parecem ser demasiado grandes para serem devidas apenas à lavação dos ligantes.

É possível por isso que para essas diferenças tenha também contribuído um processo construtivo rudimentar de execução das paredes e dos respectivos rebocos e a falta de controle de qualidade, comuns à época da construção.

c) Determinação da composição granulométrica das areias provenientes da reconstituição dos traços das amostras de reboco extraídas

A Tabela 5.9 e a Figura 5.13 apresentam uma síntese das características granulométricas das cinco areias provenientes da reconstituição dos traços das amostras de reboco extraídas do edifício selecionado. As caracterizações granulométricas servem para determinar a busca de uma granulometria adequada à areia a ser utilizada nas argamassas de reboco no estudo. As tabelas das análises e as curvas granulométricas estão representados na Tabela 5.9, que mostra os diâmetro máximo e o módulo de finura e, nas Tabelas I (12 a 16) e Figuras I (1 a 5) do Anexo I, estão mostrados, respectivamente, as análises de granulometrias completas, bem como, as curvas granulométricas das areias analisadas.

Tabela 5.9 - Diâmetro máximo e módulo de finura das cinco areias provenientes da reconstituição dos traços dos rebocos extraídos do edifício selecionado.

Amostra	Traço da argamassa (em massa)	Diâmetro máximo (mm)	Módulo de finura
A	1:5,9	4,8	2,68
B	1:5,4	4,8	2,56
C	1:4,2	2,4	2,56
D	1:12,2	4,8	3,09
E	1:11,9	4,8	2,41

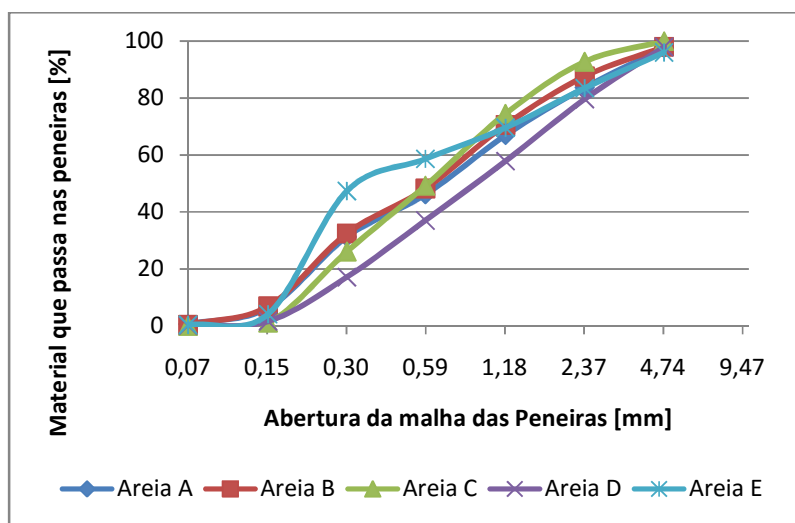


Figura 5.13 - Curvas granulométricas das cinco areias resultantes da reconstituição dos traços das amostras extraídas do edifício

As areias analisadas, que determinarão a escolha das areias a serem utilizadas nas novas argamassas no estudo apresentam; na sua quase totalidade, uma granulometria adequada ao uso; ou seja, areias com composição média fina. Conforme PETRUCCI-1979 [55]; as areias que possuem módulo de finura (MF) entre 2,4 e 3,3; são consideradas areias recomendáveis ao uso em argamassas de revestimento, donde esta variação granulométrica determina uma melhor acomodação dos grãos, propiciando o preenchimento dos vazios, reduzindo o consumo do(s) ligante(s) e produzindo uma melhor coesão interna e um envolvimento mais eficaz dos grânulos do agregado pelo(s) ligante(s).

d) Identificação de sais nas amostras extraídas

O ensaio realizado foi desenvolvido conforme os procedimentos descritos em 5.2.3(b) 4 sendo os resultados apresentados na Tabela 5.10.

Tabela 5.10 - Teores de sais identificados nas amostras extraídas do edifício selecionado

Teores de sais solúveis - Amostras extraídas				
Amostras	Traço da argamassa (em massa)	Sulfatos (%)	Cloretos (%)	Sais solúveis totais(%)
Reboco A	1:5,9	0,0216	0,0133	0,0349
Reboco B	1:5,4	0,0174	0,0384	0,0558
Reboco C	1:4,2	-	0,1019	0,1019
Reboco D (*)	1:12,2	0,2343	0,0665	0,3008
Reboco E	1:11,9	0,1106	0,1412	0,2518
Tijolo	-	0,0272	0,0177	0,0449
Solo B	-	-	0,0220	0,0220
Solo C	-	0,0041	0,0015	0,0056
Solo D	-	-	0,0262	0,0262

(*) O teor elevado de sulfato do "reboco D" pode resultar de contaminação com o gesso da escaiola de acabamento que foi removido.

Os resultados apresentados na Tabela 5.10 indicam a presença de sais solúveis em todas as amostras. Embora a amostra do solo C apresente baixíssimos teores de sais; não se pode considerá-la como isenta deste produto, pois este baixo teor pode significar a migração dos sais para outras partes do solo e/ou da própria construção, fazendo com que a amostra coletada apresentasse os baixos teores de sais solúveis identificados no ensaio. Algumas amostras, mais nitidamente, as amostras D e E, apresentam teores bastante altos, donde, coincidentemente, os revestimentos dos quais foram extraídas tais amostras possuem uma camada superficial com permeabilidade reduzida; quer na origem, como a escaiola no paramento da amostra D, quer por intervenções atuais, como a pintura com tinta acrílica no paramento da amostra E. Nas duas situações mencionadas estas camadas superficiais; por serem pouco permeáveis, acabaram por impedir a eliminação da umidade interior das paredes, fazendo com que os sais solúveis ao serem transportados pela água acabassem por se concentrar, em quantidades maiores, atrás destas superfícies, gerando a cristalização interna de sais característica das criptoflorescências e não as eflorescências correntes.

Nas paredes com revestimento tradicional (sem escaiola), e naquelas cujas pinturas apresentavam um acentuado desgaste ou até mesmo a inexistência de qualquer película

protetora, verificavam-se, visualmente, manifestações de eflorescências e/ou criptoflorescências menos acentuadas, o que veio a se confirmar num menor teor de sais nas amostras ensaiadas.

Portanto, pode-se concluir que os sais solúveis, conduzidos pelos constantes ciclos de secagem da umidade interior das paredes, acabam por chegar às faces dos revestimentos internos e externos, donde são eliminados pela ação dos ventos, do sol e da chuva.

e) Ensaio para verificação de eflorescências nas amostras de tijolos extraídos

O ensaio de eflorescência realizado nos tijolos extraídos do edifício n° 6, Casarão Albuquerque Barros, de acordo com a Norma Americana ASTM C67-66 [17] [conforme descrito em 5.2.3(b)5] indicou a não formação de eflorescências. Isto mostra que a presença de sais nas alvenarias ou, mais especificamente, nas argamassas, quer de assentamento, quer de reboco, são provenientes dos próprios materiais constituintes das argamassas (areia e cal) ou originados no solo onde a construção se apoia. Desta forma, os tijolos não colaboram para a formação de eflorescências e/ou criptoflorescências.

f) Absorção de água por capilaridade e secagem da água absorvida nas amostras de reboco extraídas

A metodologia aplicada ao ensaio foi desenvolvida conforme descrito em 5.2.3(b)6 e os resultados encontrados, tanto para a absorção por capilaridade, bem como para a secagem da água absorvida estão expressos na Tabela 5.11 e nas Figuras de 5.14 a 5.23, abaixo. Bem como nas Tabelas I (18 a 27) do Anexo I.

Tabela 5.11 - Coeficiente de capilaridade e secagem da água absorvida nas amostras extraídas

Amostra	Coeficiente de capilaridade por contato (kg/m ² .min. ^{0,5}) - Ccc25	Secagem da água absorvida(kg/m ²)
A	1,002	1,21
B	0,912	0,18
C	0,764	0,60
D	0,906	0,83
E	0,993	5,93

Os resultados de absorção de água das cinco amostras de argamassa extraídas do edifício selecionado, apresentados nas Figuras. 5.14 a 5.18; revelam uma elevada absorção inicial,

verificada aos primeiros cinco minutos, enquanto que dos 90 aos 1440 minutos registraram-se uma estabilidade nos teores (quantidades) de água absorvidos. Estas quantidades indicam um comportamento esperado, pois no início da absorção, por estarem os poros livres do peso próprio da coluna de água absorvida e uma menor ação da força gravitacional, existe uma absorção mais intensa no início do processo, reduzindo este efeito à medida que o tempo transcorre e o transporte fica dificultado. Assim, as argamassas antigas (amostras extraídas), apresentam uma elevada absorção inicial e uma desaceleração da água absorvida à medida que o corpo vai ficando saturado e imprimindo forças contrárias à ação ascensional da coluna de água.

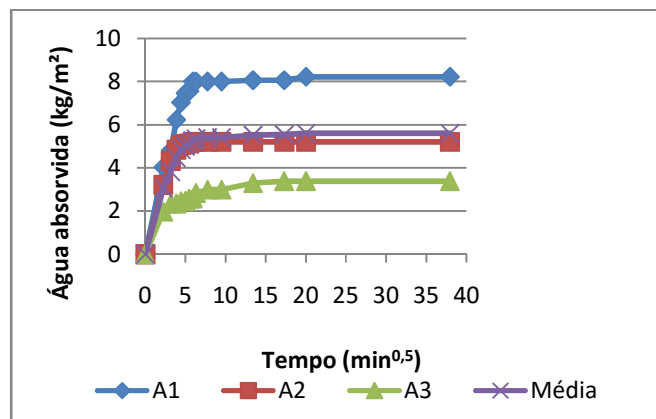


Figura 5.14 - Absorção de água por capilaridade da amostra A (1:5,9)

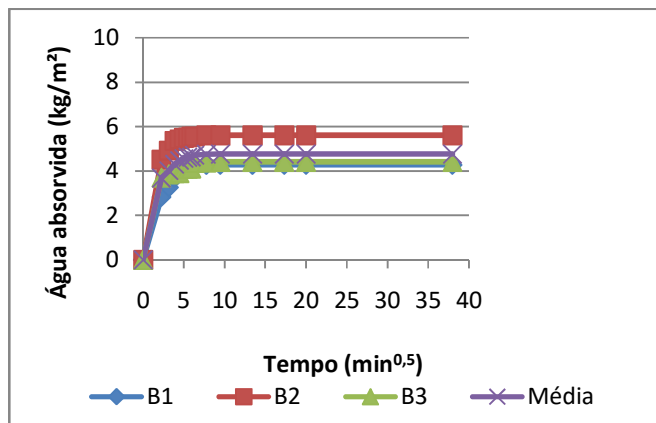


Figura 5.15 - Absorção de água por capilaridade da amostra B (1:5,4)

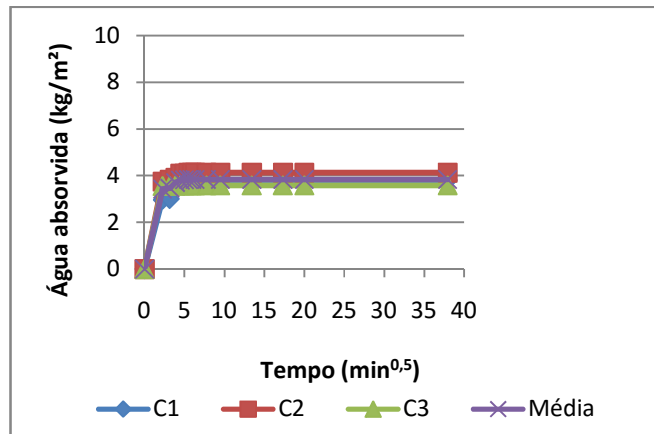


Figura 5.16 - Absorção de água por capilaridade da amostra C (1:4,2)

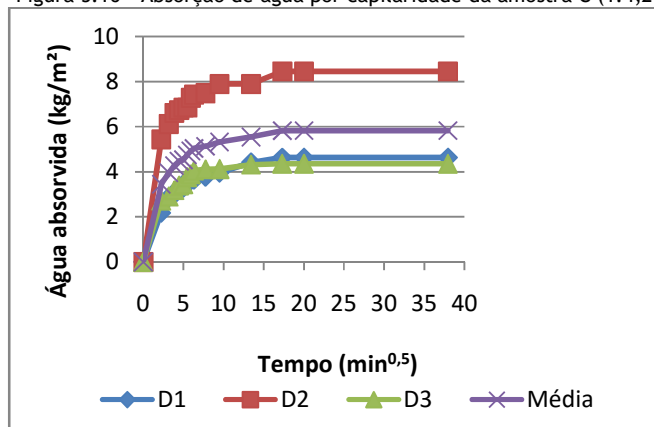


Figura 5.17 - Absorção de água por capilaridade da amostra D (1:12,2)

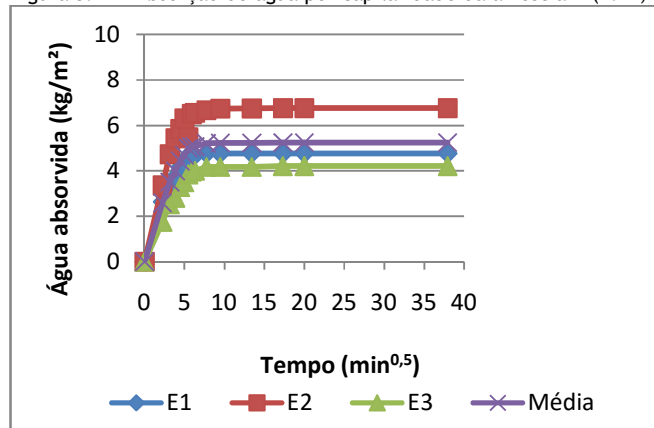


Figura 5.18 - Absorção de água por capilaridade da amostra E (1:11,9)

Conforme apresentado nas Figuras 5.19 a 5.23, a secagem é bastante equilibrada nas amostras extraídas do edifício selecionado. Nos primeiros 450 minutos verifica-se, basicamente, a eliminação da água retida nas camadas mais íntegras da amostra; após esse tempo, constata-se que a secagem ocorre mais abruptamente, determinada pelas características da zona do

revestimento mais próxima do paramento exterior, que apresenta uma maior porosidade, determinando uma menor retenção da água e a consequente aceleração da secagem.

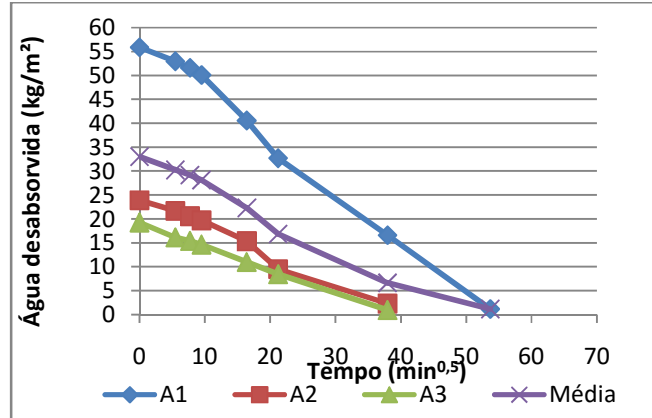


Figura 5.19 - Secagem da amostra A (1:5,9)

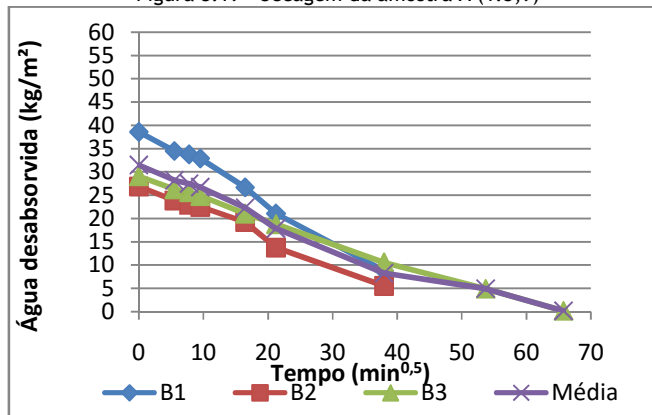


Figura 5.20 - Secagem da amostra B (1:5,4)

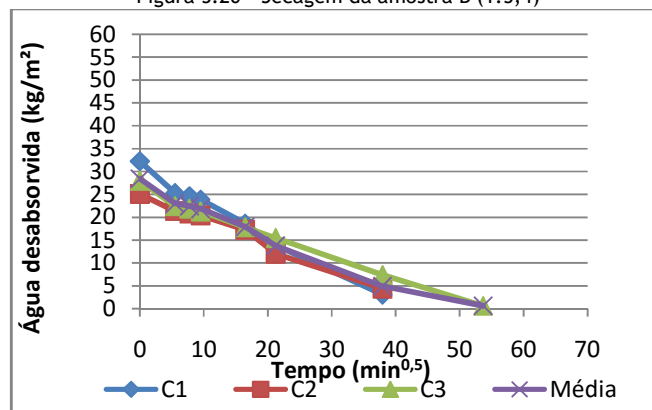


Figura 5.21 - Secagem da amostra C (1:4,2)

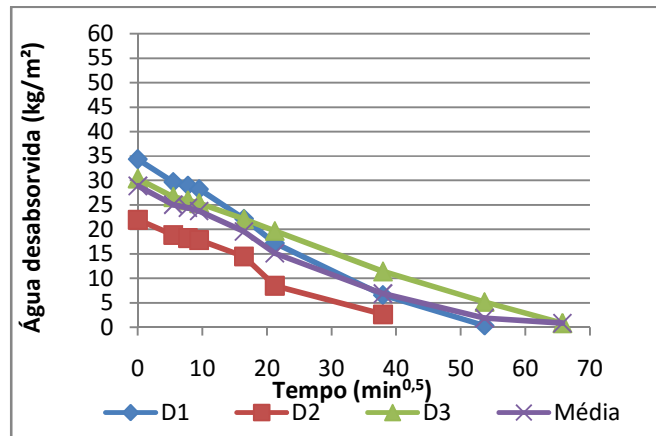


Figura 5.22 - Secagem da amostra D (1:12,2)

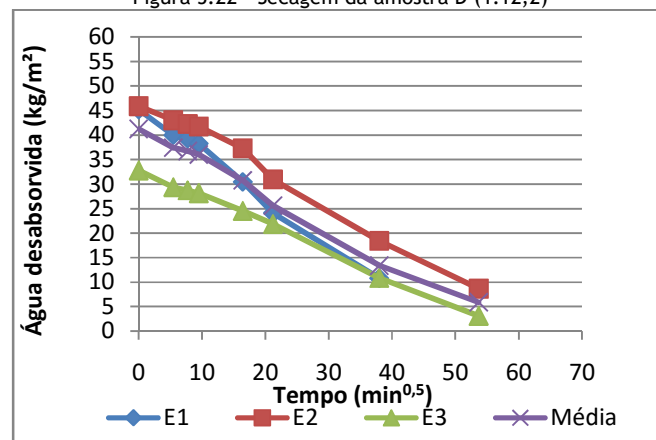


Figura 5.23 - Secagem da amostra E (1:11,9)

O programa experimental organizado neste capítulo descreve os ensaios realizados “*in situ*” e na amostras retiradas do edifício selecionado, seguida da apresentação dos resultados e suas discussões. Estes dados são fundamentais ao Capítulo 6, pois, conforme já citado, devemos trabalhar, por orientação do IPHAN, dentro de padrões que mantenham, o mais próximo possível, os processos construtivos e os materiais utilizados a época da construção original. Portanto, os resultados destes ensaios subsidiam à proposição das argamassas de reabilitação a trabalhar.

Capítulo 6

Modelo experimental adotado

6.1 - Considerações gerais

6.2 - Definição das argamassas de reabilitação propostas ao estudo

6.3 - Ensaios nos materiais constituintes das argamassas de reabilitação propostas

6.4 - Resultados dos ensaios de caracterização dos constituintes das argamassas

6.1-Considerações gerais

Com base nos resultados dos ensaios realizados nas amostras de reboco extraídas do edifício selecionado foram definidas as argamassas de reabilitação a trabalhar. Para tal, após a definição de dosagens das argamassas propostas ao estudo; onde consideramos, primeiramente, a avaliação dos materiais a constituir as mesmas e, posteriormente, o comportamento dos corpos de prova mediante ensaios normalizados e o comportamento dos rebocos constituídos pela aplicação destas argamassas em painéis experimentais, quer executados em laboratório quer no edifício selecionado, o qual permitirá uma maior aproximação com a realidade, donde poderemos identificar as possíveis anomalias advindas das condições nas quais estes painéis estarão submetidos.

6.2-Definição das argamassas de reabilitação propostas ao estudo

6.2.1-Critérios gerais

Os resultados obtidos nas análises “*in situ*” e nas amostras extraídas do edifício selecionado, os quais indicam padrões de normalidade em relação às características climáticas e as argamassas aplicadas na região, permitem o desenvolvimento de um programa de novas argamassas para estudos e suas aplicações naquele edifício. As argamassas de reabilitação para o estudo tomaram por base dois modelos de argamassas. Foram utilizadas as argamassas de revestimento tradicionalmente empregues na região de Pelotas; que, pelo comparativo com os resultados do ensaio de reconstituição do traço, aplicado às amostras extraídas do edifício selecionado, mantém um padrão similar de dosagem àquele empregue na construção original do edifício. Por outro lado, em função da implantação, pelo Governo Federal, do *Programa Monumenta*; o qual promove a recuperação de edifícios em cidades históricas, foram desenvolvidas campanhas de investigações e ciclos de debates; que culminou num Seminário Sobre Recuperação de Obras Históricas de Engenharia e Arquitetura, na Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), na cidade de Porto Alegre, capital do Rio Grande do Sul, no ano de 1995, denominado “*Métodos de tratamento de alvenarias deterioradas: A utilização de rebocos de recuperação e medidas de combate aos sais*” o qual foi apresentado pelo Dr. Ing. Claus Arendt, do IGS (*Institut für Gebäudeanalyse und Sanierungsplanung*) de Munique, Alemanha. O IGS desenvolveu estudos na Igreja de São Pedro, na vizinha cidade de Rio Grande, e apresentou o traço adequado àquela recuperação, o qual ficou conhecido como “*Traço Alemão*”. As argamassas foram submetidas a

um programa de ensaios desenvolvidos em corpos de prova e em painéis experimentais, executados em laboratório e no edifício selecionado. No caso dos painéis executados em laboratório, as argamassas foram aplicadas em muretes de alvenaria de tijolos maciços com dimensões de 1,10m de altura, 1,50m de largura e 0,15m de espessura, construídos no interior do LRM (Laboratório de Resistência dos Materiais) do curso de Engenharia Civil da Universidade Católica de Pelotas(UCPel); no caso dos painéis executados em obra, as argamassas foram aplicadas em troços de paredes do edifício selecionado, após a remoção dos rebocos originais (Figuras 6.1, 6.2 e 6.3). Os ensaios em questão visaram, essencialmente, avaliar o desempenho das argamassas face à ação da umidade e de sais solúveis.



Figura 6.1 - Construção dos painéis experimentais em laboratório



Figura 6.2 - Execução dos revestimentos experimentais no edifício selecionado (exterior)



Figura 6.3 - Execução dos revestimentos experimentais no edifício selecionado (interior)

Na definição dos traços a trabalhar, conforme descritos na Tabela 6.1 (abaixo), levou-se em conta três argamassas mistas usadas na região. A argamassa de traço 1:1:6, usada na construção do edifício selecionado (reconstituição do traço) e a argamassa 1:1:7, (ambas usada em construções em geral); a argamassa 1:4:14, (utilizada na região para a recuperação de rebocos afetados por umidade e sais solúveis) e uma argamassa importada da Alemanha de traço 1:0,33:3,7, que utiliza os adjuvantes (incorporador de ar e hidrofugante) e foi utilizada na recuperação de um edifício histórico na vizinha cidade de Rio Grande, distante 50 km de Pelotas e serve de modelo, quanto ao uso de adjuvantes, aos traços 1:1:7 e 1:4:14. Os referidos traços foram definidos com base no trabalho, utilizar traços comuns na região e; também, a argamassa importada, comparando o comportamento destes traços 1:0,33:3,7, 1:1:7 e 1:4:14 com o traço 1:1:6, usual e identificado na reconstituição dos rebocos antigos do edifício selecionado. Os quatro traços propostos apresentam uma relação entre aglomerantes (cimento+ cal) e agregados (areia), como se segue: traço 1:1:6 (1:3), traço 1:0,33:3,7 (1:2,78), traço 1:1:7 (1:3,5) e traço 1:4:14 (1:2,8). Como há uma variação no esqueleto das argamassas, o que resultará numa porosidade também diferente, a maior ou a menor, conforme a relação entre ativos (aglomerante) e inertes (agregados); e que, ao mantermos uma proporção inalterada na quantidade água/aglomerante; em todas as mesclas, definirá uma porosidade mais ou menos aberta, com maior ou menor volume e, principalmente, com variação do raio dos poros e dos capilares, diminuindo estes, conforme o maior preenchimento dos vazios e da mais efetiva reação dos aglomerantes no interior dos mesmos; onde estas diferentes porosidades poderão ser constatadas, posteriormente, por meio de ensaios de índice de vazios e/ou absorção de água. Por outro lado, com base na modelização matemática simplificada, como se apresenta em 3.4 (Equação 31), as pequenas variações dos raios superior (R_s) e raio inferior (R_i), em função da

pequeníssima dimensão dos mesmos leva a considerá-los constantes e iguais, permitindo que o volume de água absorvido por unidade de área da alvenaria nos defina uma constante ω ao sistema (tijolo + reboco), conforme expresso na Equação 31. Como as variações entre as proporções entre aglomerante e agregado; nos quatro traços propostos, são bastante pequenas, cabe avaliar se estas diferenças determinam alterações no volume de água absorvido e transportado no sistema ou se as variações identificadas estarão, também, relacionadas ao uso dos três tipos de cales utilizadas CHA (cal hidratada), cal hidratada com adição de cinza volante (CHB) e cal virgem (CV), as quais, respectivamente, pela industrialização, pela industrialização e adição de cinza volante e pela extinção artesanal, determinam diferentes comportamentos, quer na maior finura, quer na reatividade. Implicando em alterações na porosidade das mesclas, principal fator a ser avaliado para os diferentes traços; o que poderá determinar diferentes comportamentos às argamassas de reabilitação. Espera-se, portanto, que as diferentes cales, por sua diferenças características e comportamentais, determinem uma absorção de água, um transporte da umidade e uma secagem da água absorvida capazes de influenciar os fenômenos da ascensão capilar da umidade e da eflorescência. Como dos quatro traços propostos, os traços 1:0,33:3,7, 1:1:7 e 1:4:14, são adjuvados, em iguais dosagens, com incorporador de ar e hidrofugante, estes, teoricamente, não alteram, diferentemente, as mesclas; cumprindo, de forma igualitária, as características de incorporação de novos vazios e de estanqueidade. Cabe salientar que a argamassa mista de traço 1:1:6, por ser àquela padrão na região e empregada, originalmente, como reboco no edifício selecionado e, por ter sido avaliada, em suas amostras retiradas do edifício selecionado, não será adjuvada, servindo assim, como referência comportamental às demais argamassas trabalhadas.

Tabela6.1 -Traços de argamassas a trabalhar

<ul style="list-style-type: none"> • <u>Traço padrão -1:1:6 (ci: ca: ar)</u>
a - 1:1:6 CHA - (ci: cha: ar) b -1:1:6 CHB - (ci: chb: ar) c -1:1:6 CV - (ci: cv: ar)
<ul style="list-style-type: none"> • <u>Traço - 1:0,33:3,7 (ci: ca: ar)+ 5% cz + 0,05% ia + 0,2% hd</u>
a - 1:0,33:3,7 CHA - (ci: cha: ar) + 5% cz + 0,05% ia + 0,2% hd b - 1:0,33:3,7 CHB - (ci: chb: ar) + 5% cz + 0,05% ia + 0,2% hd c - 1:0,33:3,7 CV - (ci: cv: ar) + 5% cz + 0,05% ia + 0,2% hd
<ul style="list-style-type: none"> • <u>Traço - 1:1:7 (ci: ca: ar) + 10% cz + 0,05% ia + 0,2% hd</u>
a - 1:1:7 CHA - (ci: cha: ar) + 10% cz + 0,05% ia + 0,2% hd b - 1:1:7 CHB - (ci: chb: ar) + 10% cz + 0,05% ia + 0,2% hd c - 1:1:7 CV - (ci: cv: ar) + 10% cz + 0,05% ia + 0,2% hd
<ul style="list-style-type: none"> • <u>Traço - 1:4:14 (ci: ca: ar) + 5% cz + 0,05% ia + 0,2% hd</u>
a - 1:4:14 CHA - (ci: cha: ar) + 5% cz + 0,05% ia + 0,2% hd b - 1:4:14 CHB - (ci: chb: ar) + 5% cz + 0,05% ia + 0,2% hd c - 1:4:14 CV - (ci: cv: ar) + 5% cz + 0,05% ia + 0,2% hd

As simbologias utilizadas nos traços acima descritos têm os seguintes significados:

ci - cimento portland pozolânico;

ca - cal;

ar - areia média fina;

cha - cal hidratada;

chb - cal hidratada com adição de cinzas (*);

cv - cal virgem (extinta em caixas de extinção, no local e com 30 dias);

cz- cinza de casca de arroz;

ia- incorporador de ar;

hd - hidrofugante.

(*) Teor de cinza volante adicionada na indústria (em média de 24% em relação à quantidade do clínquer).

Nessa etapa as argamassas foram analisadas desde a caracterização de seus constituintes até ao comportamento de cada uma quanto à permeabilidade à água, à porosidade, à ascensão de água capilar, à resistência à compressão, à resistência à tração na flexão, à aderência ao suporte, ao tempo e ao teor de absorção, ao tempo e ao teor de secagem e à resistência ao ataque de sais. Este conjunto de ensaios de caracterização e comportamento teve por objetivo principal a avaliação dos revestimentos quanto à susceptibilidade de serem agredidos por umidade e sais.

As medições e avaliações foram realizadas mediante um lote de corpos de prova cilíndricos e prismáticos, moldados segundo a NBR 5738 [56]. Os corpos de prova passaram por um período de cura de 7 dias em ambiente controlado, com temperatura de 23 ± 2 °C e umidade relativa de no mínimo 95%. Durante este prazo, foram devidamente protegidos por lâminas de vidro, evitando assim o contato direto com a água pulverizada no interior da câmara úmida.

Os revestimentos de argamassa aplicados nos painéis experimentais em laboratório foram executados no final do mês de setembro, início da primavera, onde as temperaturas são, geralmente, amenas, ficando muito próximas àquelas indicadas para uma cura adequada. Estes revestimentos foram submetidos a ensaios de absorção de água (método do cachimbo), ensaio de aderência ao suporte, medições de umidade por ascensão capilar e observação de áreas agredidas pela presença de sais.

A argamassa de reabilitação que apresentou melhor desempenho nesses painéis experimentais em laboratório foi aplicada em áreas escolhidas do edifício selecionado. Estas áreas compreenderam duas zonas bem definidas; uma exterior, sujeito a insolação e ventilação e outra interior, com pouca ventilação e nenhuma incidência solar (Figuras 6.2 e 6.3). Os revestimentos com aquela argamassa foram executados no mês de fevereiro, sem cuidados quanto à cura. Nestes locais, foram feitas observações periódicas, onde se pôde avaliar o comportamento da argamassa em relação à presença de umidade e sais.

6.2.2-Seleção dos constituintes das argamassas propostas

Os materiais para uso nas argamassas, selecionados e utilizados no estudo, foram considerados em suas características técnicas e na disponibilidade do mercado nacional, dando-se ênfase àqueles de uso tradicional e de fácil obtenção na região de Pelotas. A areia a ser utilizada foi selecionada a partir de um estudo criterioso, o qual indicou a de melhor característica e mais próxima à encontrada no processo de reconstituição do traço aplicado no revestimento original da construção.

a) Das areias

A região sul do Estado do Rio Grande do Sul e a cidade de Pelotas possuem muitos fornecedores de areias próprias para construção; mas o trabalho desenvolvido limitou-se a analisar aquelas de origem mais fidedigna, comumente consideradas como de melhor qualidade donde se buscou trabalhar com duas fontes de extração existentes, ou seja, areias extraídas de rio, canais ou arroios e areias de extração de areeiro.

Para compor esta etapa do trabalho elegeram-se seis localizações no entorno da cidade, três de extração de rio e três de areeiro. As areias analisadas são de granulometria média, conforme classificação dos fornecedores, tendo-se optado por esta tipologia por ser a mais empregada nas argamassas de assentamento e de revestimento, e também por apresentar as características mais semelhantes às usadas nos prédios antigos. As seis localizações de onde se retiraram as amostras de areias para análise estão identificadas como: Areia 1, Areia 2, Areia 3, Areia 4, Areia 5 e Areia 6, donde as areias 1, 2 e 3 são de areeiro e as areias 4, 5 e 6 são de rio. Estas areias foram analisadas quanto ao teor de impurezas, teor de sais solúveis, granulometria, inchamento e massa volúmica.

A areia selecionada foi a proveniente de extração no arroio Pelotas, a qual chamamos de Areia 6, que, além de ser bastante utilizada na região, foi a que apresentou melhores resultados às análises a que foi submetida. Possui uma granulometria constante e adequada ao uso pretendido, baixo teor de impurezas (por ser naturalmente lavada) sendo predominantemente siliciosa, o que corresponde às características das areias encontradas na região Sul do Estado do Rio Grande do Sul, que são compostas, predominantemente, de sílica ou óxido de silício. Sabe-se que estas características mineralógicas das areias influenciam diretamente o comportamento das argamassas. Dentre as características dos agregados miúdos, as mais importantes são:

- granulometria - a dimensão granulométrica da areia influencia o tipo de acabamento que se pretenda dar ao edifício. A quantidade de finos está diretamente ligada ao módulo de finura, influenciando a textura que se pretende obter. De uma forma geral, as areias grossas são indicadas para o salpico, as areias médias para o emboço e as areias finas para o reboco. Porém, na prática regional, é utilizada uma mistura de areia média e fina, resultando em uma argamassa de uso geral.
- forma da partícula - as areias de grãos arredondados determinam argamassas de melhores compacidade e trabalhabilidade enquanto que as que possuem grãos irregulares e angulosos caracterizam as argamassas com maior coesão interna e melhor resistência aos esforços mecânicos.
- índice de vazios e superfície específica - estas características influenciam diretamente o consumo de aglomerantes, a água de amassamento e a retração na secagem.
- pureza - as areias possuem impurezas coloidais e não coloidais. As impurezas coloidais não são eliminadas destes agregados e se incorporam nas mesclas. Já as impurezas não coloidais, cujos grãos possuem dimensões micrométricas (milésimo de milímetros) e são constituídos basicamente por argilas, por materiais pulverulentos, por materiais friáveis, por materiais carbonosos e por

materiais orgânicos, podem ser eliminadas pela lavagem das areias com água corrente. A não eliminação das impurezas determina uma redução da resistência das argamassas; ou origina reações químicas indesejáveis com os aglomerantes, interferindo na carbonatação da cal ou na hidratação do cimento e reduzindo a aderência entre a pasta e o agregado, além de os materiais orgânicos, que podem nelas estar contidos, interferirem na alcalinidade das argamassas de cimento.

b) Das cales, cimento, adjuvantes e água

As cales utilizadas nas argamassas de revestimento foram a Cal Hidratada, a Cal Hidratada com Adição de Cinzas e a Cal Virgem (rocha calcária calcinada e moída, sem hidratação prévia), todas produzidas pela empresa DB (Dagoberto Barcelos), extraídas e industrializadas na cidade de Caçapava do Sul, a cerca de 100km de Pelotas, assim como o cimento, produzido pela empresa Votorantin, também industrializado naquela região.

A cinza (cz) empregada como componente adjuvante é derivada da queima da casca de arroz, tendo sofrido processo de moagem por 90 minutos.

Na região sul do Brasil, principalmente no extremo sul do Rio Grande do Sul (onde se localiza a cidade de Pelotas), estão as maiores áreas de produção de arroz. Os estudos sobre a utilização da pozolana; derivada da cinza de casca de arroz tem merecido especial atenção dos pesquisadores; os quais apresentam resultados bastante satisfatórios, principalmente, no que se refere ao tempo de pega e a retração das argamassas.

Estudos indicam que a cinza de casca de arroz produzida a partir de uma combustão controlada, com temperatura de queima inferior a 600°C; possui em sua composição morfológica a presença marcante de sílica (dióxido de silício) em estado amorfo, o que lhe garante maior reatividade com o cimento e com a cal [36, 57, 58, 59, 60, 61, 62].

A água utilizada na confecção das argamassas, segundo ASTM C270/1989 [63], é aquela suficiente para propiciar uma boa trabalhabilidade.

Já os adjuvantes que foram empregados em alguns dos traços propostos são fabricados por indústrias multinacionais; eles representam aqueles de maior uso a nível nacional e regional. Foram utilizados dois adjuvantes específicos, o primeiro é um incorporador de ar (ia), termopolímero de cor marrom claro e média viscosidade, desenvolvido com o emprego de matérias-primas especiais, para a obtenção de concreto leve, homogeneizado diretamente em

betoneiras na própria obra. A composição polimérica facilita a incorporação de micro partículas de ar, uniformemente distribuídas na argamassa. O segundo adjuvante é um hidrofugante (hd), impermeabilizante de pega normal para argamassas com massa volúmica de $1,05\text{g}/\text{cm}^3$ a temperatura de 25°C .

c) Rebocos não tradicionais

Conforme descrito em 6.2.1; as composições das argamassas empregadas no estudo basearam-se, em parte, no traço encontrado durante o processo de reconstituição; e, basicamente, nas composições das argamassas de reboco, usuais da região de Pelotas, bem como em recomendações do IGS (*Institut für Gebäudeanalyse und Sanierungsplanung*) de Munique (argamassas destinadas à recuperação de edifícios históricos afetados por eflorescências) [2]. Não foram usadas argamassas pré-dosadas (de uso restrito na região de Pelotas); além de que o objetivo era a utilização de materiais constituintes das argamassas comercializados e de uso comum na região.

d) Composições das argamassas

A argamassa de cimento, cal e areia com traço, em volume, respectivo de 1:1:6, usual na região de Pelotas e que corresponde aos valores mais aproximados da reconstituição de traço das argamassas antigas analisadas, foi escolhida como argamassa-padrão. Em princípio, esta dosagem não apresenta características muito favoráveis em relação ao aparecimento da anomalia de eflorescências, visto que o edifício investigado havia utilizado argamassa semelhante, e apresentava esta anomalia instalada, evidenciada por deteriorações comuns à mesma. Outras composições foram adotadas para análise do comportamento na presença de umidade e sais. Para estas mesclas se utilizou o traço 1:0,33:3,7, onde, além do cimento, da cal e da areia (tanto para o traço padrão como para traços ricos em cal), houve a adição de cinzas volantes, de incorporador de ar e de hidrofugante. Estes traços, com exceção das adições propostas na dosagem 1:0,33:3,7, são de uso relativamente comum em algumas regiões do Brasil.

Em todas as dosagens trabalhadas, foram utilizados três tipos de cal (cal hidratada, cal hidratada com cinzas volantes e cal virgem), perfazendo um total de doze argamassas aplicadas e ensaiadas.

A quantidade de água a utilizar na dosagem de todas as argamassas (1:1:6 - 1:0,33:3,7 - 1:1:7 - 1:4:14) foi àquela obtida pelo ensaio de consistência (flow table) aplicado à argamassa considerada padrão (1:1:6), o qual apresentou um diâmetro médio de espalhamento de 167mm

(67% acima do diâmetro da base do cone), obtido pelos dois diâmetros registrados e com uma tolerância de $\pm 2\%$, ou seja, 3,5mm. Para atingir esta consistência (trabalhabilidade) foi utilizado 200ml de água, o que correspondeu a 13% do volume do material utilizado na argamassadeira. Este valor de 200ml foi fixado e aplicado às demais argamassas trabalhadas (1:0,33:3,7 - 1:1:7 - 1:4:14), desconsiderando as diferentes dosagens na Tabela 6.2.

Tabela 6.2 -Valores, em massa para os quatro traços trabalhados na argamassadeira.

Argamassa	Cimento (gr)	Cal (gr)	Areia (gr)	Água (gr)	Água/cimento	Água/aglomerante
1:1:6	193	193	1154	200	1,04	0,52
1:0,33:3,7	306	106	1128	200	0,65	0,49
1:1:7	171	171	1197	200	1,17	0,58
1:4:14	81	324	1135	200	2,40	0,48

e) Ensaios laboratoriais nos materiais constituintes e nas argamassas

Tabela 6.3-Ensaios nos constituintes das argamassas, nos tijolos dos painéis experimentais de ensaio nas argamassas de reabilitação

Materiais objeto de ensaio		Ensaios “ <i>in situ</i> ”	Ensaios em laboratório
Constituintes das argamassas	Areias	–	<ul style="list-style-type: none"> •Impurezas orgânicas húmicas-NBR 7220 •Análise granulométrica-NBR 7217 •Inchamento-NBR 6467 •Teor de sais-NBR 9917 •Densidade-NBR 7251
	Cimento	–	<ul style="list-style-type: none"> •Análise química (1) •Análise física (1)
	Cales	–	<ul style="list-style-type: none"> •Análise química (1) •Análise física (1)
	Adjuvantes	–	–
Tijolos dos painéis		–	<ul style="list-style-type: none"> • Formação de eflorescências-ASTM-C67-66
Argamassas	Corpos de prova	–	<ul style="list-style-type: none"> •Massa específica e índice de vazios-NBR 9778 •Resistência à compressão-NBR 5739 •Resistência à tração na flexão-NBR 12142 •Absorção de água por capilaridade e secagem da água absorvida-LNEC-140/00 •Resistência aos sais-LNEC-240/00
	Painéis (muretes)	–	<ul style="list-style-type: none"> •Aderência ao suporte-GEYER •Permeabilidade à água-POLISSENI
	Painéis (edifício)	<ul style="list-style-type: none"> •Comportamento à umidade •Comportamento a sais solúveis 	<ul style="list-style-type: none"> •Comportamento à umidade •Comportamento a sais solúveis

(1) Resultados fornecidos pelos fabricantes

f) Parâmetros analisados

Os parâmetros analisados foram às características dos materiais a constituir as dosagens experimentais e os comportamentos das argamassas de revestimento; quando em contato com umidade e sais solúveis. Também se analisou a permeabilidade à água, a porosidade, a ascensão de água capilar, a resistência à compressão, a resistência à tração na flexão, a aderência ao suporte, tempo e teor de absorção, tempo e teor de secagem.

6.3-Ensaios nos materiais constituintes das argamassas de reabilitação

6.3.1-Ensaios nas areias da região

Para análise das areias, tomaram-se seis amostras, correspondentes a seis fornecedores, conforme descrito em 7.3.2(a). Estas areias foram devidamente embaladas para não sofrerem contaminações exteriores e levadas ao laboratório onde foram submetidas a ensaios para a determinação das impurezas orgânicas, da granulometria, do inchamento e da presença de sais solúveis.

a) Impurezas orgânicas das areias

A determinação do teor de impurezas orgânicas contidas nas areias analisadas foi realizada mediante a NBR 7220/1987 [64], que prescreve o método de determinação colorimétrica de impurezas orgânicas em agregado miúdo destinado ao preparo do concreto (Figura 6.4).

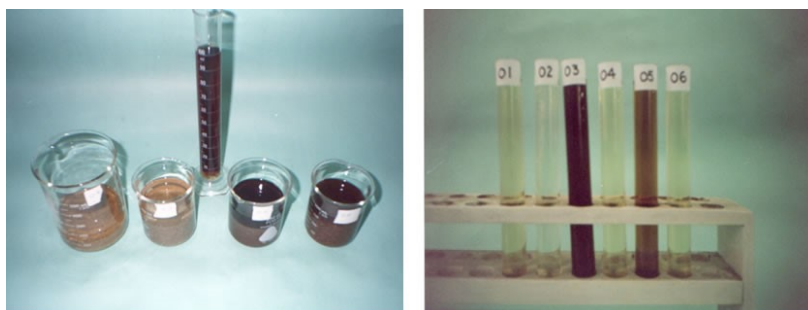


Figura 6.4 - Ensaio colorimétrico

b) Composição granulométrica das areias

A análise granulométrica das areias avaliadas foi baseada na NBR 7217/1987 [65], a qual prescreve o método para a determinação da granulometria em agregados miúdos e graúdos para concreto.

c) Inchamento em agregado miúdo

A determinação da variação volumétrica aparente (inchamento), provocada pela absorção de água livre pelos grãos e que incide sobre a massa volúmica das areias analisadas, foi realizada mediante prescrição da NBR 6467/1987 [66]. (Figura 6.5).



Figura 6.5- Ensaio de inchamento

d) Teor de sais nas areias

A determinação dos teores de sais solúveis segue o recomendado pela NBR 9917 [53], conforme descrito em 5.2.3(b)-4.

e) Massa volúmica aparente das areias

Das seis amostras colhidas nos seis locais de extração anteriormente mencionados, apenas as amostras 2, 4 e 6 (o ensaio de teor de sais reprovou as areias 1, 3 e 5) foram submetidas ao ensaio para determinação da massa volúmica, com o objetivo de determinar a massa volúmica do agregado em estado solto.

A determinação da massa volúmica aparente das três areias avaliadas foi realizada segundo a NBR 7251/1982 [67], a qual prescreve o método para esta avaliação em agregados em estado solto.

6.3.2 - Características físicas e químicas do cimento Portland Pozolânico

O cimento utilizado nas argamassas trabalhadas foi um cimento portland pozolânico (CORPO DE PROVA IV 32MPa), cujas características físicas e químicas (fornecidas pelo fabricante) são apresentadas na Tabela 6.4.

Tabela 6.4 -Características do cimento

Características	Determinações	Valores
Químicas	SiO ₂	36,40 %
	Al ₂ O ₃	9,58 %
	CaO	38,33 %
	SO ₃	1,99 %
	MgO	4,82 %
	Óxido de sódio	0,11 %
	Óxido de potássio	1,30 %
	Perda ao fogo	2,72 %
	Anidrido carbônico	1,79 %
	Equivalente alcalino	0,97 %
Físicas	Resíduo #200	0,60 %
	Resíduo #325	4,50 %
	Consistência normal	36,10 %
	Massa específica	2,70 g/cm ³
	Blaine	4160 cm ² /g
	Início de pega	540 min.
	Final de pega	650 min.
	Expansibilidade a frio	1,50mm
	Expansibilidade a quente	0,00mm
	Resíduo insolúvel	34,72 %

6.3.3 - Características físicas e químicas das cales

As cales encontradas e comercializadas na região Sul do país são, basicamente, àquelas utilizadas em todas as demais regiões, donde se pode constatar apenas a variação da fonte fornecedora e do processo de industrialização.

Especificamente, na região de Pelotas, encontramos, na grande maioria, a cal industrializada do tipo aérea, podendo ser encontrada na forma de cal concentrada (conhecida como virgem ou

viva) e na forma de cal hidratada. Também é industrializada e utilizada a cal hidratada. Abaixo, no esquema fornecido pela indústria DB, estão demonstradas as reações químicas que ocorrem com a rocha calcária, até chegar à argamassa endurecida (Figura 6.6). Bem como, nos itens 1, 2 e 3, estão descritas as características químicas e físicas das diferentes cales, conforme relatório do processo industrial daquela empresa.

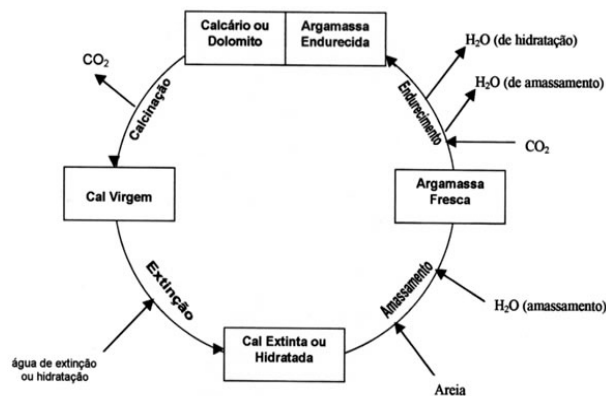


Figura 6.6 - Ciclo da cal

a) Cal concentrada (virgem ou viva)

A cal concentrada (virgem ou viva) é obtida, no processo de industrialização, pela calcinação e moagem da rocha calcária virgem e sua hidratação (extinção) deve ser feita no local de consumo, ou seja, na obra. Esta cal, de acordo com o fabricante, apresenta as características químicas e físicas definidas na Tabela 6.5.

Tabela 6.5 -Características químico-física da cal aérea concentrada (virgem)

Análise Química (média)				Análise Física (média)				CO ² (%)
CaO (%)	MgO (%)	P.F. (%)	R.I. (%)	#30 (%)	#200 (%)	Umidade (%)	Massa volúmica aparente (g/cm ³)	
54,3	21,16	1,50	15,50	99,80	85,00	0,38	913	0,70

Donde: P.F. - perda ao fogo; R.I. - resíduo insolúvel.

b) Cal hidratada

Este processo industrial da cal é obtido pelo contato da cal aérea concentrada com a água, propiciando a sua perfeita hidratação, também chamada de extinção da cal. Após esta reação a

pasta da cal é submetida à secagem e depois de seca é moída e comercializada sob a forma de pó, gerando um produto que adicionado de água, está pronto para ser aplicado em obra. As características químicas e físicas desta cal, conforme dados do fabricante, são apresentadas na Tabela 6.6.

Tabela 6.6 -Características químico-física da cal hidratada

Análise Química (média)				Análise Física (média)				CO ² (%)
CaO (%)	MgO (%)	P.F. (%)	R.I. (%)	#30 (%)	#200 (%)	Umidade (%)	Massa volúmica aparente (g/cm ³)	
52,50	20,88	16,33	12,04	99,98	89,32	0,41	553,03	1,17

Donde: P.F. - perda ao fogo; R.I. - resíduo insolúvel.

c) Cal hidratada com adição de cinza volante

A cal hidratada industrializada e comercializada na região de Pelotas é obtida através da adição adequada de cinzas volantes à cal hidratada. A quantidade de cinzas volantes adicionadas é, em média, de 24% (conforme dados do fabricante). É uma cal indicada para argamassas de chapisco ou salpico, para assentamento de tijolos e revestimentos internos e externos, pavimentações e estabilizações de solos. Suas características químicas e físicas são apresentadas na Tabela 6.7.

Tabela 6.7 -Características químico-físicas da cal hidratada com adição de cinza volante

Análise Química (média)				Análise Física (média)				CO ² (%)
CaO (%)	MgO (%)	P.F. (%)	R.I. (%)	#30 (%)	#200 (%)	Umidade (%)	Massa volúmica aparente (g/cm ³)	
49,83	22,35	10,03	35,00	99,95	83,29	0,40	644,63	0,86

Donde: P.F. - perda ao fogo; R.I. - resíduo insolúvel.

6.3.4 - Características dos adjuvantes

Os adjuvantes utilizados estão descritos em 7.3.2 (b), embora de forma bastante sucinta, pois os fabricantes não fornecem a maioria das características químicas e físicas dos produtos.

6.3.5 - Porosidade e absorção de água por capilaridade dos tijolos a utilizar nos painéis experimentais

Os tijolos a serem utilizados na execução dos painéis experimentais, a serem executados em laboratório; por constituírem, juntamente com a argamassa de assentamento, o conjunto único

de transporte de umidade e sais em meio poroso, necessitam de uma quantificação de sua porosidade, a fim de identificar o sentido e a intensidade do fluxo do transporte entre estes componentes. Para tal, com o uso de três unidades, tomou-se por base a NBR 9778 [68] - Determinação da absorção de água por imersão - índice de vazios e massa específica, conforme Figura 6.7. Para a determinação da absorção de água por capilaridade foi aplicado o modelo preconizado pelo relatório 140/00 - NCCt do LNEC [54] (Figura 6.8), conforme descrito em 5.2.3(b)6.



Figura 6.7- Medição da porosidade dos tijolos

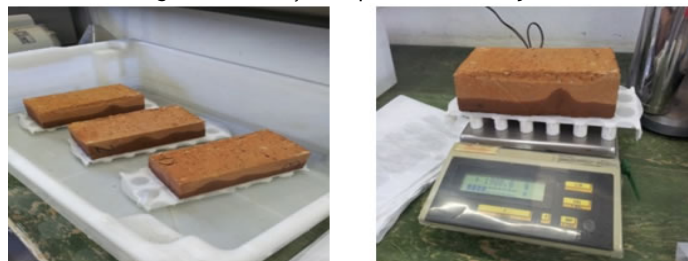


Figura 6.8 -Capilaridade por contato com a água e pesagem e dos tijolos

6.4-Resultados dos ensaios de caracterização dos constituintes das argamassas

6.4.1 - Ensaio nas areias da região

A Tabela 6.8 apresenta um sumário dos resultados dos ensaios de caracterização de amostras de areias provenientes de seis fornecedores localizados em zonas distintas de extração, no entorno da cidade de Pelotas. As amostras colhidas estão divididas em dois grupos, sendo que as amostras de areias 1, 2 e 3 são procedentes de areeiro enquanto que as amostras 4, 5 e 6 procedem de rio.

Tabela 6.8 -Propriedades das areias da região de Pelotas

Areias	Impurezas orgânicas	Granulometria		Inchamento		Sais solúveis		Massa Volúmica (kg/dm ³)
		Diâmetro máximo (mm)	Módulo de finura	Umidade crítica(%)	Coefficiente médio de inchamento	Sulfatos (%)	Cloretos (%)	
Amostra 01	Baixo índice	4,8	2,91	4,7	1,38	0,0624	0,0427	1,442
Amostra 02	Baixíssimo índice	4,8	2,77	4,2	1,39	-	0,0211	1,484
Amostra 03	Elevadíssimo índice	-	-	-	-	-	-	-
Amostra 04	Baixo índice	4,8	3,19	4,8	1,38	0,0198	0,0342	1,462
Amostra 05	Elevado índice	-	-	-	-	-	-	-
Amostra 06	Baixo índice	4,8	2,44	4,7	1,45	0,0684	0,0016	1,471

a) Impurezas orgânicas das areias

Na Tabela 6.8, bem como na Tabela II(1) do Anexo II são apresentados, na segunda coluna, o grau de impurezas orgânicas das areias.

Os resultados indicam duas areias impróprias ao uso como material constituinte de argamassas: as areias números 3 e 5, portanto, já serão descartadas de outras análises de caracterização. As demais areias analisadas possuem condições de utilização, no que se refere ao teor de impurezas orgânicas.

b) Composição granulométrica das areias

As características granulométricas (diâmetro máximo e módulo de finura) das quatro areias que passaram na avaliação de impurezas são apresentadas na terceira e quarta coluna da Tabela 6.8. As análises e as curvas granulométricas completas das areias analisadas são apresentadas nas Tabelas II (2 a 5) do Anexo II. No sentido de identificar quais das quatro areias com condições de utilização mais se aproxima da areia utilizada no reboco do edifício selecionado; a Figura 6.9 apresenta uma comparação entre a curva granulométrica média da areia dos rebocos extraídos (argamassa reconstituída) do edifício selecionado e as quatro areias que foram submetidas ao ensaio de granulometria.

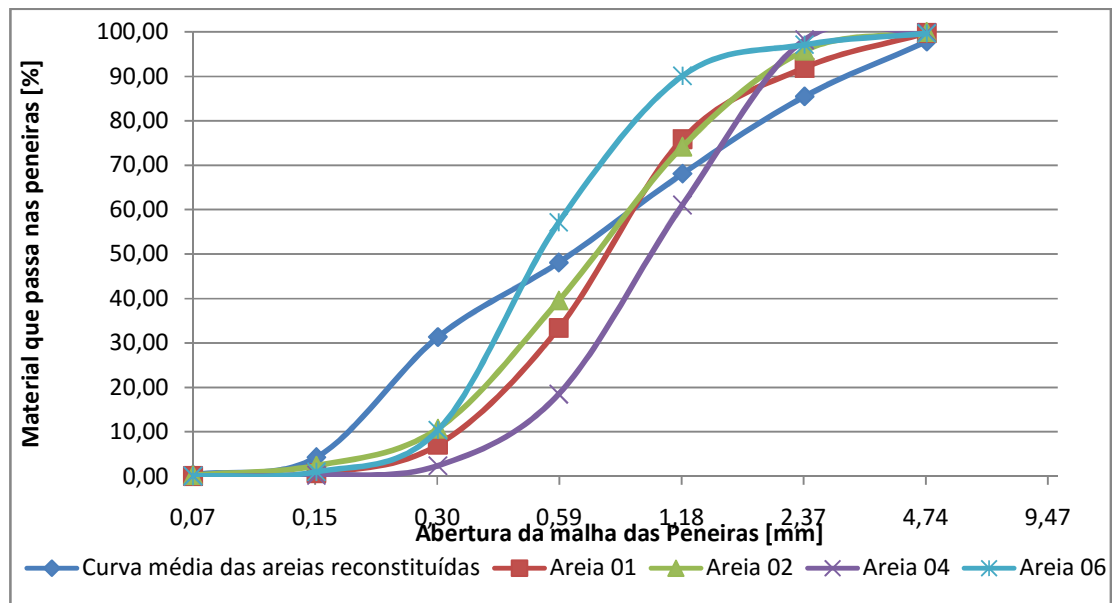


Figura 6.9 - Curva granulométrica média das areias reconstituídas comparada as quatro curvas das areias avaliadas e aprovadas no ensaio de impurezas

As areias analisadas em sua granulometria apresentam, na sua totalidade, uma granulometria adequada ao uso; ou seja, areias com composição média fina. Conforme PETRUCCI-1979 [55]; as areias que possuem módulo de finura (MF) entre 2,4 e 3,3; são consideradas areias recomendáveis ao uso em argamassas de revestimento, donde esta variação granulométrica determina uma melhor acomodação dos grãos, propiciando o preenchimento dos vazios, reduzindo o consumo do(s) ligante(s) e produzindo uma melhor coesão interna e um envolvimento mais eficaz dos grânulos do agregado pelo(s) ligante(s).

Por outro lado, as granulometrias encontradas indicam uma semelhança bastante apropriada entre as areias atuais e aquelas registradas na reconstituição do traço das argamassas antigas analisadas, as quais certamente irão proporcionar rebocos com textura e aspecto visual, próximos, aos aplicados originalmente no edifício selecionado.

Além destes fatores positivos, duas das areias analisadas são provenientes de fontes situadas em locais distintos de uma mesma região; ou seja, as areias 4 e 6 são extraídas do Arroio Pelotas e as areias 1 e 2, provenientes de areeiro, são de locais bem distantes geograficamente entre si, e em zonas bem distintas, a areia 1 vem da zona sul da cidade e a areia 2 é oriunda da zona norte, distantes entre si em 15km. Guardando as diferentes formas de extração (rio e areeiro), as areias 2, 4 e 6 podem ter sido igualmente, utilizadas na construção original do edifício selecionado, pois estão distantes cerca de 3km do conjunto arquitetônico histórico da cidade,

local onde se concentra a quase totalidade dos edifícios construídos no século XIX. Portanto, em função da distância e das dificuldades de transportes à época, descarta-se o emprego da areia 1, a qual dista 12km da zona construída.

c) Inchamento em agregado miúdo

A determinação da variação volumétrica aparente (inchamento), provocada pela absorção de água livre pelos grãos e que incide sobre a massa volúmica das areias analisadas, foi realizada mediante prescrição da NBR 6467/1987 [66], indicando adequação ao uso de todas as amostras avaliadas.

d) Teor de sais nas areias

Sabe-se que a presença de sais solúveis nos materiais de construção pode gerar o surgimento de anomalias nos edifícios. Para se buscar uma utilização mais segura dos constituintes das argamassas de reabilitação propostas, as três amostras restantes, areias 2, 4 e 6, foram submetidas a ensaio para determinar a possível existência destes sais. Os ensaios foram desenvolvidos conforme descrito em 5.2.3.(d)-4 e os resultados estão compilados na Tabela 6.9 abaixo.

Tabela 6.9 - Teores de sais solúveis nas areias analisadas

Amostras	Sulfatos (%)	Cloretos (%)	Sais solúveis totais (%)
Areia 2	0,0198	0,0342	0,0540
Areia 4	-	0,0211	0,0211
Areia 6	0,0684	0,0016	0,0844

As três amostras são consideradas aptas ao uso; quer pelo baixo teor de impurezas orgânicas quer pela equivalência granulométrica às areias provenientes da reconstituição do traço dos rebocos extraídos do edifício selecionado; e indicam valores dos teores de sais solúveis considerados abaixo do limite máximo admissível pela NBR 9917 [53], tanto no teor de sulfatos como de cloretos, a qual prevê que o limite máximo admissível de cloretos é de 0,2% e, para os sulfatos, entre 0,1 e 0,2%. Verificou-se também que o teor de sais solúveis totais é muito inferior aos limites individualmente impostos pela norma, o que permite concluir que, neste caso, as três areias (2, 4 e 6) atendem às exigências normativas.

e) Massa volúmica aparente das areias

Das seis amostras colhidas nos seis locais de extração anteriormente mencionados, apenas as amostras 2, 4 e 6 foram submetidas ao ensaio para determinação da massa volúmica, com o objetivo de determinar a massa volúmica do agregado em estado solto.

O ensaio para determinação da massa volúmica foi desenvolvido juntamente com o ensaio para analisar o teor de inchamento das areias, ficando a primeira etapa daquele ensaio responsável pelo resultado da massa volúmica identificada para as amostras ensaiadas e os resultados encontrados estão na Tabela 6.10, conforme descritos abaixo.

Tabela 6.10 - Massa volúmica das areias analisadas

Amostras	Massa volúmica (kg/dm ³)
Areia 2	1,484
Areia 4	1,462
Areia 6	1,471

Os resultados encontrados são equivalentes nas três amostras ensaiadas (areias 2, 4 e 6) e estão dentro do padrão recomendado pela NBR 7251 [67], normas para as areias médias e médias finas, as quais variam dentro de uma faixa de 1,30 à 1,50kg/dm³. Estas semelhanças vão ao encontro das granulometrias encontradas, confirmando assim as características das areias estudadas.

6.4.2- Porosidade e absorção de água por capilaridade dos tijolos a utilizar nos painéis experimentais

Os tijolos ensaiados apresentaram uma porosidade média de 19,26% e um coeficiente de capilaridade por contato médio de $CCc = 0,9107 \text{ Kg/m}^2 \cdot \text{min}^{0,5}$ conforme Tabela I (28) do Anexo I.

Com as características conhecidas dos aglomerantes disponíveis na região, cimento e cales, conforme Tabela 6.4 (cimentos) e 6.5, 6.6 e 6.7 (respectivamente cal virgem, cal hidratada e cal hidratada com adição de cinzas) e, também dos adjuvantes, conforme 7.3.2 (b); e, juntamente com a areia 6 (apropriada e mais próxima do local da construção do edifício eleito), foram definidos os constituintes das argamassas de reabilitação a serem trabalhadas (traços).

Os traços foram constituídos, exclusivamente, por materiais disponíveis na região de Pelotas, tentando, desta maneira, reproduzir, pelo menos com os materiais naturais, os procedimentos usados à época da construção original, conforme exigências do IPHAN.

A definição dos traços e o conhecimento dos materiais constituintes nos permitem, no Capítulo 7, trabalhar e avaliar os comportamentos das argamassas de reabilitação.

Capítulo 7

Ensaio com as argamassas, apresentação e discussão dos resultados

7.1 - Considerações prévias

7.2 - Ensaio nos provetes das argamassas de reabilitação

7.3 - Resultados dos ensaios nos provetes das argamassas de reabilitação

7.4 - Ensaio das argamassas de reabilitação aplicadas nos painéis experimentais em laboratório

7.5 - Observação e análise das argamassas aplicadas nos painéis experimentais

7.1-Considerações prévias

A definição dos traços e o conhecimento das características dos materiais constituintes contidos no capítulo anterior nos possibilitam trabalhar com as argamassas experimentais e conhecer, por meio dos ensaios realizados; quer nos provetes destas argamassas quer nos painéis experimentais onde serão aplicadas, suas características e reações comportamentais, sobretudo, avaliar em verdadeira grandeza a susceptibilidade das argamassas à ação da umidade e dos sais solúveis e as possíveis formações de anomalias eflorescentes e/ou criptoflorescentes. Mais objetivamente estes ensaios e os seus resultados possibilitarão identificar as variáveis com maior probabilidade de influenciar o fenômeno de ascensão de umidade nas paredes típicas e objeto do estudo. Neste subcapítulo, apresentam-se as análises dos resultados em vista de conclusões preliminares e de apoio ao programa e experimentação que se segue.

7.2-Ensaio nos provetes das argamassas de reabilitação

7.2.1-Considerações gerais

As argamassas propostas para os ensaios foram submetidas a uma campanha experimental, com o objetivo de selecionar aquela que apresentava, dentro dos objetivos propostos no estudo, o comportamento mais adequado ao uso como argamassa de reabilitação em edifícios afetados por umidade e eflorescências.

Foram definidas argamassas com composições distintas, perfazendo um total de doze traços (Tabela 6.1). De cada argamassa foram moldados corpos de prova cilíndricos e prismáticos, em número suficiente para a realização dos ensaios pretendidos. Onde os corpos de prova moldados foram destinados à avaliação dos seguintes comportamentos: ensaio de absorção, ensaio de resistência à compressão, ensaio de resistência à tração na flexão e ensaios de comportamento à presença de umidade e sais solúveis.

7.2.2-Ensaio nos corpos de prova moldados com as argamassas

- a) **Ensaio para determinação da massa volúmica e do índice de vazios nos corpos de prova das argamassas**

Os valores obtidos para a massa específica e para o índice de vazios nos corpos de prova com as 12 argamassas trabalhadas foram obtidos por meio do ensaio para a determinação da absorção de água por imersão, conforme preconizado na NBR 9778/1987 [68], donde foram utilizados três corpos de prova cilíndricos (50mm de diâmetro e 100mm de altura) para cada tipo de argamassa, totalizando 36 corpos de prova a ensaiar. Abaixo se descreve uma síntese do ensaio (Figura 7.1).



Figura 7.1 - Secagem e pesagem dos corpos de prova

b) Ensaio de absorção de água por capilaridade e secagem da água absorvida

Este ensaio foi realizado em corpos de prova prismáticos, com dimensões de 40mm x 40mm x 160mm, de todas as doze argamassas trabalhadas no estudo. Os corpos de prova usados no ensaio possuíam oito meses de idade e passaram, após um período de 28 dias de condicionamento termohigrométrico, por molhagens e secagens sucessivas. Estas condições, a que foram submetidos os corpos de prova, aproximam-se das que as argamassas irão apresentar em obra, quando sujeitas aos efeitos climáticos.

O método de ensaio aplicado é igual ao descrito em 5.2.3(b)6 correspondendo aos procedimentos preconizados no relatório 140/00-NCct do LNEC [54]. Apresentam-se os registros fotográficos do ensaio na Figura 7.2.



Figura 7.2 - Pesagem dos corpos de prova secos, absorção por capilaridade e pesagem umedecida

c) Ensaio de resistência à compressão nos corpos de prova das argamassas

O ensaio de resistência à compressão foi realizado segundo a NBR 5739 [69] e aplicado em corpos de prova cilíndricos moldados com as argamassas usadas nos revestimentos dos painéis ensaiados. Os corpos de prova possuem 50mm de diâmetro e 100mm de altura e foram moldados em quatro camadas aproximadamente iguais. Cada camada recebeu 30 golpes desferidos por um soquete, permitindo assim, uma perfeita homogeneidade do corpo de prova. Após a moldagem, foram protegidos, em sua face superior, por lâmina de vidro e submetidos a condicionamento termohigrométrico (câmara úmida), onde devem permanecer por um período de 24 horas. Em seguida, os corpos de prova são desmoldados e submetidos à cura em água saturada de cal, até a data da ruptura, no caso, aos 7 e 28 dias. Nestas idades, os corpos de prova são capeados com uma mistura de enxofre com caulim, em proporções que não interfiram com o resultado do ensaio.

Para a efetivação dos ensaios foram moldados 6 corpos de prova para cada tipo de argamassa , totalizando 72 corpos de prova, e estes foram agrupados de acordo com as idades previstas para o rompimento (Figuras 7.3, 7.4 e 7.5).



Figura 7.3 - Moldagem dos corpos de prova



Figura 7.4 - Condicionamento termohigrométrico, cura em cal e capeamento dos corpos de prova

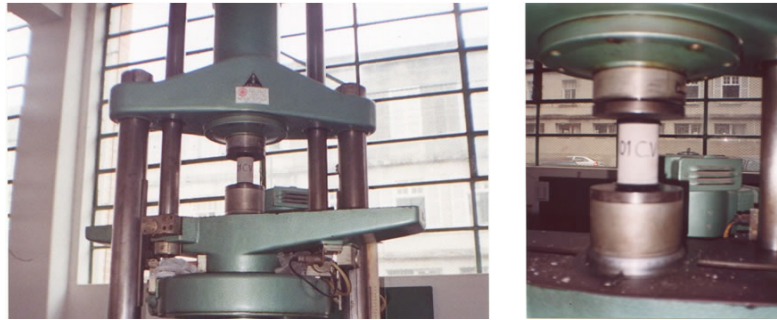


Figura 7.5 - Ensaio de resistência à compressão

d) Ensaio de resistência à tração na flexão nos corpos de prova das argamassas

A determinação da resistência à tração na flexão em corpos de prova prismáticos foi realizada segundo a NBR 12142 [70]. Os corpos de prova são moldados em formas metálicas, no caso, com capacidade para três corpos de prova cada uma. Os corpos de prova são mantidos, nas primeiras 24 horas; em condicionamento termohigrométrico (câmara úmida); devidamente cobertos por uma lâmina de vidro e, após este período, são desmoldados e postos em solução de água saturada de cal, onde são mantidos por um período de 28 dias e, com esta idade, são submetidos ao ensaio (Figuras 7.6 e 7.7).



Figura 7.6 - Moldagens e condicionamentos dos corpos de prova prismáticos (mesa vibratória e proteção com lâmina de vidro)

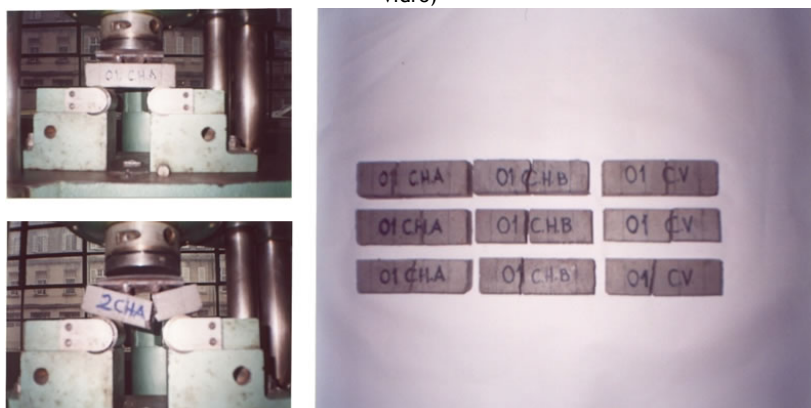


Figura 7.7 - Ensaio de resistência à tração na flexão e corpos de prova ensaiados

e) Ensaio para a avaliação da resistência aos sais solúveis nos corpos de prova das argamassas

O presente ensaio baseou-se na metodologia desenvolvida pelo LNEC, em seu relatório 240/00-NCCt [71], e consiste nos seguintes procedimentos.

Os testes foram realizados sobre prismas das argamassas estudadas (40mm x 40mm x 160mm), totalizando 24 corpos de prova, dois para cada traço.

Os corpos de prova prismáticos foram colocados em duas posições alternativas: um na vertical (com uma das faces de 40mm x 40mm para baixo) e outro na horizontal (com uma das faces de 160mm x 40mm para baixo), e ficaram em imersão parcial em solução aquosa de sulfato de sódio a 5% durante um período de 10 dias em contínuo (Figura 7.8). Após este prazo, foram colocados a secar ao ar, em ambiente condicionado a 23 ± 2 °C e $50\pm 5\%$ de umidade relativa e, a partir desta fase, se observou a manifestação das possíveis formações eflorescentes e suas conseqüentes degradações (Figura 7.9).

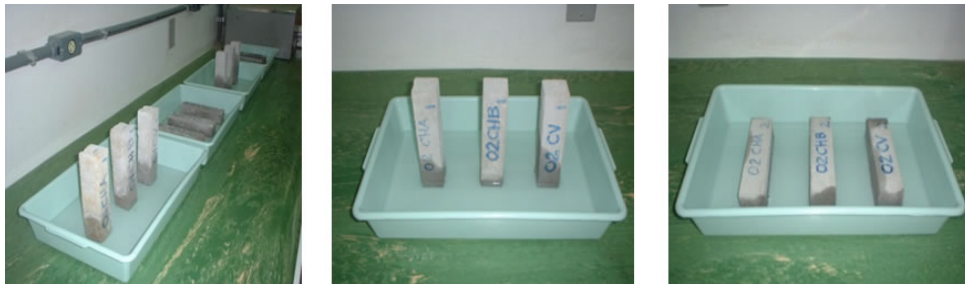


Figura 7.8- Imersão parcial dos corpos de prova em solução aquosa de sulfato de sódio a 5%



Figura 7.9 - Manifestações de eflorescências nos corpos de prova ensaiados

7.3 - Resultados dos ensaios nos provetes das argamassas de reabilitação

a) Massa volúmica e índice de vazios de argamassa de reabilitação

Os resultados obtidos para as massas volúmicas e índices de vazios das argamassas de reabilitação encontram-se, de forma resumida, na Tabela II (34) do Anexo II e, abaixo, na Tabela 7.1, estão registradas as massas volúmicas destas argamassas; bem como, nas Figuras 7.10 a 7.13 e nas Tabelas 7.2 e 7.3 registram-se os índices de vazios encontrados.

a.1-Massa volúmica das argamassas

Conforme os valores da Tabela 7.1, se pode verificar que, entre as doze argamassas, existe, em função do volume de agregados, uma redução de até 7% na massa volúmica seca das médias de cada traço, em se comparando com o traço 1:1:6. Em todos os quatro traços (1:1:6 / 1:0,33:3,7 / 1:1:7 / 1:4:14) verifica-se, para cada grupo, uma variação em função do tipo da cal utilizada. As argamassas que utilizaram as cales hidratada (CHA) e hidratada com adição de cinzas (CHB) registraram, de forma geral, uma massa volúmica 5% menor que a argamassa que utilizou cal virgem (CV). No traço 1:1:6, com uso da cal CHA, é 2,5% menor que CV e, com a cal CHB, é 1% menor que a cal virgem. Já, quando se trabalha nos traços 1:0,33:3,7 e 1:1:7 há uma redução de 3,8% e 1,8%, respectivamente às cales CHA e CHB, em relação à (CV).

Para o traço 1:4:14, há uma redução de 4,4% da massa volúmica seca quando utilizamos cal virgem (CV), se compararmos com a utilização da cal hidratada (CHA) e um equilíbrio entre as massas volúmicas secas das argamassas que CV e CHB, para este mesmo traço.

Tabela 7.1 - Massa volúmica das argamassas propostas

Argamassa	Massa volúmica da amostra seca (kg/dm ³)	Massa volúmica da amostra saturada (kg/dm ³)	Massa volúmica real (kg/dm ³)
CHA (1:1:6)	1,8940	2,1023	2,4712
CHB (1:1:6)	1,8951	2,0928	2,4564
CV. (1:1:6)	1,7954	2,0193	2,4235
CHA (1:0,33:3,7)	1,8323	2,0415	2,3912
CHB (1:0,33:3,7)	1,8204	2,0251	2,3492
CV(1:0,33:3,7)	1,8032	2,0217	2,3760
CHA (1:1:7)	1,7648	1,9714	2,3799
CHB (1:1:7)	1,7287	1,9371	2,3366
CV(1:1:7)	1,6977	1,9046	2,3472
CHA (1:4:14)	1,8217	2,0569	2,4376
CHB (1:4:14)	1,7412	1,9640	2,4170
CV(1:4:14)	1,7377	1,9712	2,4211

a.2 - Índice de vazios após Saturação

Os resultados da Figura 7.10 indicam que, em relação ao índice de vazios, não há diferenças substanciais entre as argamassas CHA e CHB; sendo diferente, apenas, na argamassa CV, para o traço 1:1:6.

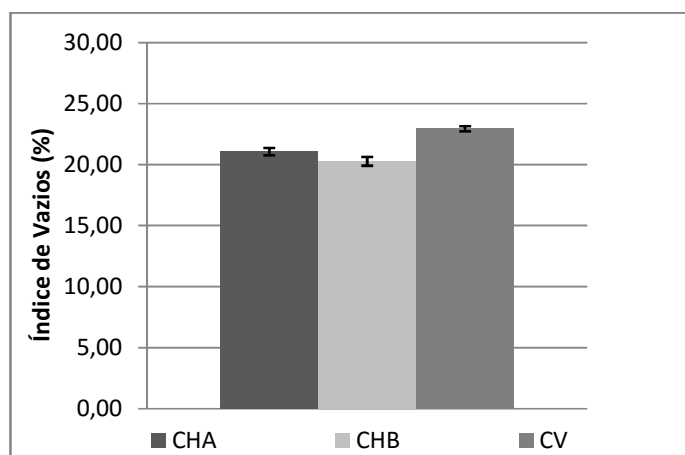


Figura 7.10 - Índice de vazios após saturação da argamassa 1:1:6

Os resultados da Figura 7.11 indicam que, em relação ao índice de vazios, não há diferenças substanciais entre as argamassas CHA e CHB; sendo diferente, apenas, na argamassa CV, para o traço 1:0,33:3,7.

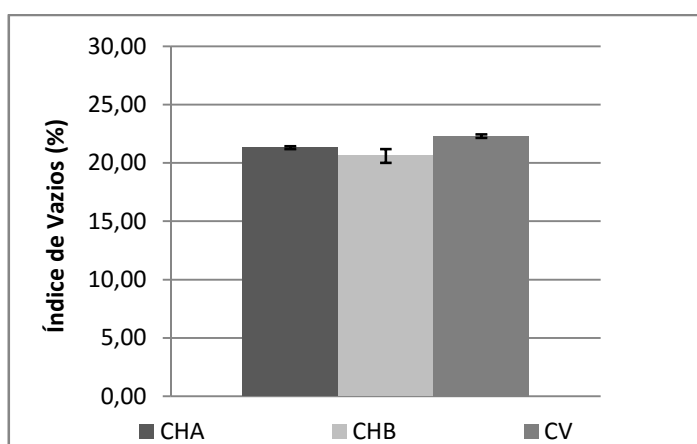


Figura 7.11 - Índice de vazios após saturação da argamassa 1:0,33:3,7

Os resultados da Figura 7.12 indicam que, em relação ao índice de vazios, não há diferenças substanciais entre as argamassas CHA, CHB e CV, para o traço 1:1.7.

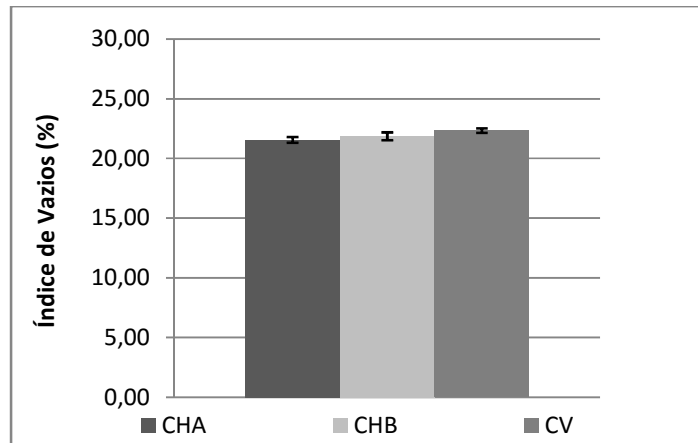


Figura 7.12 - Índice de vazios após saturação da argamassa 1:1:7

Os resultados da Figura 7.13 indicam que, em relação ao índice de vazios, não há diferenças substanciais entre as argamassas CHA, CHB e CV, para o traço 1:4:14.

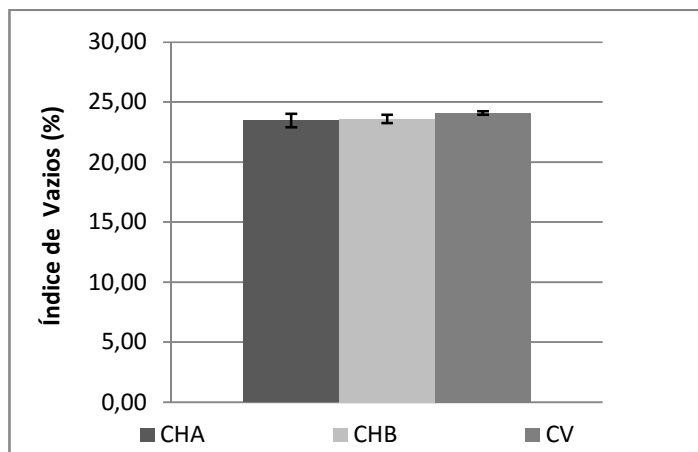


Figura 7.13 - Índice de vazios após saturação da argamassa 1:4:14

Tendo em conta que as adições influenciam diferentemente as propriedades das argamassas, decidiu-se aplicar a análise de multivariância dos efeitos do conjunto das variáveis nos resultados das argamassas. Esta análise foi realizada com auxílio do *software* Statistica 10.

A Tabela 7.2, apresenta um quadro de comparação entre as variáveis: tipo de argamassa identificado pela adição cal hidratada CHA, cal hidratada artificial CHB e cinza volante CV e traço identificado pelas proporções em massa dos componentes (cimento: cal: areia) 1:1:6, 1:0,33:3,7, 1:1:7 e 1:4:14. Esta tabela apresenta como as variáveis são confrontadas entre si nos seus diferentes níveis. O programa escolhe uma variável de comparação para fins de equacionar a

probabilidade de não haver diferença significativa entre as mesmas. Desta forma, esta tabela é válida para todas as propriedades das argamassas analisadas.

Tabela 7.2 -Variáveis analisadas, níveis e interações

	Coluna	Variável	Nível da variável	Versus nível	Variável	Nível da variável	Versus nível
Intersecção	1						
Argamassa	2	Arg	CHA	CV			
Argamassa	3	Arg	CHB	CV			
traço	4	traço	1:1:6	1:4:14			
traço	5	traço	1:0,33:3,7	1:4:14			
traço	6	traço	1:1:7	1:4:14			
Arg*traço	7	Arg	CHA	CV	traço	1:1:6	1:4:14
Arg*traço	8	Arg	CHA	CV	traço	1:0,33:3,7	1:4:14
Arg*traço	9	Arg	CHA	CV	traço	1:1:7	1:4:14
Arg*traço	10	Arg	CHB	CV	traço	1:1:6	1:4:14
Arg*traço	11	Arg	CHB	CV	traço	1:0,33:3,7	1:4:14
Arg*traço	12	Arg	CHB	CV	traço	1:1:7	1:4:14

Os resultados apresentados na Tabela 7.3 indicam os efeitos redutores (sinal negativo dos parâmetros) dos tipos de aglomerantes CHA e CHB quando comparados com o tipo CV. O maior efeito redutor provém dos traços; ou seja, da proporção 1:0,33:3,7 quando se compara com o traço 1:4:14. Além do efeito isolado dessas variáveis pode-se observar interações significativas entre o tipo de aglomerante CHB e os traços 1:1:6 e 1:1:7. Embora este último traço não tenha se demonstrado diferente na análise de efeitos individuais das variáveis, a sua interação com o tipo de aglomerante CHB acresce significativamente o índice de vazios. O efeito do tipo de aglomerante pode ser resultante em parte da finura da sua composição e das reações possíveis. O aglomerante CHB contém cinza volante que, em princípio, é mais fina que a cal hidratada e reativa promovendo assim um efeito de fechamento dos vazios da fase pasta. O efeito redutor do traço 1:0,33:3,7 se dá por este na verdade representar a menor proporção de volume de agregados: aglomerantes ou seja 1:2,78 ou seja constituindo um esqueleto mais fechado e com maior presença de materiais finos.

Tabela 7.3 -Resultados da análise do índice de vazios após saturação

	Nível do efeito	Coluna	Índice de vazios	Índice de vazios	Índice de vazios	Índice de vazios	-95.00%	+95.00%
			Param.	Std.Err	t	p	Cnf.Lmt	Cnf.Lmt
Intercept		1	22,12917	0,054904	403,0533	0,000000	22,01585	22,24248
Arg	CHA	2	-0,26583	0,077646	-3,4237	0,002224	-0,42609	-0,10558
Arg	CHB	3	-0,53583	0,077646	-6,9010	0,000000	-0,69609	-0,37558
traço	1:1:6	4	-0,67361	0,095096	-7,0835	0,000000	-0,86988	-0,47734
traço	1:0,33:3,7	5	-0,71028	0,095096	-7,4690	0,000000	-0,90655	-0,51401
traço	1:1:7	6	-0,22139	0,095096	-2,3281	0,028663	-0,41766	-0,02512
Arg*traço	1	7	-0,08972	0,134486	-0,6671	0,511042	-0,36729	0,18784
Arg*traço	2	8	0,17028	0,134486	1,2661	0,217617	-0,10729	0,44784
Arg*traço	3	9	-0,09528	0,134486	-0,7085	0,485486	-0,37284	0,18229
Arg*traço	4	10	-0,61972	0,134486	-4,6081	0,000113	-0,89729	-0,34216
Arg*traço	5	11	-0,26639	0,134486	-1,9808	0,059187	-0,54396	0,01118
Arg*traço	6	12	0,47472	0,134486	3,5299	0,001711	0,19716	0,75229

b) Absorção de água por saturação

Os resultados da Figura 7.14 indicam que, em relação à absorção de água por saturação, as três argamassas, CHA, CHB e CV, apresentam comportamentos diferenciados para o traço 1:1:6. Verifica-se que a argamassa CV foi aquela que apresentou maior absorção de água (12,4%) e a argamassa CHB o menor valor (10,4%). Os resultados são condizentes com o efeito esperado dos aglomerantes presentes e que evidenciam a influência da finura dos materiais.

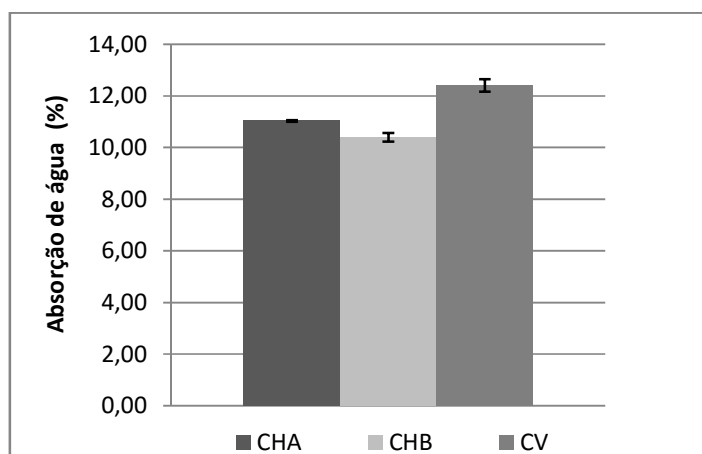


Figura 7.14 - Absorção de água por saturação da argamassa 1:1:6

Os resultados da Figura 7.15 indicam que, em relação à absorção de água por saturação, não há diferenças entre as argamassas CHA e CHB; sendo diferente, apenas, na argamassa CV, para o traço 1:0,33:3,7.

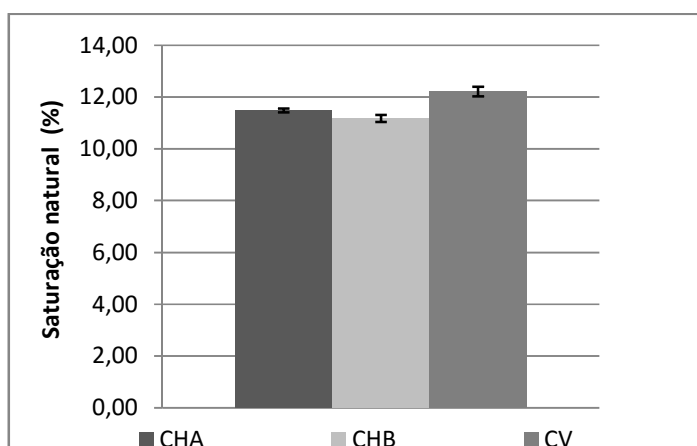


Figura 7.15 - Absorção de água por saturação da argamassa 1:0,33:3,7

Os resultados da Figura 7.16 indicam que, em relação à absorção de água por saturação, não há diferenças entre as argamassas CHB e CV; sendo ligeiramente diferente, apenas de 4%, na argamassa CHA, para o traço 1:1.7. Essa pequena diferença, em princípio, pode ser devido ao próprio ensaio.

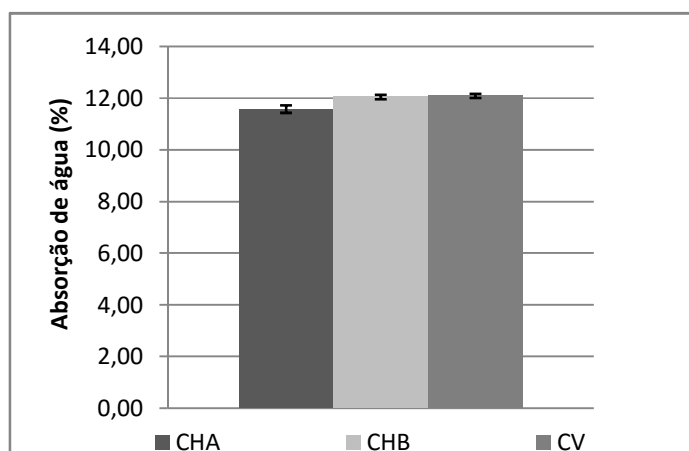


Figura 7.16 - Absorção de água por saturação da argamassa 1:1:7

Os resultados da Figura 7.17 indicam que, em relação à absorção de água por saturação, não há diferenças entre as argamassas CHA, CHB e CV, para o traço 1:4:14.

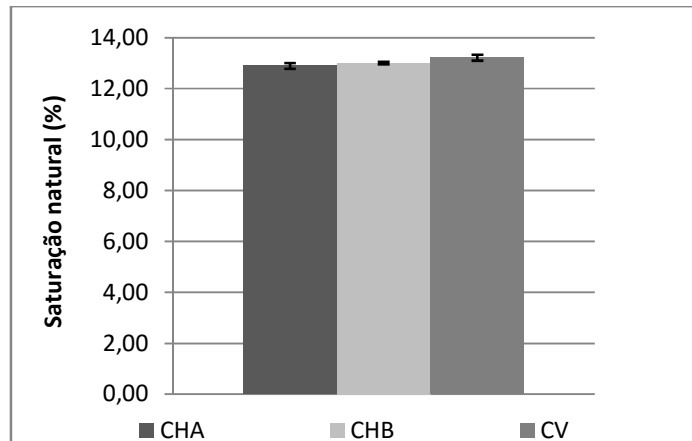


Figura 7.17 - Absorção por saturação da argamassa 1:4:14

Retomando as variáveis e suas interações indicadas na Tabela 7.2, os resultados que se apresentam na Tabela 7.4, indicam os efeitos redutores (sinal negativo dos parâmetros) dos tipos de aglomerantes CHA e CHB quando comparados com o tipo CV. O maior efeito redutor provém dos traços; ou seja, da proporção 1:1:6 quando se compara com o traço 1:4:14. Além do efeito isolado dessas variáveis pode-se observar interações significativas entre o tipo de aglomerante CHA com o traço 1:1:7 e CHB e os traços 1:1:6, 1:0,33:3,7 e 1:1:7. Embora para a interação do CHB para o traço 1:1:7 não tenha se demonstrado diferente na análise de efeitos individuais das variáveis, a sua interação com o aglomerante CHB acresce significativamente a absorção por saturação. O efeito do tipo de aglomerante pode ser resultante em parte da finura da sua composição e das possíveis reações. O aglomerante CHA (cal hidratada), por não possuir adição de cinza volante, apresenta uma finura menor e menos reativa, que determina uma menor tendência a promover, de forma mais eficaz, o fechamento dos vazios da pasta; somando-se a esta característica do aglomerante, o traço possui a maior proporção entre o volume de agregados e aglomerantes, ou seja, 1:3,5, a qual determina um esqueleto mais aberto e com menor presença de finos, o que possibilita uma maior absorção. O aglomerante CHB contém cinza volante que, em princípio, é mais fina que a cal hidratada e, também, mais reativa, promovendo assim, um efeito de fechamento dos vazios da fase pasta. O efeito redutor dos traços 1:1:6 e 1:0,33:3,7 se dá por estes, na verdade, representarem a menor proporção de volume de agregados e aglomerantes, respectivamente 1:3 e 1:2,78; ou seja, constituem um esqueleto mais fechado e com maior presença de materiais finos.

Tabela 7.4 - Resultados da análise da absorção por saturação

	Nível do efeito	Coluna	Absorção	Absorção	Absorção	Absorção	-95.00%	+95.00%
			Param.	Std.Err	t	p	Cnf.Lmt	Cnf.Lmt
Intercept		1	11,97056	0,022074	542,2882	0,000000	11,92500	12,01611
Arg	CHA	2	-0,21472	0,031218	-6,8782	0,000000	-0,27915	-0,15029
Arg	CHB	3	-0,30472	0,031218	-9,7612	0,000000	-0,36915	-0,24029
traço	1:1:6	4	-0,68056	0,038234	-17,7999	0,000000	-0,75947	-0,60165
traço	1:0,33:3,7	5	-0,33722	0,038234	-8,8201	0,000000	-0,41613	-0,25831
traço	1:1:7	6	-0,05500	0,038234	-1,4385	0,163199	-0,13391	0,02391
Arg*traço	1	7	-0,02861	0,054070	-0,5291	0,601565	-0,14021	0,08298
Arg*traço	2	8	0,07139	0,054070	1,3203	0,199191	-0,04021	0,18298
Arg*traço	3	9	-0,11417	0,054070	-2,1114	0,045336	-0,22576	-0,00257
Arg*traço	4	10	-0,57861	0,054070	-10,7011	0,000000	-0,69021	-0,46702
Arg*traço	5	11	-0,14194	0,054070	-2,6252	0,014834	-0,25354	-0,03035
Arg*traço	6	12	0,44917	0,054070	8,3071	0,000000	0,33757	0,56076

c) Absorção de água por capilaridade

As Figuras 7.18, 7.19 e 7.20 demonstram a evolução da absorção da água por capilaridade dos diferentes tipos de argamassas no traço 1:1:6 (CHA, CHB e CV). De uma maneira geral a evolução da absorção de água no tempo pode ser considerada típica de todas as argamassas ensaiadas; ou seja, uma evolução linear até os 400 minutos iniciais, podendo-se considerar praticamente constante após este período até o fim dos registros. Observa-se também que as dispersões dos valores individuais em torno do valor médio podem ser representativas em alguns casos de forma a falsear eventuais diferenças entre os coeficientes de capilaridade das argamassas ensaiadas. Por esta razão, procede-se a seguir uma análise mais detalhada dentro de cada grupo de traço de argamassas considerando os seus respectivos desvios padrão. As demais figuras com todos os gráficos encontram-se no Anexo II.

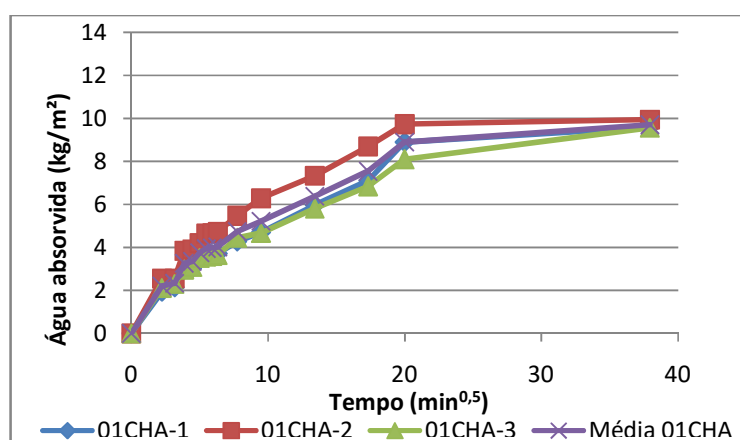


Figura 7.18 - Absorção de água por capilaridade da argamassa 1:1:6 CHA

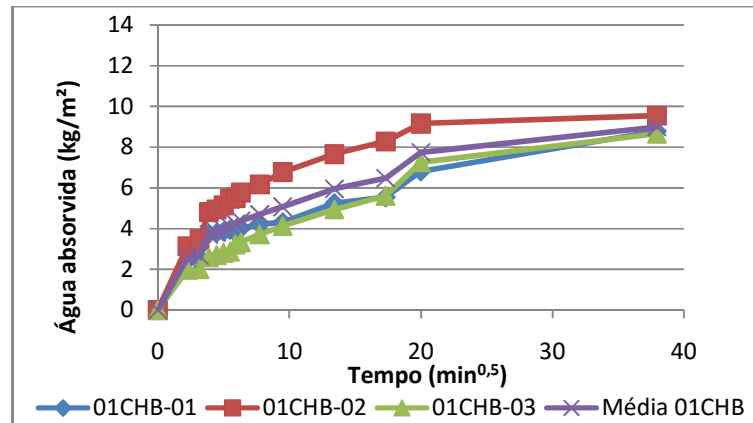


Figura 7.19 - Absorção de água por capilaridade amostra 1:1:6 CHB

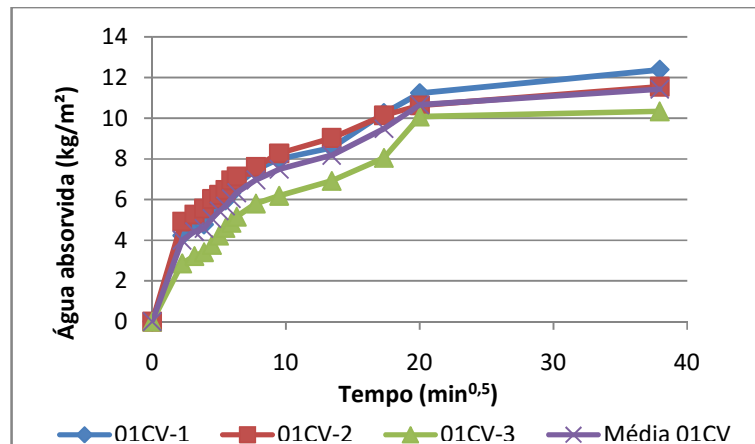


Figura 7.20- Absorção de água amostra 1:1:6 CV

O coeficiente de capilaridade médio das argamassas ensaiadas é apresentado na Tabela 7.5. Para uma melhor análise entre os valores e identificação de uma real diferença entre esses valores, os resultados médios são retomados a seguir juntamente com os respectivos desvios padrão. Essa análise é realizada com o auxílio das Figuras 7.21 a 7.24.

Tabela 7.5- Coeficientes de capilaridade das argamassas estudadas

Argamassa	Traço	Coeficiente de capilaridade - Ccc- (kg/m ² .min ^{0,5})
CHA	1:1:6	0,46
	1:0,33:3,7	0,41
	1:1:7	0,45
	1:4:14	0,85
CHB	1:1:6	0,38
	1:0,33:3,7	0,43
	1:1:7	0,41
	1:4:14	0,78
CV	1:1:6	0,49
	1:0,33:3,7	0,49
	1:1:7	0,63
	1:4:14	0,66

Os coeficientes de capilaridade variaram entre 0,38 e 0,85 kg/m².min^{0,5}, valores estes considerados baixos se levarmos em conta os valores recomendados para os coeficientes de capilaridade das argamassas de reabilitação que variam entre 1 e 1,5 kg/m².min^{0,5}[73]. Pode-se também entender as argamassas como materiais de sucção rápida ($C > 2 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{min}^{0,5}$), inibidor de água ($C \leq 2 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{min}^{0,5}$), quase impermeável ($C \leq 0,5 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{min}^{0,5}$) ou impermeável ($C \leq 0,001 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{min}^{0,5}$). Estas classes de capilaridade normalmente são aplicadas aos valores observados em ensaios realizados aos 28 dias de idade.

Levando-se em conta os valores médios e os respectivos desvios padrões dos resultados dos coeficientes de capilaridade das argamassas ensaiadas, pode-se afirmar que de acordo com os resultados apresentados na Figura 7.21, não se verifica nenhuma diferença significativa entre as argamassas CHA, CHB e CV; para o traço 1:1:6. Portanto para esta proporção de materiais na argamassa, o tipo de adição não é influente no coeficiente de capilaridade. Pode-se afirmar diante do observado que nesse caso o coeficiente de capilaridade é característico apenas do traço da argamassa.

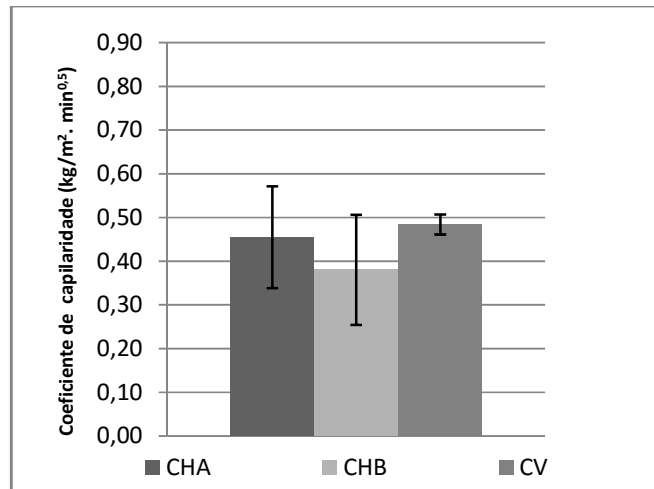


Figura 7.21 - Coeficiente de capilaridade das argamassas 1:1:6

Para o traço 1:0,33:3,7 observa-se na Figura 7.22 que o coeficiente de capilaridade da argamassa CHB é diferente ou seja menor que os das argamassas CHA e CV que não diferem significativamente entre si. Particularmente com o traço em questão verifica-se aqui o efeito do tipo de adição, ou seja, a incorporação de cinza volante à cal hidratada confere um coeficiente de capilaridade menor ao traço.

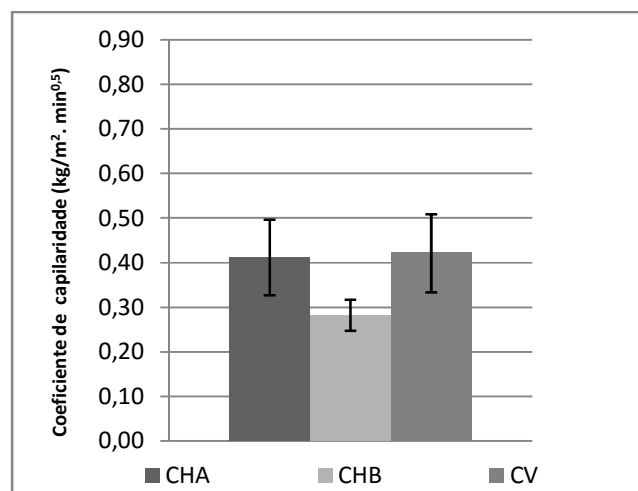


Figura 7.22 - Coeficiente de capilaridade das argamassas 1:0,33:3,7

No caso do traço 1:1:7, os resultados da Figura 7.23 indicam que, em relação ao coeficiente de capilaridade, não há diferenças significativas entre as argamassas CHA e CHB; sendo diferente, apenas, na argamassa CV. Neste caso particular a utilização da cal virgem (extinta no laboratório), por ter uma característica mais artesanal, determina uma menor tendência a promover, de forma mais eficaz, o fechamento dos vazios da pasta. Porém, esta desvantagem é compensada, parcialmente, pela adição de cinza volante, mais fina e mais reativa. Porém, no

caso específico, a maior proporção de agregado para aglomerante (1:3,5) pode ter influenciado no aumento do coeficiente de capilaridade da argamassa para o traço em questão.

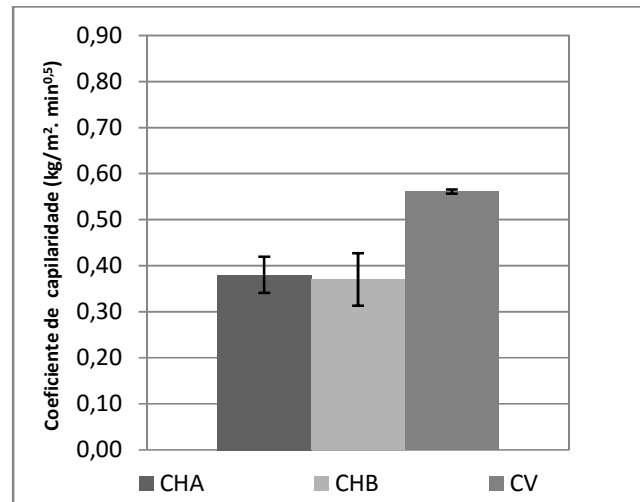


Figura 7.23- Coeficiente de capilaridade das argamassas 1:1:7

Os resultados obtidos para a argamassa de traço 1:4:14 apresentados na Figura 7.24 indicam que somente a argamassa CV é significativamente diferente de CHA e CHB. Em oposição aos resultados do traço anterior, apresentados na Figura 7.48, a utilização da cal virgem (extinta no laboratório), mesmo que possuindo uma finura e uma reatividade menores, ao receber a adição de cinza volante, acaba por compensar esta deficiência e, por no traço avaliado 1:4:14, haver uma menor relação entre agregado e aglomerante (1:2,8), acaba promovendo um fechamento maior dos vazios, reduzindo assim o coeficiente de capilaridade.

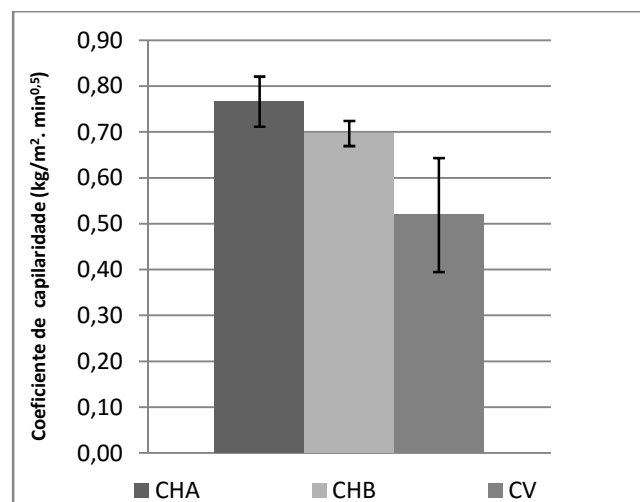


Figura 7.24 - Coeficiente de capilaridade das argamassas 1:4:14

Os corpos de prova moldados com as argamassas de reabilitação apresentaram coeficientes de absorção de água por capilaridade (C_{cc}), bastante semelhantes entre si; e, também, em

relação à argamassa padrão na região da cidade de Pelotas (argamassa 1:1:6), conforme Tabela 7.5 e Tabelas I (18 a 22) do Anexo I. O coeficiente de capilaridade, determinado pela inclinação da reta resultante dos pares obtidos entre os 10 e 90 minutos de absorção, indica um comportamento semelhante ao verificado, também, nas amostras das argamassas antigas ensaiadas, mas, neste caso, os fatores determinadores diferem consideravelmente. Entre estes fatores se registra a forma do corpo de prova; que é regular e definida por moldadores metálicos, os quais acabam por gerar nas cinco faces do corpo de prova que contatam diretamente com o moldador, superfícies mais polidas e mais impermeáveis, o que altera o tempo de absorção da água por capilaridade nestas faces. Já na face superior do corpo de prova, a qual não contata o moldador, a superfície é geralmente mais porosa, permitindo uma maior absorção inicial da água por capilaridade. Esta face superior pode apresentar, nalguns casos, uma fina camada mais rica em pasta, determinada pela exsudação, que acaba concentrando, nesta superfície, um teor maior de aglomerante, determinando esta característica em alguns corpos de prova, característica esta oposta ao padrão de ocorrência, que é de uma superfície conforme descrita anteriormente, ou seja, mais porosa e mais absorvente.

Também, o fato dos corpos de prova ensaiados apresentarem, devido à idade reduzida; uma recarbonatação incompleta, torna-os mais permeáveis e facilita a embebição mais intensa na face que contata a lâmina de água, determinando registros mais elevados de absorção de água nos momentos iniciais.

Estes ensaios fornecem parâmetros comparativos entre argamassas constituídas por materiais semelhantes e com as mesmas idades, mas não se podem transferir integralmente os comportamentos registrados para a aplicação em alvenarias, onde existem vários fatores que determinam diferenças bastante consideráveis; dentre elas: a forma de aplicação do reboco, a base de contato, o acabamento superficial, a grande área de absorção e de secagem e a pequena espessura do revestimento (em relação à área da parede rebocada); sem falar na retração e nos efeitos determinados pelas intempéries, que modificam e introduzem outros comportamentos, influenciando diretamente a absorção de água por capilaridade.

As análises do efeito do tipo de adição nas argamassas foram realizadas isoladamente dentro de cada série de misturas; ou seja, para cada traço. Pode-se concluir desse tipo de abordagem que o efeito da adição depende das proporções das argamassas. Tendo em conta que a adição CV é responsável pelo efeito, tanto da redução como do aumento do coeficiente de capilaridade; procedeu-se a análise de multivariância aplicada à determinação do coeficiente de capilaridade, tendo em conta as variáveis e os seus níveis discriminados na Tabela 7.2.

Os resultados da análise que se apresentam na Tabela 7.6 confirmam, com a probabilidade $p = 0,001393$ (em cinza na Tabela), que entre os coeficientes de capilaridade determinados apenas

um nível da variável traço influencia significativamente os resultados, sendo particularmente diferente entre os efeitos das variáveis comparadas o da argamassa com o traço 1:0,33:3,7 indiferentemente do tipo de adição. Pode-se dizer que o esqueleto formado pela proporção do traço 1:0,33:3,7, onde a proporção de cimento é maior em relação a proporção de agregados miúdos utilizados, resulta em uma maior compactidade à argamassa; pois, com a manutenção do fator água/cimento, igual em todas as dosagens, os resultados obtidos nas avaliações indicam uma maior massa volúmica e um menor índice de vazios.

Tomando por base as variáveis e suas interações na Tabela 7.4, os resultados que se apresentam na Tabela 7.6, indicam não haver efeitos redutores dos tipos de aglomerantes CHA e CHB quando comparados com o aglomerante CV. O maior efeito redutor provém dos traços; ou seja, da proporção 1:0,33:3,7 quando se compara com o traço 1:4:14. Além do efeito isolado dessas variáveis pode-se observar interações significativas entre o tipo de aglomerante CHA e o traço 1:1:7. Embora este traço não tenha se demonstrado diferente na análise de efeitos individuais das variáveis, a sua interação com o tipo de aglomerante CHA acresce significativamente o coeficiente de capilaridade. O efeito do tipo de aglomerante pode ser resultante em parte da finura da sua composição e das reações possíveis. O aglomerante CHA não contém cinza volante que, em princípio, é menos fina que a cal hidratada com adição de cinza volante e menos reativa promovendo assim um menor efeito de fechamento dos vazios da fase pasta. O efeito redutor do traço 1:0,33:3,7 se dá por este na verdade representar a menor proporção de volume de agregados:aglomerantes ou seja 1:2,78 ou seja constituindo um esqueleto mais fechado e com maior presença de materiais finos.

Tabela 7.6 - Resultados da análise dos efeitos das variáveis no coeficiente de capilaridade

	Nível do efeito	Coluna	Ccc	Ccc	Ccc	Ccc	-95.00%	+95.00%
			Param.	Std.Err	t	p	Cnf.Lmt	Cnf.Lmt
Intersecção		1	0,477647	0,012731	37,51838	0	0,451372	0,503923
Arg	CHA	2	0,025928	0,018004	1,440082	0,162762	-0,011231	0,063087
Arg	CHB	3	-0,045006	0,018004	-2,4997	0,019667	-0,082165	-0,007846
traço	1:1:6	4	-0,037825	0,022051	-1,71536	0,099164	-0,083336	0,007686
traço	1:0,33:3,7	5	-0,105569	0,022051	-4,787562	0,000071	-0,15108	-0,060059
traço	1:1:7	6	-0,040214	0,022051	-1,823695	0,080677	-0,085724	0,005297
Arg*traço	1	7	-0,010917	0,031184	-0,350067	0,729342	-0,075278	0,053445
Arg*traço	2	8	0,014128	0,031184	0,453038	0,65459	-0,050234	0,078489
Arg*traço	3	9	-0,082861	0,031184	-2,657125	0,013795	-0,147223	-0,018499
Arg*traço	4	10	-0,014483	0,031184	-0,46444	0,646518	-0,078845	0,049878
Arg*traço	5	11	-0,044606	0,031184	-1,430376	0,165501	-0,108967	0,019756
Arg*traço	6	12	-0,021928	0,031184	-0,703163	0,48872	-0,086289	0,042434

d) Secagem da água absorvida pelos corpos de prova de argamassa de reabilitação

A Tabela II (22 a 33) e as Figuras II (19 a 30) do Anexo II apresentam os resultados de secagem da água absorvida por capilaridade. As Figuras 7.25, 7.26 e 7.27 apresentam a evolução típica de secagem da água absorvida tendo como exemplo os diferentes tipos de argamassas no traço 1:1:6. Pode-se verificar que a dispersão dos resultados individuais em torno do valor médio é mínimo, o que elucida a tendência de valores muito baixos de desvios padrões, o que veremos a seguir. De outra forma pode-se também observar que essa evolução pode ser representada por uma reta descendente, extraído-se do valor da sua inclinação o que denominaremos a seguir como coeficiente de secagem.

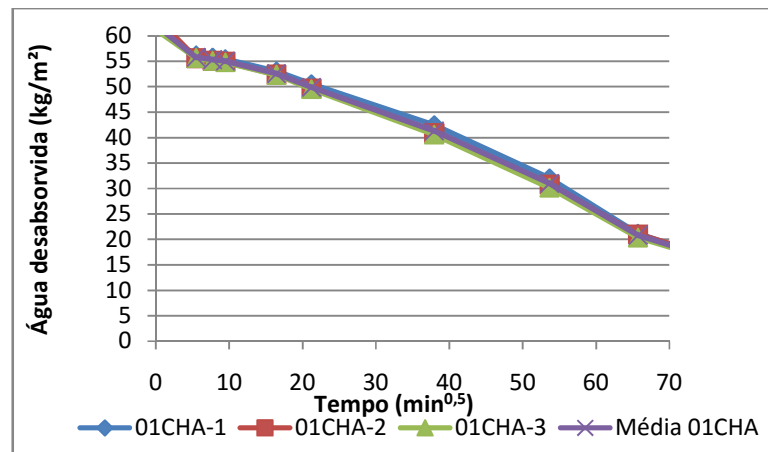


Figura 7.25 - Secagem da argamassa 1:1:6 CHA

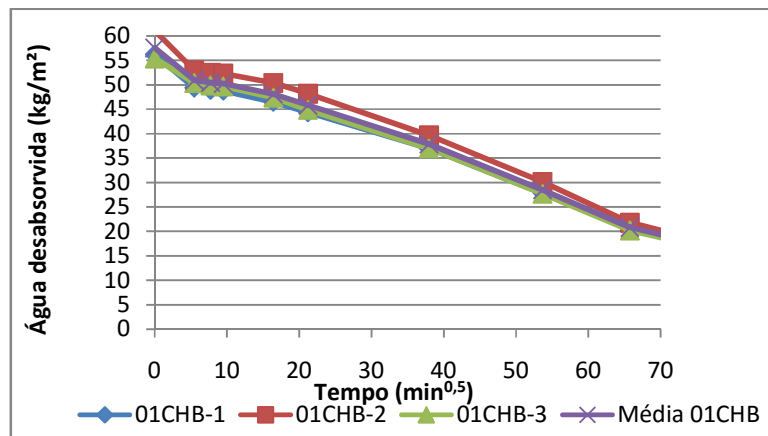


Figura 7.26 - Secagem da argamassa 1:1:6 CHB

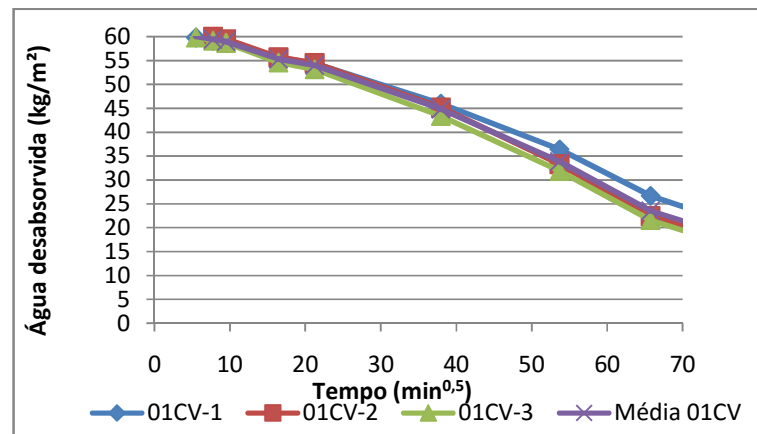


Figura 7.27 - Secagem da argamassa 1:1:6 CV

As Figuras 7.28 a 7.31 apresentam os coeficientes de secagem, expressos em $\text{kg}/\text{m}^2 \cdot \text{min}^{1/2}$ e obtidos da equação da reta de regressão linear das curvas médias das figuras anteriores. Considerando-se os valores médios e os respectivos desvios padrões dos resultados da secagem da água absorvida nas argamassas ensaiadas; verifica-se, para a Figura 7.28, a existência de uma pequena diferença comportamental em relação à secagem entre as argamassas CHA, CHB e CV; para o traço 1:1:6.

Portanto para esta proporção de materiais na argamassa, o tipo de adição não é influente à secagem. Pode-se afirmar diante do observado que, nesse caso, a secagem está relacionada com a cal utilizada, a qual, quanto maior a plasticidade e trabalhabilidade; determina uma maior coesão na mescla, o que diminui a porosidade e a comunicação entre os poros, dificultando, em maior ou menor grau, a liberação da água absorvida (água desabsorvida).

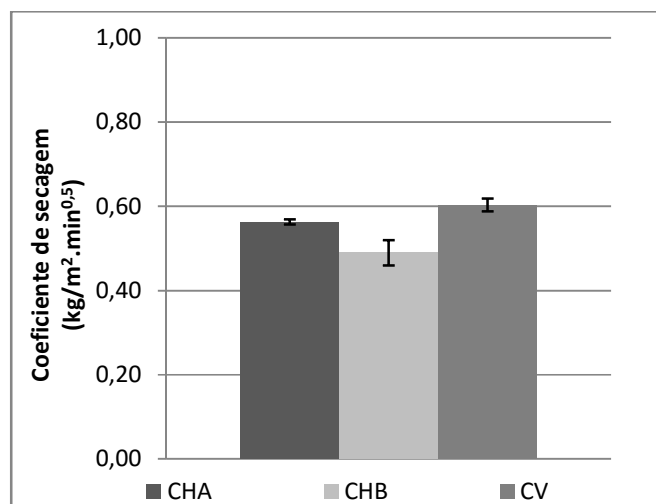


Figura 7.28 - Coeficiente de secagem da argamassa 1:1:6

De acordo com os resultados apresentados na Figura 7.29, os desvios padrão indicam a não existência de diferença entre as secagens das argamassas CHA e CHB, pois seus coeficientes de secagem são muito semelhantes, onde ambas utilizam cales industrializadas, o que propicia uma regularidade e semelhança nas formações porosas entre os constituintes. Ficando evidente apenas a diferença no coeficiente de secagem da argamassa CV, que utiliza cal extinta em obra, de forma artesanal; o que possibilita uma não homogeneidade na produção da mescla e, conseqüentemente, uma maior quantidade de poros entre as partes constituintes, conforme determinado no ensaio de índice de vazios [Tabela II (34) do Anexo II], elevando assim, o coeficiente de secagem, levando a uma secagem mais acelerada. Portanto, para esta proporção entre os materiais, apenas a adição de uma cal mais pastosa e plástica pode determinar uma pequena diferenciação de tempo no coeficiente de secagem. Pode-se afirmar diante do observado que, nesse caso, a secagem está relacionada com a cal utilizada, a qual, semelhante a comportamento da argamassa 1:1:6.

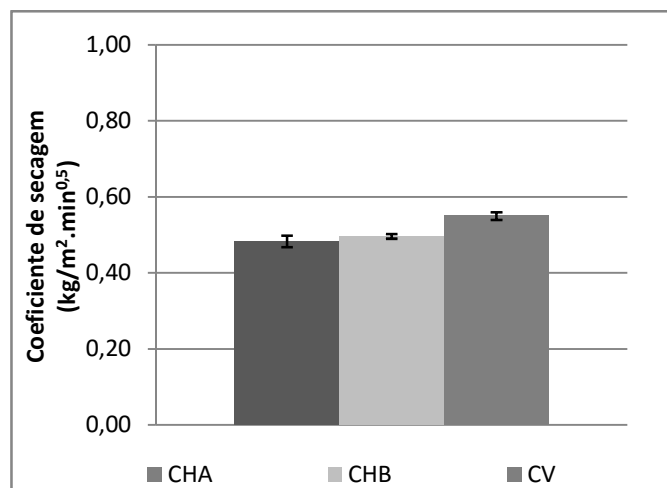


Figura 7.29 - Coeficiente de secagem da argamassa 1:0,33:3,7

De acordo com os resultados apresentados na Figura 7.30, os desvios padrão indicam a não existência de diferença entre as secagens das argamassas CHA e CHB, onde ambas utilizam cales industrializadas. Ficando evidente apenas a diferença da secagem na argamassa CV, que utiliza cal extinta em obra, de forma artesanal. Pode-se afirmar diante do observado que, também, para esse caso, a secagem está relacionada com o grau de porosidade; ou seja, a menor porosidade e a menor comunicação entre os poros dificulta, em maior ou menor grau, a liberação da água absorvida. Para a argamassa CV, que utilizou cal obtida por procedimento artesanal, o grau de porosidade é mais elevado, o que determina um coeficiente de secagem mais elevado e, conseqüentemente, uma secagem mais rápida.

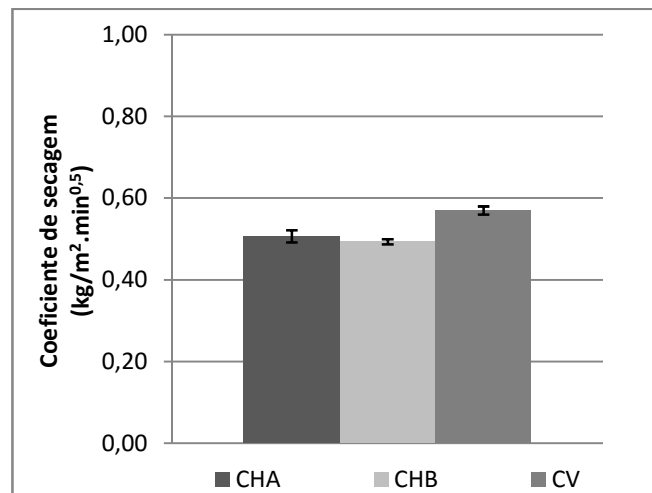


Figura 7.30- Coeficiente de secagem da argamassa 1:1:7

Os resultados apresentados na Figura 7.31 indicam que, em relação a secagem, não há diferenças entre as argamassas CHA, CHB e CV, para o traço 1:4:14.

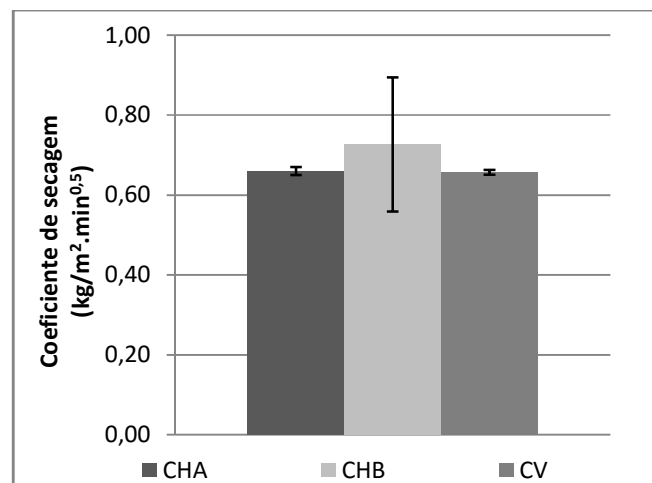


Figura 7.31 - Coeficiente de secagem da argamassa 1:4:14

Tendo em conta que a adição CV é responsável pelo efeito tanto da redução como do aumento do coeficiente de secagem, procedeu-se a análise dos efeitos do conjunto das variáveis nos resultados da secagem das argamassas, tendo em conta as variáveis discriminadas na Tabela 7.22. Lembra-se que uma variável de comparação (CV) para o tipo de argamassa e 1:4:14 para o traço foi escolhida para fins de equacionar a probabilidade de não haver diferença significativa entre as mesmas.

As variáveis e suas interações mostradas na Tabela 7.2, possibilitam que os resultados apresentados na Tabela 7.7 indiquem haver efeito redutor no coeficiente de secagem para os traços 1:0,33:3,7 e 1:1:7 em relação ao traço 1:4:14. Além do efeito isolado dessas variáveis pode-se

observar, na linha 10, interações de segunda ordem entre o tipo de aglomerante CHB e o traço 1:1:6. Embora este traço não tenha se demonstrado diferente na análise de efeitos individuais das variáveis, a sua interação com o tipo de aglomerante CHB acresce significativamente o coeficiente de secagem. O efeito do tipo de aglomerante pode ser resultante em parte da finura da sua composição e das reações possíveis. O aglomerante CHB contém cinza volante que, em princípio, é mais fina e reativa que a cal hidratada (CHA), promovendo assim um maior efeito de fechamento dos vazios da fase pasta. Os efeitos redutores dos traços 1:0,33:3,7 e 1:1:7 em relação ao traço 1:4:14, indicam que a variação do consumo de agregado determina uma menor ou maior porosidade à mescla e, este efeito dá-se por estes na verdade representarem a menor ou maior proporção de volume de agregados em relação aos aglomerantes respectivamente 1:2,78 e 1:3,5 ou seja constituindo um esqueleto mais fechado e com maior presença de materiais finos; o que permite, com a ação da gravidade, um maior e mais rápido transporte no interior da argamassa e uma perda mais acelerada da água absorvida.

Tabela 7.7 - Resultados da análise das variáveis no coeficiente de secagem

	Nível do efeito	Coluna	Coeficiente de secagem	Coeficiente de secagem	Coeficiente de secagem	Coeficiente de secagem	-95.00%	+95.00%
			Param.	Std.Err	t	p	Cnf.Lmt	Cnf.Lmt
Intersecção		1	-0,566667	0,008356	-67,8119	0,000000	-0,583914	-0,549420
Arg	CHA	2	0,013333	0,011818	1,1282	0,270371	-0,011057	0,037724
Arg	CHB	3	0,015000	0,011818	1,2693	0,216516	-0,009391	0,039391
traço	1:1:6	4	0,014444	0,014474	0,9980	0,328249	-0,015428	0,044317
traço	1:0,33:3,7	5	0,056667	0,014474	3,9151	0,000653	0,026794	0,086539
traço	1:1:7	6	0,043333	0,014474	2,9939	0,006296	0,013461	0,073206
Arg*traço	1	7	-0,024444	0,020469	-1,1942	0,244064	-0,066690	0,017802
Arg*traço	2	8	0,013333	0,020469	0,6514	0,520984	-0,028913	0,055579
Arg*traço	3	9	0,003333	0,020469	0,1628	0,872002	-0,038913	0,045579
Arg*traço	4	10	0,047222	0,020469	2,3070	0,029994	0,004976	0,089468
Arg*traço	5	11	-0,001667	0,020469	-0,0814	0,935780	-0,043913	0,040579
Arg*traço	6	12	0,015000	0,020469	0,7328	0,470769	-0,027246	0,057246

e) Resistência à compressão das argamassas

Os valores médios da resistência à compressão, as idades aos 7 e aos 28 dias, são apresentadas nas Figuras 7.32 a 7.35 e nas Tabelas II (35 e 36) do Anexo II.

Os resultados da Figura 7.32 indicam, para o traço 1:1:6, que entre as idades de 7 e 28 dias há acréscimo de resistência a compressão nas três argamassas ensaiadas; sendo que para a argamassa CHA há um aumento de resistência de 66,9%, para a argamassa CHB de 119,4% e para a argamassa CV de 118,4%. Os resultados aos 7 e 28 dias indicam uma pequena diferença de 13% (para as duas idades) entre as argamassas CHB e CV, enquanto a argamassa CHA é, respectivamente 39% e 82% inferior a argamassa CHB e, em relação a argamassa CV é 20% inferior aos 7 dias e 57% menor aos 28 dias, em média, 60% menor que CHB e 38,5% menor que CV. Como, para o traço, a proporção entre agregado e aglomerante mantém-se constante (1:3), a variação das resistências à compressão aos 7 e 28 dias estão relacionadas diretamente ao tipo da cal utilizada. Sabemos que a cal hidratada (CHA) é menos reativa que a cal com adição de cinza volante, portanto a pasta formada pela cal hidratada não preenche, com a mesma eficácia os vazios entre os agregados; bem como sua reação química (recarbonatação) é mais lenta do que a argamassa que utiliza cal com adição de cinza volante. Esta diferença é visível aos 7 dias e se mantém, também, aos 28 dias, quando as reações estão mais acentuadas. Em relação às mesclas que utilizam a cal hidratada (CHA) e a cal virgem (CV) se pode traçar uma relação similar a anterior; neste caso específico, a cal virgem por ser extinta em laboratório, produz uma pasta mais consistente, o que permite de forma semelhante, mas inferior a cal com adição de cinza volante, um maior fechamento dos vazios entre os grãos, determinando assim, uma maior capacidade de fechamento dos poros, o que influencia no aumento da resistência à compressão, quer aos 7 quer aos 28 dias. Já na comparação entre a cal com adição de cinza volante (CHB) e a cal virgem (CV), a diferença maior para a cal CHB está no processo industrial, que imprime uma maior homogeneidade e qualificação do produto em relação à cal CV.

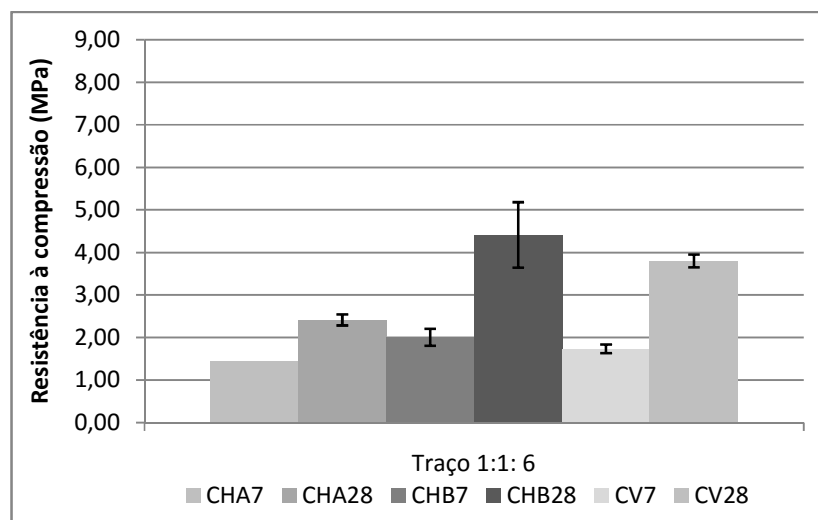


Figura 7.32 - Resistência à compressão aos 07 e 28 dias das argamassas 1:1:6

Os resultados da Figura 7.33 indicam, para o traço 1:0,33:3,7, que entre as idades de 7 e 28 dias há acréscimo de resistência a compressão nas três argamassas ensaiadas; sendo que para a argamassa CHA há um aumento de resistência de 85,9%, para a argamassa CHB de 229,6% e para a argamassa CV de 83,4%. Os resultados aos 7 e 28 dias indicam um equilíbrio para as duas idades, entre as argamassas CHA e CV, com diferenças desconsideráveis de 2% e 1%, respectivamente, enquanto a argamassa CHB, aos 7 dias, é 579% menor que CHA e 594% menor que CV e 326% menor que CHA e 330% menor que CV, ambas para os 28 dias, revelando uma média bastante equilibrada, a menor, em relação as duas argamassas (CHA e CV).

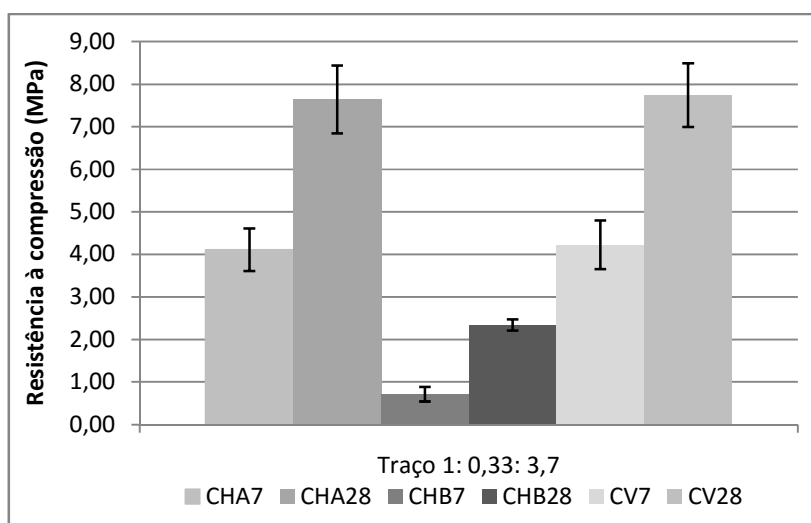


Figura 7.33 - Resistência à compressão aos 7 e 28 dias das argamassas 1:0,33:3,7

Os resultados da Figura 7.34 indicam, para o traço 1:1:7, que entre as idades de 7 e 28 dias há acréscimo de resistência a compressão nas três argamassas ensaiadas; sendo que para a argamassa CHA há um aumento de resistência de 304%, para a argamassa CHB de 278% e para a argamassa CV de 322%. Nota-se que os aumentos de resistências são bastante proporcionais às três argamassas ensaiadas. Os resultados aos 7 e 28 dias indicam um equilíbrio para as três idades, entre as argamassas CHA, CHB e CV, com diferenças de 4,1% a maior para a argamassa CHA em relação a argamassa CHB, de 19%, a maior, entre CHA e CV e de 15%, a maior, entre CHB e CV, todas aos 7 dias. Para as medições aos 28 dias, as proporções de acréscimo na resistência à compressão mantem-se equilibrada; com valores, a maior, entre as argamassas, com percentuais de 14% entre CHA e CHB, 14% entre CHA e CV e 2% entre CHB e CV, confirmando assim, a similaridade nas resistências à compressão entre as argamassas com este traço.

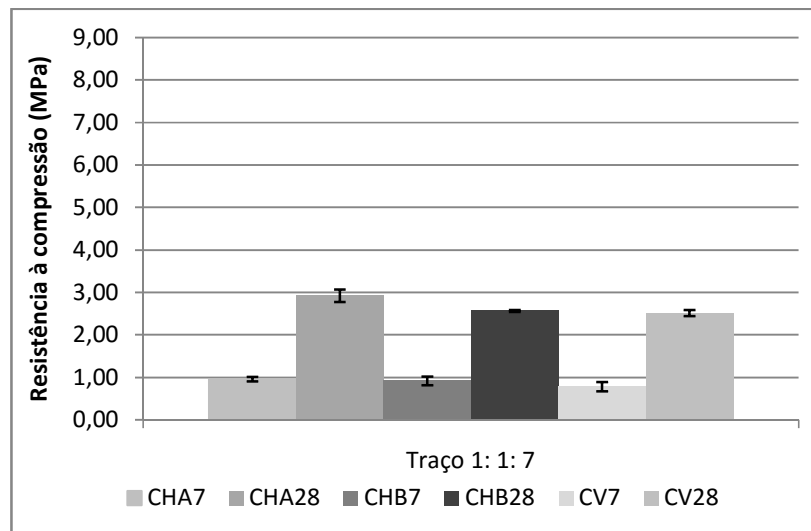


Figura 7.34 - Resistência à compressão aos 7 e 28 dias das argamassas 1:1:7

Os resultados da Figura 7.35 indicam, para o traço 1:4:14, que entre as idades de 7 e 28 dias há acréscimo de resistência à compressão nas argamassas CHA, CHB e CV, sendo que para a argamassa CHA há um aumento de resistência de 324%, para a argamassa CHB de 426% e para a argamassa CV de 240%. Os resultados aos 7 dias indicam um equilíbrio entre as argamassas CHA e CHB, com diferenças de 14%, a maior para a argamassa CHA em relação a argamassa CHB. Aos 28 dias existe uma diferença de 54%, a maior, entre CHA e CHB, entre as argamassas CHA e CV existe 265 de acréscimo aos 7 dias e 514% de acréscimo aos 28 dias. Já a argamassa CHB é 23% maior que CV aos 7 dias e tem resistência à compressão 780% maior que CV aos 28 dias.

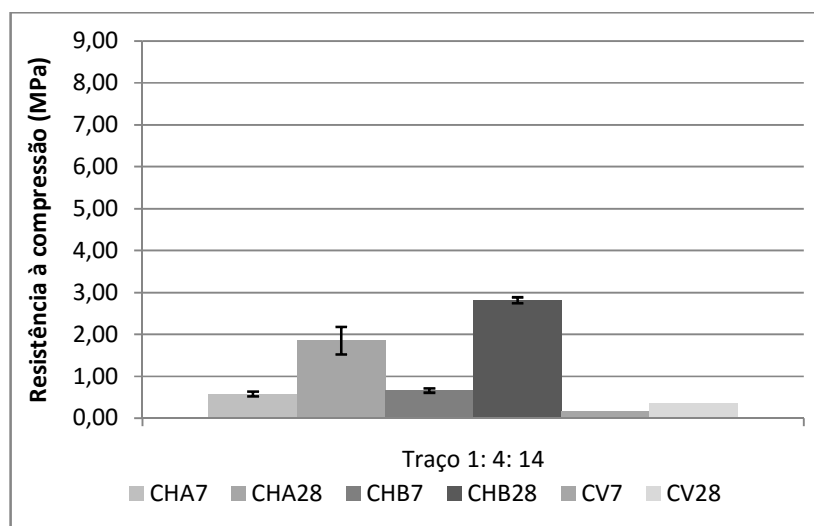


Figura 7.35 - Resistência à compressão aos 7 e 28 dias das argamassas 1:4:14

Tomando por base as variáveis e suas interações mostradas na Tabela 7.2, os resultados que se apresentam na Tabela 7.8 (resistência à compressão aos 7 dias) indicam haver efeito redutor na resistência à compressão do aglomerante CHB, quando comparado com o aglomerante CV. O maior efeito redutor provém dos traços; ou seja, da proporção 1:1:7 quando se compara com o traço 1:4:14. Além do efeito isolado dessas variáveis pode-se observar interações significativas entre o tipo de aglomerante CHA com o traço 1:1:6 e 1:0,33:3,7; embora este último traço não tenha se demonstrado diferente na análise de efeitos individuais das variáveis, a sua interação com o tipo de aglomerante CHA acresce significativamente a resistência a compressão. O efeito do tipo de aglomerante pode ser resultante em parte da finura da sua composição e das reações possíveis. O aglomerante CHA não contém cinza volante que, em princípio, é menos fina que a cal hidratada com adição de cinza volante e menos reativa promovendo assim um menor efeito de fechamento dos vazios da fase pasta. O efeito redutor do traço 1:1:6 se dá por este na verdade apresentar uma maior proporção de volume de agregados aglomerantes ou seja 1:3; constituindo um esqueleto menos fechado e com menor presença de materiais finos entre os grãos do agregado. Também há interações significativas entre o tipo de aglomerante CHB com os traços 1:1:6, 1:0,33:3,7 e 1:1:7. Embora os traços 1:1:6 e 1:1:7 não tenham se demonstrado diferentes na análise de efeitos individuais das variáveis, a sua interação com o tipo de aglomerante CHB acresce significativamente a resistência à compressão. O efeito do tipo de aglomerante pode ser resultante das reações possíveis. O aglomerante CHB contém cinza volante que, em princípio, é mais reativa que a cal hidratada promovendo assim um efeito de fechamento dos vazios da fase pasta, dando maior compacidade ao esqueleto das argamassas, possibilitando assim, um acréscimo da resistência à compressão aos 7 dias. O efeito redutor da resistência à compressão aos 7 dias, identificado no traço 1:0,33:3,7, pode ser devido a menor relação agregado:aglomerante (1:2,78); ou seja, é mais rico em aglomerante e, também, ao fato de a cinza volante com a cal ser um processo lento que, praticamente, não se percebe aos 7 dias, contrariando o valor expresso na linha 11 da Tabela 7.8.

Tabela 7.8 -Resultados da análise do ensaio de compressão aos 7 dias

	Nível do efeito	Coluna	Compres. (7)	Compres. (7)	Compres. (7)	Compres. (7)	-95.00%	+95.00%
			Param.	Std.Err	t	p	Cnf.Lmt	Cnf.Lmt
Intercept		1	1,52528	0,040716	37,4614	0,000000	1,44124	1,60931
Arg	CHA	2	0,24889	0,057581	4,3224	0,000233	0,13005	0,36773
Arg	CHB	3	-0,44861	0,057581	-7,7909	0,000000	-0,56745	-0,32977
traço	1:1:6	4	0,20917	0,070522	2,9660	0,006727	0,06362	0,35472
traço	1:0,33:3,7	5	1,49139	0,070522	21,1478	0,000000	1,34584	1,63694
traço	1:1:7	6	-0,63750	0,070522	-9,0397	0,000000	-0,78305	-0,49195
Arg*traço	1	7	-0,53333	0,099733	-5,3476	0,000017	-0,73917	-0,32749
Arg*traço	2	8	0,84444	0,099733	8,4670	0,000000	0,63860	1,05028
Arg*traço	3	9	-0,17667	0,099733	-1,7714	0,089196	-0,38251	0,02917
Arg*traço	4	10	0,72750	0,099733	7,2944	0,000000	0,52166	0,93334
Arg*traço	5	11	-1,85472	0,099733	-18,5968	0,000000	-2,06056	-1,64888
Arg*traço	6	12	0,48083	0,099733	4,8212	0,000065	0,27499	0,68667

Na Tabela 7.2 as variáveis e suas interações possibilitam analisar que na tabela 7.9 (resistência à compressão aos 28 dias), se encontra efeito redutor do aglomerante CHB em comparação com o aglomerante CV. O maior efeito redutor advem do traço 1:1:7, quando se compara com o traço 1:4:14. Além do efeito isolado dessas variáveis pode-se observar interações significativas entre o tipo de aglomerante CHA com os traços 1:1:6 e 1:0,33:3,7, embora este último traço não tenha se demonstrado diferente na análise de efeitos individuais das variáveis, a sua interação com o tipo de aglomerante CHA acresce significativamente a resistência à compressão. O efeito do tipo de aglomerante pode ser resultante em parte da finura da sua composição e das reações possíveis. O aglomerante CHA não contém cinza volante o que o torna menos fino que a cal hidratada com adição de cinza volante e menos reativa promovendo assim um menor efeito de fechamento dos vazios da fase pasta. O acréscimo de resistência à compressão no traço 1:0,33:3,7 se dá por este na verdade representar a menor proporção de volume de agregados aglomerantes ou seja 1:2,78; constituindo um esqueleto mais fechado e com uma maior presença de materiais finos entre os agregados. Em relação ao efeito redutor com o traço 1:1:6, que apresenta uma proporção de 1:3, ocorre o efeito redutivo, pois a combinação da cal hidratada com um maior volume de vazios, determina um esqueleto com menor resistência à compressão. Também há interações significativas entre o tipo de aglomerante CHB com os traços 1:1:6 e 1:0,33:3,7. Embora o traço 1:1:6 não tenham se demonstrado diferentes na análise de efeitos individuais das variáveis, a sua interação com o tipo de aglomerante CHB acresce significativamente a resistência à compressão. O efeito do tipo de aglomerante pode ser resultante em parte da finura da sua composição e das reações possíveis. O aglomerante CHB

contém cinza volante que, em princípio, é mais fina que a cal hidratada e reativa promovendo assim um efeito de fechamento dos vazios da fase pasta, dando maior compacidade ao esqueleto das argamassas, possibilitando assim, um acréscimo da resistência à compressão. O efeito redutor da resistência à compressão aos 28 dias identificado no traço 1:0,33:3,7, o qual apresenta a menor relação agregado aglomerante (1:2,78) pode ser, assim como na Tabela 7.2, originado pela adição da cal CHB no traço que já é mais rico em aglomerante, isso quer dizer que há menos material reativo até a idade dos 28 dias, onde a cinética da reação da cinza com a cal é lenta, onde, normalmente, só é possível observar sua evolução após 63 ou 90 dias, desta forma, o efeito redutor em relação às outras composições pode ser maior aos 28 dias, pois na mistura de cimento e cal, a cal pode ganhar resistência por simples contato com o ar (carbonatação), enquanto a cinza ainda continua latente, identificando a contrariedade expressa no valor da linha 11 da Tabela 7.9.

Tabela 7.9 - Resultados da análise do ensaio de compressão aos 28 dias

	Nível do efeito	Coluna	Compres. (28)	Compres. (28)	Compres. (28)	Compres. (28)	-95.00%	+95.00%
			Param.	Std.Err	t	p	Cnf.Lmt	Cnf.Lmt
Intersecção		1	3,45056	0,068884	50,0924	0,000000	3,30839	3,59272
Arg	CHA	2	0,25944	0,097416	2,6633	0,013603	0,05839	0,46050
Arg	CHB	3	-0,41472	0,097416	-4,2572	0,000275	-0,61578	-0,21366
traço	1:1:6	4	0,09611	0,119310	0,8056	0,428409	-0,15013	0,34236
traço	1:0,33:3,7	5	2,45944	0,119310	20,6138	0,000000	2,21320	2,70569
traço	1:1:7	6	-0,78167	0,119310	-6,5515	0,000001	-1,02791	-0,53542
Arg*traço	1	7	-1,38611	0,168730	-8,2150	0,000000	-1,73435	-1,03787
Arg*traço	2	8	1,47389	0,168730	8,7352	0,000000	1,12565	1,82213
Arg*traço	3	9	-0,00500	0,168730	-0,0296	0,976605	-0,35324	0,34324
Arg*traço	4	10	1,28472	0,168730	7,6141	0,000000	0,93648	1,63296
Arg*traço	5	11	-3,15194	0,168730	-18,6804	0,000000	-3,50019	-2,80370
Arg*traço	6	12	0,31250	0,168730	1,8521	0,076356	-0,03574	0,66074

e) Resistência à tração na flexão das argamassas

Nas Figuras 7.36 a 7.39 são apresentados os resultados médios de resistência à tração na flexão; bem como seus desvios padrão. Os resultados individuais encontram-se nas Tabelas 7.32 e na Tabela II (37) do Anexo II.

Os resultados da Figura 7.36 indicam que, em relação à tração, não há diferenças entre as argamassas CHA, CHB e CV, para o traço 1:1:6.

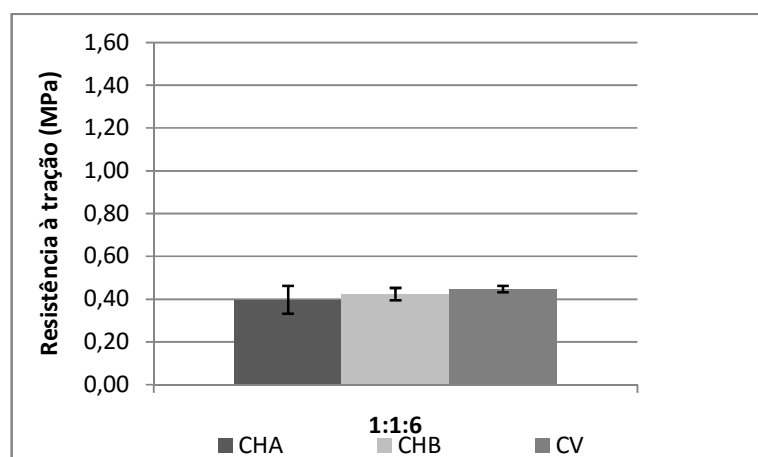


Figura 7.36 - Resistência à tração na flexão aos 28 dias da argamassa 1:1:6

Os resultados da Figura 7.37 indicam que, em relação à tração, não há diferenças significativas entre as argamassas CHB e CV; sendo diferente, apenas, na argamassa CHA, para o traço 1:0,33:3,7.

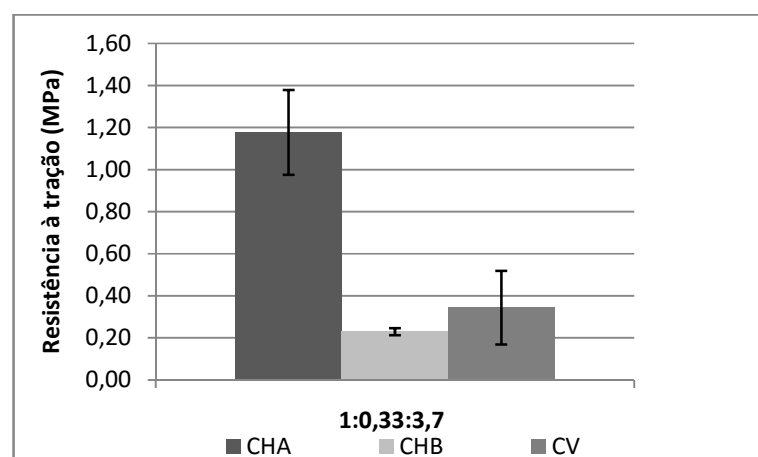


Figura 7.37 - Resistência à tração na flexão aos 28 dias da argamassa 1:0,33:3,7

Os resultados da Figura 7.38 indicam que, em relação à tração, as três argamassas, CHA, CHB e CV, apresentam comportamentos diferentes para o traço 1:1:7.

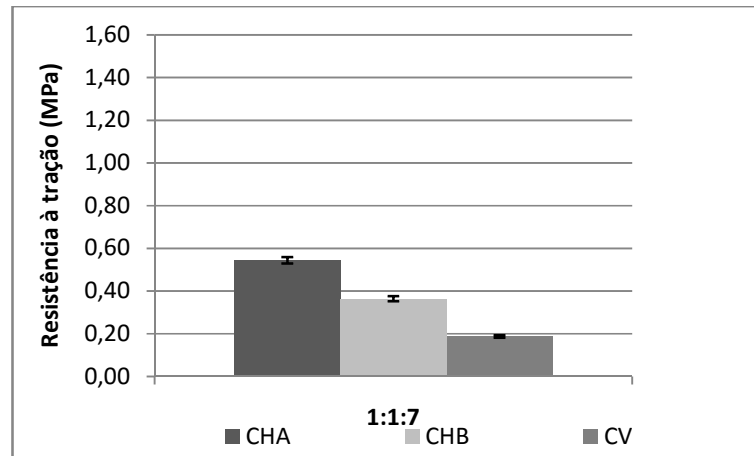


Figura 7.38 - Resistência à tração na flexão aos 28 dias da argamassa 1:1:7

Os resultados da Figura 7.39 indicam que, em relação à tração, as três argamassas, CHA, CHB e CV, apresentam comportamentos diferentes para o traço 1:4:14.

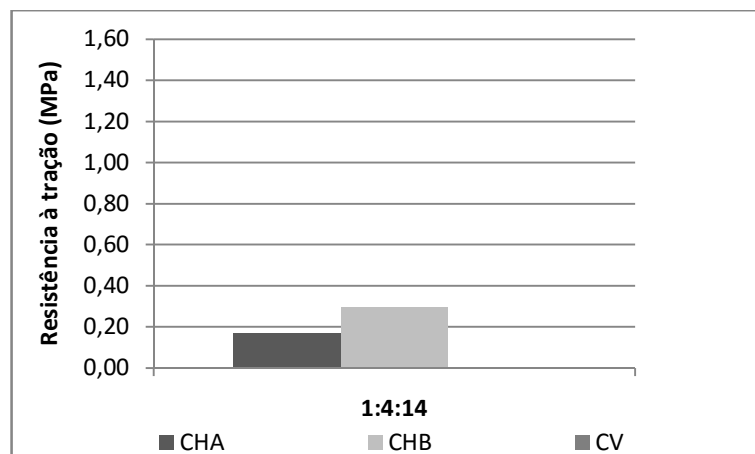


Figura 7.39 - Resistência à tração na flexão aos 28 dias da argamassa 1:4:14

Procedeu-se a análise dos efeitos do conjunto das variáveis nos resultados da resistência à tração das argamassas, tendo em conta as variáveis discriminadas na Tabela 7.2. Lembra-se que uma variável de comparação (CV para o tipo de argamassa e 1:4:14 para o traço) foi escolhida para fins de equacionar a probabilidade de não haver diferença significativa entre as mesmas.

Tendo por base as variáveis e suas interações mostradas na Tabela 7.2, os resultados que se apresentam na Tabela 7.10 (resistência à tração na flexão aos 28 dias) indicam haver efeito redutor na resistência à tração na flexão do aglomerante CHB, quando comparado com o aglomerante CV.

Tabela 7.10 -Resultados da análise da tração na flexão aos 28 dias

	Nível do efeito	Coluna	Tração	Tração	Tração	Tração	-95.00%	+95.00%
			Param.	Std.Err	t	p	Cnf.Lmt	Cnf.Lmt
Intercept		1	0,381389	0,014109	27,03091	0,000000	0,352269	0,410509
Arg	CHA	2	0,190278	0,019954	9,53599	0,000000	0,149095	0,231460
Arg	CHB	3	-0,053056	0,019954	-2,65894	0,013738	-0,094238	-0,011873
traço	1:1:6	4	0,040833	0,024438	1,67089	0,107735	-0,009604	0,091271
traço	1:0,33:3,7	5	0,201944	0,024438	8,26350	0,000000	0,151507	0,252382
traço	1:1:7	6	-0,016944	0,024438	-0,69336	0,494739	-0,067382	0,033493
Arg*traço	1	7	-0,215833	0,034561	-6,24504	0,000002	-0,287163	-0,144503
Arg*traço	2	8	0,403056	0,034561	11,66224	0,000000	0,331726	0,474385
Arg*traço	3	9	-0,011389	0,034561	-0,32953	0,744612	-0,082719	0,059941
Arg*traço	4	10	0,054167	0,034561	1,56729	0,130139	-0,017163	0,125497
Arg*traço	5	11	-0,300278	0,034561	-8,68841	0,000000	-0,371608	-0,228948
Arg*traço	6	12	0,051944	0,034561	1,50299	0,145887	-0,019385	0,123274

Verifica-se também na Tabela 7.10 que não há efeito redutor proveniente da comparação dos traços com o traço 1:4:14. Além do efeito isolado dessas variáveis pode-se observar interações significativas entre o tipo de aglomerante CHA com o traço 1:1:6 e 1:0,33:3,7; embora este ultimo traço não tenha se demonstrado diferente na análise de efeitos individuais das variáveis, a sua interação com o tipo de aglomerante CHA acresce significativamente a resistência à tração na flexão. O efeito do tipo de aglomerante pode ser resultante em parte da finura da sua composição e das reações possíveis. O aglomerante CHA não contém cinza volante, sendo menos reativa cal hidratada com adição de cinza volante; promovendo assim um menor efeito de fechamento dos vazios da fase pasta. O efeito redutor do traço 1:1:6 se dá por este na verdade apresentar uma maior proporção de volume de agregados aglomerantes ou seja 1:3; constituindo um esqueleto menos fechado e com menor presença de materiais finos entre os grãos do agregado. Também há interações significativas entre o tipo de aglomerante CHB com o traço 1:0,33:3,7. O efeito do tipo de aglomerante pode ser resultante em parte da finura da sua composição e das reações possíveis. O efeito redutor da resistência à tração na flexão aos 28 dias, tal como descrito sobre a resistência à compressão para esta mesma dosagem 1:0,33:3,7, apresenta a menor relação agregado aglomerante (1:2,78) e pode ter sua origem pela adição da cal CHB neste traço, o qual, por já ser mais rico em aglomerante, determina uma menor reação até a idade dos 28 dias, isso quer dizer que há menos reatividade até a idade dos 28 dias; pois a cinética da reação da cinza com a cal é lenta, onde, normalmente, só é possível observar sua evolução após 63 ou 90 dias, desta forma, o efeito redutor em relação às outras composições

pode ser maior aos 28 dias, pois na mistura de cimento e cal, a cal pode ganhar resistência por simples carbonatação, enquanto as cinzas ainda continuam latentes na mescla da argamassa.

f) Avaliação da resistência aos sais solúveis nos corpos de prova das argamassas

A observação do desempenho dos corpos de prova mostra que as argamassas de reabilitação (traços 1:1:7 e 1:4:14) apresentam manifestações eflorescentes bem mais tardias que nas argamassas de traços 1:1:6 e 1:0,33:3,7. Verifica-se que nos corpos de prova constituídos pelas argamassas de traços 1:1:7 e 1:4:14 as primeiras manifestações de eflorescências ocorrem após 48 horas do início do ensaio; até então, observa-se apenas a ascensão capilar da água sem nenhuma alteração superficial além da umidade aparente. Este retardamento na formação de cristais de sal no exterior destas argamassas e deve, basicamente, ao maior volume de poros e à capacidade estanque (determinados respectivamente pelo uso de incorporador de ar e hidrofugantes); os quais contribuem para a retenção dos sais no interior dos poros, longe da superfície externa, e possibilitam a difusão de vapor de água para o exterior do reboco. Portanto, a dosagem de argamassas de reabilitação com o uso de cimento, cal e adjuvantes, caracteriza um reboco que, durante o período de dois anos em observação, apresenta resultados bastante satisfatórios.

Estas duas argamassas (traços 1:1:7 e 1:4:14), de cimento e de cal, apresentam inconvenientes que acabam por prejudicar suas utilizações. Na argamassa de reboco de cimento, por ser mais impermeável, acaba represando, não somente os sais, mas principalmente a água, determinando o desprendimento do revestimento em placas. Já na argamassa de cal; que não aprisiona a água em seu interior, transportando-a, por via capilar ao exterior, acaba carregando também os sais até a região de evaporação próxima à superfície, onde ocorrem a cristalização e a consequente expansão destes sais, gerando manifestações de eflorescências e criptoflorescências e o esboroamento do reboco [73].

Portanto, as argamassas de traços 1:1:7 e 1:4:14 combinam e conciliam as reações positivas das argamassas de cimento e de cal, resultando no que se poderia considerar um reboco mais adequado ao objetivo do trabalho; pois possuem, em seus poros, a propriedade de reter a água na forma líquida, assim como os sais; mas, ao mesmo tempo permitir, por sua grande permeabilidade ao vapor de água, uma secagem mais eficiente do conjunto. Esta combinação, juntamente com o uso dos adjuvantes, não restringe a umidade ascendente nem elimina os sais; a parede continua úmida e os sais continuam a cristalizar, porém propicia um retardamento das manifestações eflorescentes na superfície aparente das paredes (eflorescências), pois estas

cristalizações ocorrem em áreas invisíveis no interior dos poros do reboco de recuperação (criptoflorescências), sem prejuízos mais gravosos ao substrato nem à alvenaria.

Constata-se também que nos corpos de prova posicionados verticalmente, as eflorescências ocorrem mais acentuadamente no topo dos corpos de prova; isto se deve ao fato de o topo vertical ter uma área menor do que o topo horizontal, o que determina uma perda mais acelerada da água, quer pela evaporação, quer pela força gravitacional que atua de forma oposta à ascensão da água capilar. Verificam-se, em ambas as posições; que o início das eflorescências se dá nas arestas dos corpos de prova, região de mais rápida secagem, onde ocorre, primeiramente, a transição de úmido para seco, conforme se pode observar nas Figuras 7.8 e 7.9.

7.4 - Ensaio nas argamassas de reabilitação aplicadas nos painéis experimentais em laboratório

7.4.1 - Considerações gerais

Os painéis experimentais executados em laboratório foram desenvolvidos em duas paredes de alvenaria de tijolos maciços assentes com argamassa em volume de cimento, cal hidratada e areia média-fina (1:1:6), usual na região de Pelotas. Cada parede possui a largura de 1,50m, altura total de 1,10m e 0,11m de espessura (sem reboco) e foi executada dentro de uma tina metálica (contentor de água), com o objetivo de simular o local de contato da alvenaria com o solo. Cada face das paredes foi dividida em três áreas de iguais dimensões, isoladas por juntas de madeira, de modo a evitar o contato entre as mesmas, totalizando seis quadros independentes por painel, três de cada lado. As quatro faces foram chapiscadas (salpicadas) com cimento e areia média, traço 1:4, cobrindo 50% da superfície, suficiente para garantir a aderência do revestimento e manter o contato deste com a base, evitando, assim, a formação de uma camada isolante, que impeça o afloramento superficial da umidade e dos sais solúveis. Sobre cada uma das quatro faces dos dois painéis foi aplicada uma das quatro argamassas propostas, dividida nas suas três variações, conforme dosagens quantitativas de aglomerantes, agregados e adjuvantes (vide 5.2). Cada face das paredes foi chamada, conforme a posição geográfica, de Norte e Sul, apenas para identificar para que lado estão voltadas (Figuras 7.40, 7.41, 7.42, 7.43).

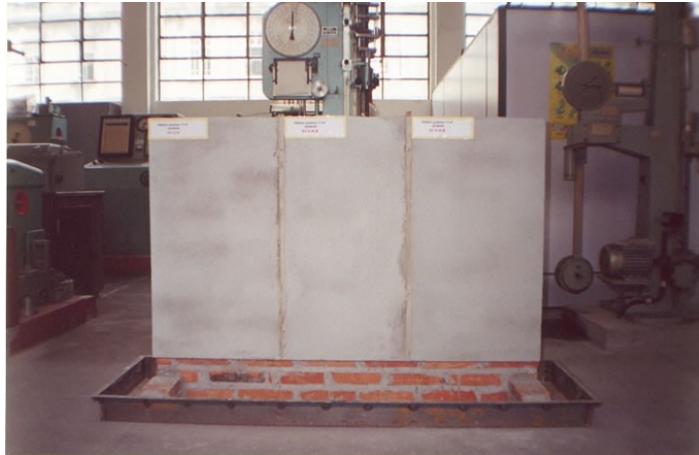


Figura 7.40 -Painel 1: Face Norte, rebocado com a argamassa 1:1:6 (CHA-CHB-CV)



Figura 7.41 -Painel 1: Face Sul; rebocado com a argamassa 1:0,33:3,7 (CHA-CHB-CV)



Figura 7.42 -Painel 2: Face Norte; rebocado com a argamassa 1:1:7 (CHA-CHB-CV)



Figura 7.43 -Painel 2: Face Sul; rebocado com a argamassa 1:4:14 (CHA-CHB-CV).

Os revestimentos aplicados nos painéis não receberam cuidados especiais durante o processo de aplicação, secagem e cura, para que as reações fossem mais próximas das argamassas de revestimento aplicadas nas construções reais.

As partes inferiores dos painéis, que ficam dentro das tinas, não receberam revestimentos de reboco até a altura de 0,20m (0,10m dentro da tina e 0,10m acima deste nível). O objetivo desta zona é simular a área da alvenaria que fica em contato direto com o solo, conforme observado nas construções estudadas. É claro que o modelo não apresenta as condições plenas para a avaliação e comparação das reações sofridas pelas paredes dos edifícios; porém, como a intenção é a observação e medição dos comportamentos das argamassas em relação à presença de água e sais solúveis, podemos considerar que o modelo atendeu satisfatoriamente às análises.

Com o objetivo de simular a ascensão capilar da água do solo à base da alvenaria, a avaliação do comportamento das argamassas de reboco foi realizada em duas etapas distintas. Na primeira etapa, as tinas foram preenchidas com água pura, até a altura de 0,09m, um centímetro abaixo do limite inferior das zonas revestidas dos painéis, impedindo que houvesse contato da água diretamente com o revestimento e propiciando uma ascensão capilar apenas pela base da alvenaria. Paralelamente a esta etapa, em que as paredes foram mantidas em contato permanente com a água contida nas tinas, foram avaliadas as condições de temperatura e umidade relativa do ar e suas influências nos dados observados em cada uma das faces dos painéis.

Após a realização desta etapa, retirou-se a água contida nas tinas e esperou-se a total secagem dos painéis. Em seguida partiu-se para a segunda etapa das análises. Nesta etapa, o objetivo era a observação das prováveis manifestações eflorescentes. Para tal, foi introduzida nas tinas, na mesma altura anteriormente usada, uma solução de água com 5% de sulfato de sódio. Como na

primeira etapa, as condições termohigrométricas do ambiente foram consideradas, constituindo importante subsídio para as anomalias registradas.

No final do período de observação, tomou-se a argamassa de melhor comportamento, ou seja, aquela que não apresentou nenhuma manifestação visível de umidade ascensional capilar e de formações salitrosas, e aplicou-se esta argamassa como reboco em dois painéis experimentais no próprio edifício estudado. Estes painéis foram executados em duas zonas distintas, escolhidas entre aquelas de onde foram retiradas as amostras de reboco para as análises de umidade, sais e reconstrução de traço: uma no exterior do prédio, em local de forte insolação, ventilação e baixa concentração de umidade, e outra em local interior (parede da cave), com baixa renovação de ar, nenhuma incidência solar e elevada concentração de umidade. Nestas duas áreas, tão diferentes, foi aplicada a argamassa de revestimento. Para tal, foi removido totalmente o reboco original, após o que a alvenaria foi devidamente escovada para retirar todas as partes soltas, e aplicou-se chapisco de forma idêntica (dosagem e recobrimento) ao utilizado nos painéis experimentais desenvolvidos no laboratório. A mão de obra não observou nenhum cuidado especial, além daqueles dispensados em obras de boa qualidade, assim como, não houve cuidados durante o período de secagem e cura, recebendo o novo reboco tratamento idêntico ao aplicado na generalidade das obras atuais, desta forma contribuindo para um comportamento final mais próximo da realidade.

7.4.2 - Ensaios desenvolvidos nas argamassas aplicadas nos painéis experimentais em laboratório

a) Ensaio de aderência ao suporte

O ensaio de resistência de aderência à tração foi desenvolvido segundo a metodologia por GEYER (1994) [72], utilizando o equipamento desenvolvido pela EPUSP (Escola Politécnica da Universidade de São Paulo), conforme abaixo detalhado (Figura 7.44):

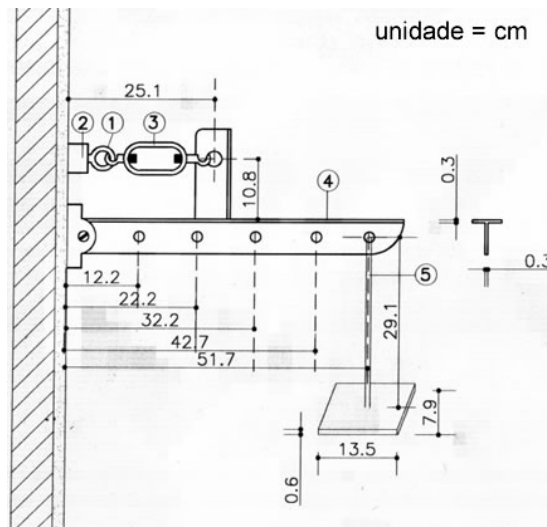


Figura 7.44 - Equipamento para ensaio de aderência ao suporte

Nomenclatura das partes do equipamento:

- 1- parafuso argola
- 2- pastilha de alumínio
- 3- esticador ou “prisioneiro”
- 4- dispositivo de arrancamento, contendo 5 furos donde poderá ser aplicado o suporte para aplicação de pesos
- 5- suporte para aplicação de pesos e/ou água

Metodologia de execução do ensaio

O ensaio consiste em se cortar os corpos de prova (CORPO DE PROVA), seccionando toda a espessura do revestimento de argamassa aplicado, até a interface com a base de tijolos, com o auxílio de uma serra copo diamantada com 5cm de diâmetro interno, acoplada numa furadeira elétrica refrigerada.

Após o corte dos corpos de prova promove-se a limpeza da superfície dos mesmos a fim de eliminar grãos soltos ou poeiras. Quando os corpos de prova já estão limpos e secos cola-se sobre eles, com adesivo de secagem ultrarápido (tipo araldite), uma pastilha de alumínio e aguardam-se 2 a 3 horas para a execução do ensaio.

O procedimento do ensaio pode ser detalhado da seguinte forma:

- ⇒o acoplamento do aparelho ao corpo de prova dá-se através de um parafuso com argola
- ⇒esta argola é rosqueada na pastilha de alumínio

⇒o equipamento é fixado ao parafuso com argola através de um esticador no dispositivo de arrancamento

⇒pela aplicação de pesos no equipamento, através de discos de 1kg, dá-se o arrancamento do corpo de prova. Neste momento é registrado o valor da carga aplicada sobre ele e a região onde se deu a ruptura.

Neste ensaio, a aplicação de carga sobre o equipamento deve ser efetuada, preferencialmente, no furo número 5 (mais distante do corpo de prova), colocando-se uma placa de 0,5kg a cada 10 segundos ou de 1kg a cada 20 segundos (método usado), que resulta numa taxa aproximada de 0,1 kg/cm², para o furo número 5 (Figuras 7.45 e 7.46).



Figura 7.45 - Ensaio de aderência ao suporte



Figura 7.46 - Ensaio de aderência ao suporte

b) Ensaio de permeabilidade à água

Para a averiguação da permeabilidade à água superficial das argamassas propostas e aplicadas nos painéis laboratoriais foi utilizado o ensaio do método do cachimbo (POLISSENI, 1986) [11](Figuras 7.47 e 7.48).

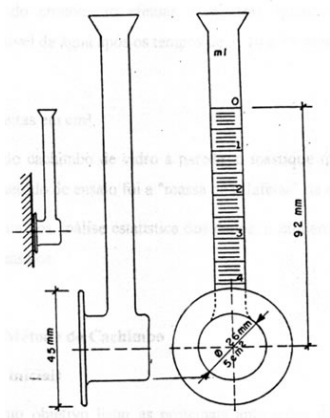


Figura 7.47 - Equipamento para ensaio de permeabilidade à água

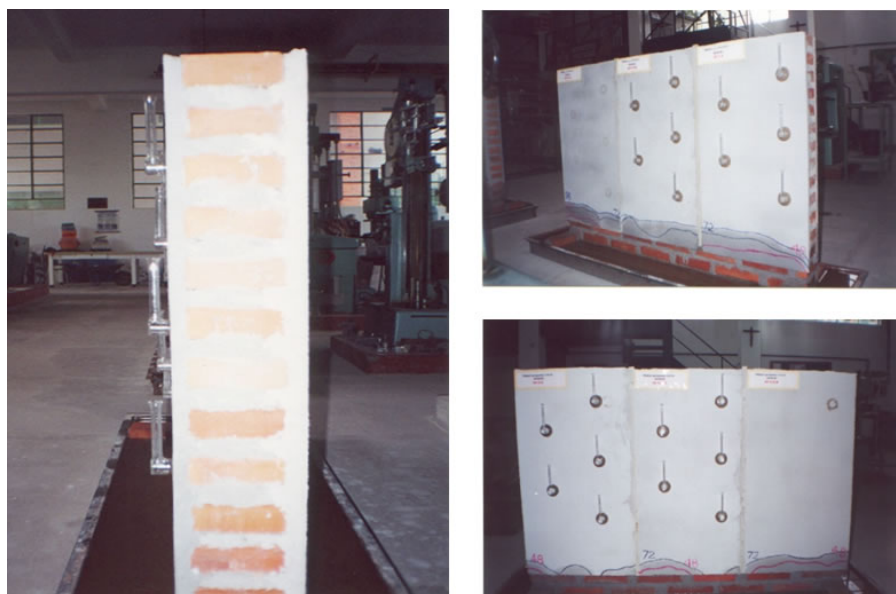


Figura 7.48 - Ensaio de permeabilidade à água

O objetivo do método é a determinação em laboratório ou “*in situ*” da avaliação da capacidade impermeabilizante ou de repelência à água de um revestimento de parede, medida através da sua propriedade de absorção de água.

A medida da absorção de água de um revestimento é realizada sob uma pressão inicial originada por uma coluna de água de 92mm de altura, que corresponde à ação estática do vento com velocidade de aproximadamente 0,28 m/s calculada por meio da equação (36), onde a altura da coluna de água corresponde à pressão (kgf/m^2) exercida por esta coluna (1mm de coluna de água corresponde a $1\text{kgf}/\text{m}^2 \cong 10\text{Pa}$).

$$Q = v^2/16$$

(36)

onde:

Q = pressão estática do vento (kgf/m²)

v = velocidade do vento (m/s)

A equação (1.1) expressa em Pascal será $\Rightarrow Q = 0,625 v^2$

onde:

Q = pressão estática do vento (Pa)

v = velocidade do vento (m/s)

As principais aplicações do método são:

\Rightarrow avaliação da capacidade impermeabilizante de um revestimento de parede, comparando resultados de ensaios obtidos em laboratório e em obra;

\Rightarrow avaliação da durabilidade dos revestimentos de parede relacionada com a sua capacidade impermeabilizante;

\Rightarrow comparação da eficácia inicial relativa à capacidade impermeabilizante entre diferentes produtos de revestimentos de parede.

Aparelhagem:

\Rightarrow um cachimbo de vidro, confeccionado conforme recomendações do Centre Scientifique et Technique de la Construction - CSTC;

\Rightarrow uma pisseta plástica (frasco lavador) com capacidade de 500ml;

\Rightarrow um cronômetro.

Existe ainda a necessidade de se ter uma quantidade de mastique; usado para fixar o cachimbo de vidro à parede, o qual deve ter as características de não endurecer e nem ficar grudado à parede ou ao cachimbo de vidro, permitindo assim, a remoção do equipamento, sem comprometer nem ao cachimbo bem como ao revestimento.

A realização do ensaio de absorção de água de um revestimento de parede pelo Método do Cachimbo passa pelas seguintes etapas:

\Rightarrow modelar com as mãos uma porção de mastique (forma aproximadamente cilíndrica) e envolver o bordo do cachimbo de vidro;

\Rightarrow fixar o cachimbo de vidro na parede revestida, comprimindo-o contra a mesma;

⇒com o auxílio da pisseta plástica (frasco lavador), encher o cachimbo de vidro com água potável até à referência do nível zero;

⇒com o auxílio do cronômetro efetuar e registrar, quando houver, as leituras da diminuição do nível de água após intervalos de 5, 10 e 15 minutos.

Observações:

⇒as leituras são feitas em cm^3 ;

⇒para a fixação do cachimbo de vidro à parede, o mastique que melhor se adaptou as exigências do método de ensaio foi a cera de abelha misturada com 30% de graxa;

⇒para se obter uma boa análise estatística dos dados, o número de amostragem deve ser de trinta locais diferentes de ensaios por paramento analisado.

c) Ensaio para determinação do teor de sais nas amostras extraídas dos painéis montados em laboratório

O ensaio para determinação e identificação de sais solúveis existentes nas amostras de reboco extraídas dos painéis montados em laboratório segue, conforme descrito em 5.2.3(d)4, a norma NBR 9917/1987 [53].

As amostras das argamassas dos revestimentos de reboco aplicados nas 12 faixas que constituem os painéis foram extraídas com serra copo, com o objetivo de identificação de contaminação por sais solúveis, após os painéis terem estado submetidos à ação de água contendo 5% de sulfato de sódio durante um período de 24 meses. Mesmo aqueles rebocos que não apresentaram, visualmente, manifestações de eflorescências e/ou criptoflorescências foram submetidos ao ensaio para determinar a retenção de sais no seu interior.

7.4.3 - Resultados dos ensaios nas argamassas aplicadas nos painéis experimentais em laboratório

a) Aderência ao suporte

Os diferentes tipos de argamassas aplicados em painéis foram ensaiados para averiguação da aderência ao suporte conforme descrito em 7.5.1.2(a) e os resultados obtidos estão relacionados nas Figuras 7.49 a 7.52, nas Tabelas 7.31 e 7.32 e na Tabela II (38) do Anexo II.

Os resultados da Figura 7.49 indicam que, em relação à aderência ao suporte, não há diferenças entre as argamassas CHA, CHB e CV, para o traço 1:1.6.

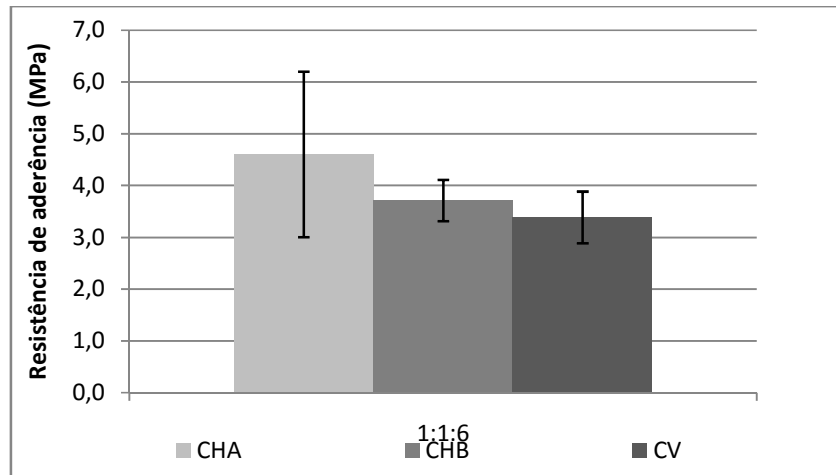


Figura 7.49 - Aderência ao suporte da argamassa 1:1:6

Os resultados da Figura 7.50 indicam que, em relação à aderência ao suporte, não há diferenças entre as argamassas CHA, CHB e CV, para o traço 1:0,33:3,7.

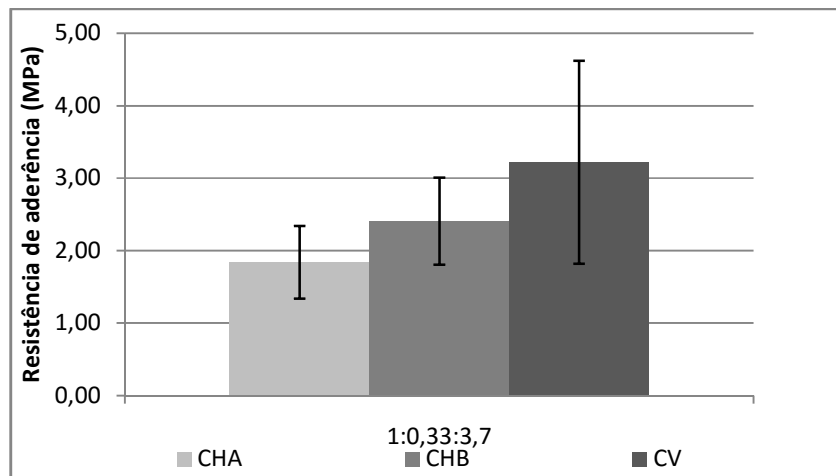


Figura 7.50 - Aderência ao suporte da argamassa 1:0,33:3,7

Os resultados da Figura 7.51 indicam que, em relação à aderência ao suporte, não há diferenças substanciais entre as argamassas CHB e CV, sendo diferente, apenas, na argamassa CHA, para o traço 1:1:7.

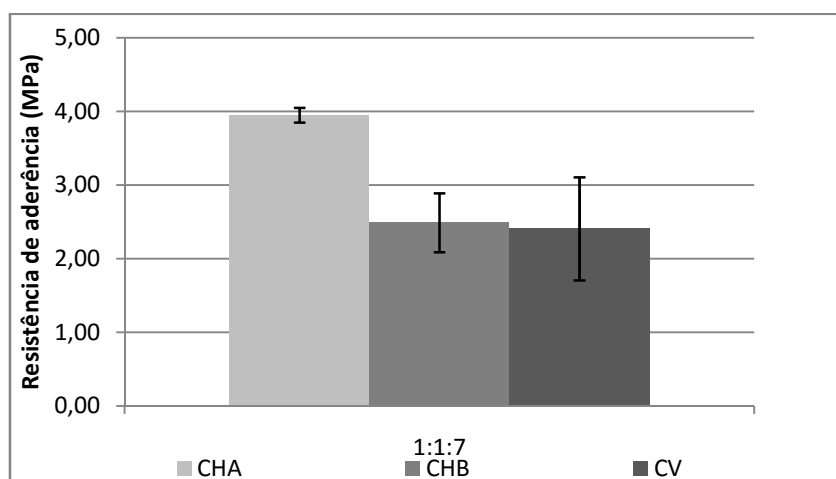


Figura 7.51 - Aderência ao suporte da argamassa 1:1:7

Os resultados da Figura 7.52 indicam que, em relação à aderência ao suporte, as três argamassas, CHA, CHB e CV, apresentam comportamentos diferentes para o traço 1:4:14.

A análise de variância dos resultados da aderência ao suporte teve por base as variáveis discriminadas na Tabela 7.2.

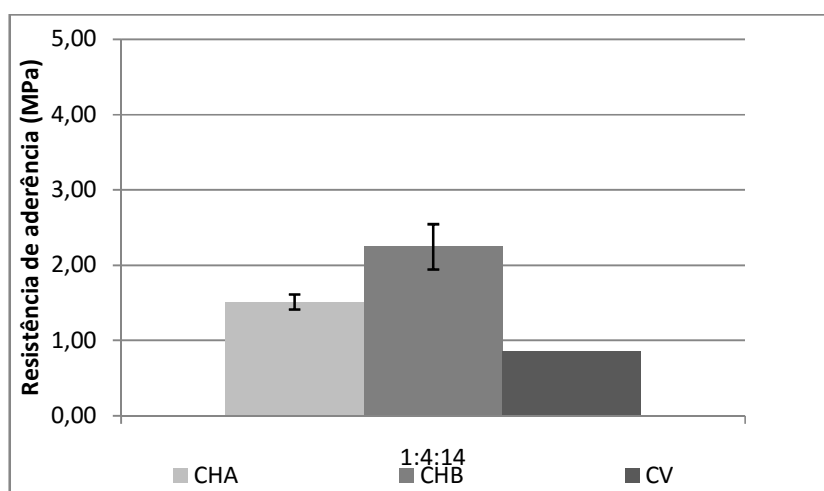


Figura 7.52 - Aderência ao suporte da argamassa 1:4:14

Os resultados das análises que se apresentam na Tabela 7.11, que avalia a resistência de aderência ao suporte, mostra interação, a maior, entre o traço 1:1:6 (linha 4) e o traço 1:4:14, quando ocorre o aumento da resistência de aderência ao suporte, indicando, para este caso, que o grande acréscimo do consumo de agregado (2,33 vezes a mais que o traço 1:1:6) é compensado pelo aumento do consumo de cal; havendo, portanto, um equilíbrio bastante similar entre os aglomerantes e os agregados nos dois traços comparados; ou seja, uma proporção total de 3,0

para o traço 1:1:6 e uma proporção total de 2,8 para o traço 1:4:14 (as quais, pela proximidade dos valores, podemos considerar desprezíveis). Portanto, a diferença de resistência a aderência ao suporte pode advir do contato da argamassa com o substrato, entremado por um chapisco mais eficiente e que não corresponda, diretamente, a estrutura interna da argamassa. Pode-se concluir, por esta vertente, devido ao fato de que o traço 1:1:7, pouco diferencia-se do traço 1:1:6 e, assim como este, a proporção entre aglomerantes e agregados, é muito semelhante a razão encontrada no traço 1:4:14 e, para o traço 1:1:7, não há probabilidade que indique tal diferença de aderência ao suporte.

De todas as variáveis em cinza na tabela, com as probabilidades $p = 0,000008$, (em cinza na linha 4) indica que, em relação a resistência a aderência ao suporte, existe um traço (1:1:6) que se diferencia do traço 1:4:14, bem como a probabilidade $p = 0,005159$ (em cinza na linha 8) e correspondente ao traço 1:1:6, identificam diferenças na aderência ao suporte para este traço (1:1:6) e o traço de referência 1:4:14.

Na tabela 7.11, encontramos diferenças significativas entre as variáveis comparadas, as quais, por meio dos parâmetros de comparação, ora elas aumentam a resistência de aderência ao suporte, ora elas diminuem esta resistência em relação às variáveis de comparação CV e 1:4:14, indicando que, em função do tipo de argamassa e dos traços e, principalmente, da maior efetividade da zona de contato (chapisco), determinam uma maior aderência da argamassa ao substrato; o que implica, diretamente, numa maior resistência de aderência ao suporte.

Na análise efetuada apenas o traço 1:1:6 apresenta variação em relação ao traço 1:4:14, com 99,9% de certeza nesta diferenciação e, no gráfico, os intervalos possíveis de variação, coeficientes de confiança, são semelhantes, individualmente, indicando uma variação de mesma extensão (entre -95% e +95%), entre as argamassas CHA, CHB e CV, confirmando similaridade na composição das três argamassas.

Os resultados mostram resistências de aderência à tração diferentes entre as doze argamassas estudadas, embora; o substrato e o chapisco, sejam comuns a todos os rebocos utilizados. Verifica-se que para a argamassa de uso padrão na região, com traço 1:1:6, a aderência ao substrato é bastante mais elevada devido à proporção entre os aglomerantes e agregados e, principalmente, ao teor de cimento, que propicia um maior poder de colagem e, conseqüentemente, uma maior aderência. Constata-se também que o traço que utiliza apenas cal hidratada apresenta uma maior resistência de aderência em relação ao uso, quer da cal hidratada com adição de cinzas, quer da cal virgem (extinta no local), sucessivamente.

Na argamassa com traço 1:0,33:3,7, que possui uma relação de três partes de cimento para uma parte de cal, no que se refere aos aglomerantes, e uma redução de 2,3 partes de agregado, em comparação com a argamassa considerada como padrão, associada ao uso de incorporador de ar; reduzem-se consideravelmente os valores das resistências de aderência ao suporte devido ao acréscimo do volume de vazios (porosidade), que torna a argamassa menos coesa e com maior possibilidade de desagregação interna, quando sujeita a esforços de tração. Verifica-se também que a aderência é crescente, no que se refere à cal empregada; ou seja, possui um valor menor para a cal hidratada, um pouco maior para a cal hidratada com adição de cinzas e quase o dobro da primeira, quando se usa a cal virgem. A variação de resistências à aderência depende muito do substrato e, para substratos similares, da capacidade de retenção de água da argamassa trabalhada; ou seja, da não perda da água da argamassa pela sucção de água pelo substrato. A manutenção da água no interior da argamassa reduz as retrações e pela perda da água, mantendo um contato de aderência mais efetivo entre as partes. Este aumento da aderência pode ser considerado pela maior capacidade de retenção da água pela argamassa em relação à possível sucção promovida pelo substrato, determinando uma melhor e mais completa reação cura e ancoragem (aderência) ao substrato. Portanto, podemos relacionar a aderência, em substratos iguais, com o poder de retenção da água das argamassas trabalhadas. Para as argamassas de traços 1:1:7 e 1:4:14 verifica-se que a argamassa 1:1:7 apresenta uma resistência de aderência à tração com valores inferiores à da argamassa de traço 1:1:6 e superiores à da argamassa de traço 1:0,33:3,7. Estes valores intermédios indicam nitidamente que a relação de traço mais próximo ao traço padrão reforça o poder de aderência, onde a utilização de uma parte a mais de agregado; bem como, o emprego de adjuvante (incorporador de ar), acaba por determinar um acréscimo da porosidade, o que não determina grandes prejuízos às características de resistência mecânica do revestimento. Nota-se também que, como na argamassa padrão, há um decréscimo de resistência de aderência à tração à medida que se substitui a cal hidratada por cal hidratada com adição de cinzas volantes e que, ao substituir a cal hidratada com cinzas volantes por cal virgem, a redução da resistência de aderência à tração também é verificada; indicando que nestes dois casos (1:1:6 e 1:1:7), que há menor retenção de água na argamassa (transferência ao substrato), determinando reações químicas incompletas e retrações, reduzindo o poder de aderência ao suporte.

Na argamassa de reabilitação, de traço 1:4:14, se identificam resistências de aderência ao suporte à menor que aquelas atingidas pelas dosagens anteriores. Nota-se, neste caso, que a argamassa que utiliza cal hidratada; apresenta um valor menor que a argamassa que utiliza cal hidratada com adição de cinzas volantes; mas maior que aquela que utiliza cal virgem. Como nestas utiliza-se uma quantidade de cal quatro vezes maior que a quantidade de cimento e a quantidade de agregado utilizado são duas vezes a maior do que a proposta para o outro traço

1:1:7, é aceitável a brusca redução à resistência de aderência à tração; devida, basicamente, a uma redução da interconexão dos grãos de agregado pela matriz cimentícia, causada pelo excesso de agregados e pela menor resistência adesiva determinada pelo menor consumo de cimento em relação à cal (1:4). Estes fatores, adicionados ao uso do incorporador de ar, determinam uma argamassa porosa e bem menos resistente que as anteriores, ficando sua utilização, em revestimentos de rebocos reais, bastante prejudicada, pelo menos no que se refere à aderência ao substrato.

Portanto, com os resultados obtidos, fica evidente a vantagem da utilização da argamassa de reabilitação de traço 1:1:6, pelo menos no que tange à resistência de aderência ao suporte.

Tabela 7.11 - Resultados da análise da resistência de aderência ao suporte

	Nível do efeito	Coluna	Aderência	Aderência	Aderência	Aderência	-95.00%	+95.00%
			Param.	Std.Err	t	p	Cnf.Lmt	Cnf.Lmt
Intersecção		1	2.718970	0.120448	22.57388	0.000000	2.47038	2.967562
Arg	CHA	2	0.257477	0.170339	1.51156	0.143703	-0.09408	0.609039
Arg	CHB	3	-0.006776	0.170339	-0.03978	0.968599	-0.35834	0.344786
traço	1:1:6	4	1.178973	0.208621	5.65126	0.000008	0.74840	1.609546
traço	1:0,33:3,7	5	-0.230374	0.208621	-1.10427	0.280425	-0.66095	0.200199
traço	1:1:7	6	0.230374	0.208621	1.10427	0.280425	-0.20020	0.660947
Arg*traço	1	7	0.447197	0.295035	1.51574	0.142646	-0.16173	1.056119
Arg*traço	2	8	-0.907945	0.295035	-3.07741	0.005159	-1.51687	-0.299022
Arg*traço	3	9	0.745328	0.295035	2.52623	0.018537	0.13641	1.354250
Arg*traço	4	10	-0.182944	0.295035	-0.62008	0.541051	-0.79187	0.425979
Arg*traço	5	11	-0.074533	0.295035	-0.25262	0.802710	-0.68346	0.534390
Arg*traço	6	12	-0.453972	0.295035	-1.53871	0.136958	-1.06290	0.154950

b) Permeabilidade à água

Os resultados da determinação da permeabilidade à água superficial pelo ensaio do Método do Cachimbo, conforme descrito em 7.5.1.2(b) encontram-se nas Figuras (7.53 a 7.56), na Tabela 7.12 e nas Tabelas II (39 a 50) e Figuras II (31 a 34) do Anexo II.

Este ensaio toma como referencial a argamassa padrão de traço 1:1:6 utilizada na região de Pelotas. Os comportamentos das demais argamassas CHA, CHB e CV são avaliados através de um coeficiente de eficácia, que traduz o desvio do respectivo valor da permeabilidade à água superficial aos 15 minutos em relação ao valor do mesmo parâmetro verificado na argamassa

padrão. O coeficiente de eficácia é considerado positivo quando o valor da permeabilidade à água superficial é mais reduzido do que o da argamassa padrão.

Na Tabela 7.12 estão compilados, de forma resumida, os valores médios de absorção de água e a eficácia das argamassas CHA, CHB e CV com traços 1:1:7, 1:0,33:3,7 e 1:4:14, em comparação com o traço 1:1:6.

Tabela 7.12 - Absorção de água superficial - Método do Cachimbo

Painel (argamassa)	Leitura Média (cm ³)			Eficácia (%)
	5 min.	10 min.	15 min.	
CHA (1:1:6)	0.38	0.56	0.72	-
CHB (1:1:6)	0.40	0.62	0.80	-
CV. (1:1:6)	0.38	0.60	0.82	-
CHA (1:0,33:3,7)	0.18	0.26	0.31	57
CHB (1:0,33:3,7)	1.36	1.74	1.96	-145
CV(1:0,33:3,7)	0.26	0.34	0.40	51
CHA (1:1:7)	0.46	0.61	0.71	1,4
CHB (1:1:7)	0.43	0.56	0.68	15
CV(1:1:7)	0.92	1.16	1.34	-63
CHA (1:4:14)	0.42	0.64	0.80	-11
CHB (1:4:14)	0.60	0.84	1.04	-30
CV(1:4:14)	1.08	1.68	2.16	-163

Os resultados da Figura 7.53 indicam que, em relação à permeabilidade, não há diferenças entre as argamassas CHA, CHB e CV, para o traço 1:1:6.

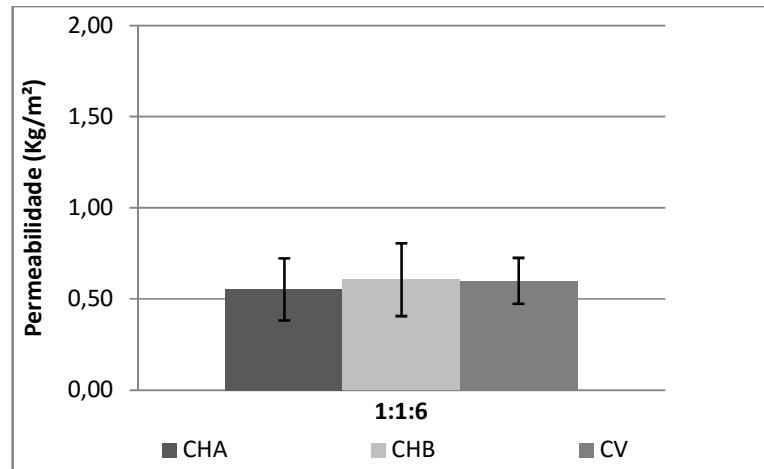


Figura 7.53 - Permeabilidade à água da argamassa 1:1:6

Os resultados da Figura 7.54 indicam que, em relação à permeabilidade à água, não há diferenças entre as argamassas CHA e CV; sendo diferente, apenas, na argamassa CHB, para o traço 1:0,33:3,7.

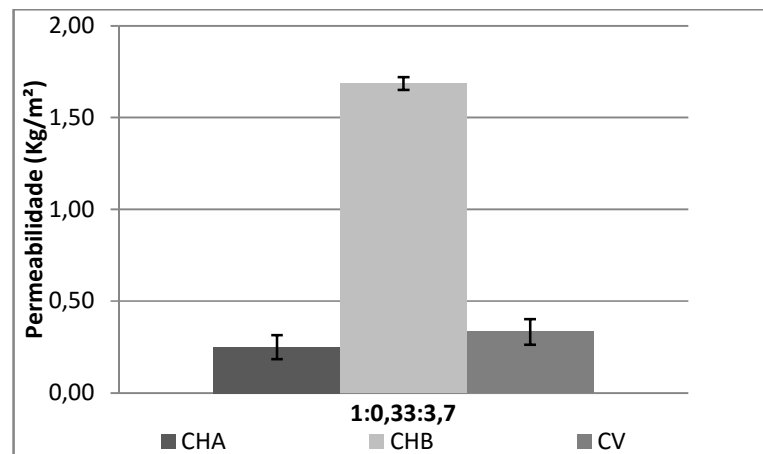


Figura 7.54 - Permeabilidade à água da argamassa 1:0,33:3,7

Os resultados da Figura 7.55 indicam que, em relação à permeabilidade à água, não há diferenças entre as argamassas CHA e CHB; sendo diferente, apenas, na argamassa CV, para o traço 1:1:7.

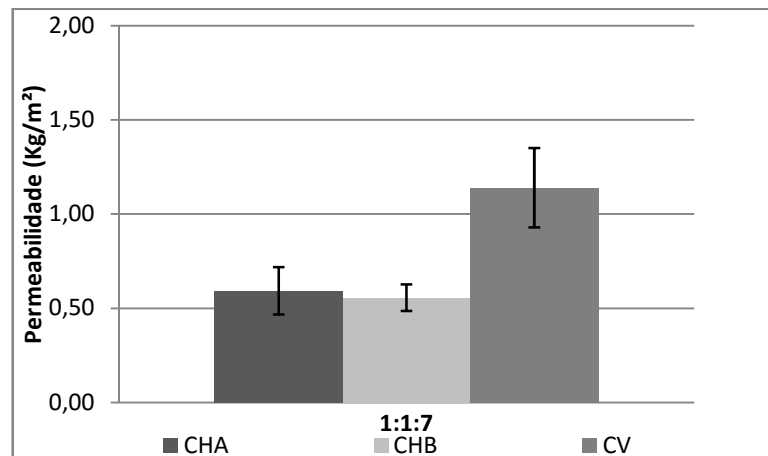


Figura 7.55-Permeabilidade à água da argamassa 1:1:7

Os resultados da Figura 7.56 indicam que, em relação a permeabilidade, não há diferenças entre as argamassas CHA e CHB; sendo diferente, apenas, na argamassa CV, para o traço 1:4:14.

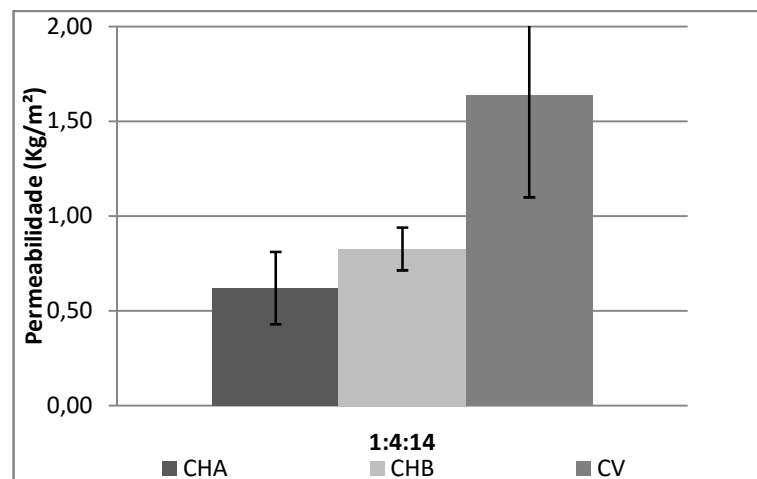


Figura 7.56-Permeabilidade à água da argamassa 1:4:14

Os resultados das análises que se apresentam na Tabela 7.13, que avalia a permeabilidade à água nas argamassas aplicadas nos painéis experimentais montados em laboratório, confirmam haver interação significativa entre a argamassa CHA com os traço 1:1:6; ou seja, contribui para o acréscimo da permeabilidade à água em comparação ao traço referência (1:4:14); havendo um significativo aumento da permeabilidade do traço 1:1:6 (linha 4) em relação ao traço 1:4:14, indicando que a argamassa usual na região (1:1:6) e o consumo de cal hidratada (CHA) na relação no traço, determinam uma característica de estanqueidade à água superficial menos eficiente que a argamassa CV de traço 1:4:14. A linha 12 mostra haver interações de segunda ordem da argamassa CHA com o traço da linha 4 (1:1:6).

A maior relevância de variação está indicada na linha 4 (traço 1:1:6) e sua interação com a argamassa CHA, expressa na linha 12, indicando que ao alterarmos a relação entre aglomerante e agregado, a maior para o agregado, mantendo-se a mesma classificação granulométrica deste e, utilizando a cal hidratada como aglomerante, existe a formação de um esqueleto com maior índice de vazios (poros), onde a água que contata a superfície do revestimento tem maior possibilidade de penetração e caminhamento interno, reduzindo a capacidade impermeável do reboco.

De todas as variáveis em cinza na tabela, com as probabilidades $p = 0,000040$, (em cinza na linha 4) indica que, em relação a permeabilidade à água, existe uma cal que se diferencia (CHA) de CV, bem como, com a probabilidade $p = 0,001676$ (em cinza na linha 12) e correspondente ao traço 1:1:6, identifica diferença na permeabilidade à água entre este traço (1:1:6) e o traço de referência 1:4:14. No que se refere ao uso de diferentes cales, podemos dizer que a cal hidratada (CHA) acaba por não preencher, de forma eficiente, os vazios entre os grãos do agregado, dando menor interconexão interna dos grãos de agregados pela matriz cimenticiada estrutura da argamassa, conseqüentemente, maior porosidade e menor resistência à permeabilidade à água; portanto, o uso de diferentes proporções entre as partes da mescla determinam, em relação à estrutura (esqueleto) uma menor ou maior probabilidade de poros, indicando que os espaços entre os agregados são mais ou menos eficientemente preenchidos pelos aglomerantes, determinando assim, maior ou menor resistência à permeabilidade superficial do revestimento em argamassa, neste caso, em comparação com o traço 1:4:14

Na tabela 7.13, encontramos diferenças significativas entre as variáveis comparadas; as quais, com base nos parâmetros de comparação, ora elas aumentam a resistência à permeabilidade à água, ora elas diminuem esta resistência em relação às variáveis CV e 1:4:14, indicando que, em função do tipo da cal utilizada e de sua proporção com o agregado, existe uma alteração no comportamento em relação à permeabilidade à água.

A argamassa CHA apresenta variação em relação a argamassa CV, com 99,9% de certeza nesta diferenciação e, o traço 1:1:6 é diferente de 1:4:14, também, com 99,9% de certeza. Os intervalos possíveis de variação, coeficientes de confiança, são semelhantes, individualmente, indicando uma variação de mesma extensão (entre -95% e +95%), entre as argamassas CHA e CV, confirmando, conforme as linhas 4 e 12, a menor capacidade de resistir a permeabilidade à água entre a argamassa CHA com traço 1:1:6 e a argamassa CV com traço 1:4:14.

Tabela 7.13 - Resultados da análise da permeabilidade

	Nível do Efeito	Coluna	Permea	Permea	Permea	Permea	-95.00%	+95.00%
			Param.	Std.Err	t	p	Cnf.Lmt	Cnf.Lmt
Intersecção		1	0.783889	0.039453	19.86881	0.000000	0.702461	0.865316
Arg	CHA	2	-0.279722	0.055795	-5.01336	0.000040	-0.394878	-0.164566
Arg	CHB	3	0.135278	0.055795	2.42454	0.023225	0.020122	0.250434
traço	1:1:6	4	-0.197222	0.068335	-2.88611	0.008121	-0.338259	-0.056186
traço	1:0,33:3,7	5	-0.027222	0.068335	-0.39836	0.693884	-0.168259	0.113814
traço	1:1:7	6	-0.020556	0.068335	-0.30081	0.766153	-0.161592	0.120481
Arg*traço	1	7	0.246389	0.096640	2.54955	0.017594	0.046933	0.445845
Arg*traço	2	8	-0.226944	0.096640	-2.34834	0.027431	-0.426400	-0.027489
Arg*traço	3	9	0.109722	0.096640	1.13537	0.267433	-0.089734	0.309178
Arg*traço	4	10	-0.115278	0.096640	-1.19285	0.244587	-0.314734	0.084178
Arg*traço	5	11	0.794722	0.096640	8.22351	0.000000	0.595266	0.994178
Arg*traço	6	12	-0.341944	0.096640	-3.53832	0.001676	-0.541400	-0.142489

b1) Relação permeabilidade (método do cachimbo) no tempo.

A Tabela 7.14 apresenta os valores médios de água absorvida no ensaio de permeabilidade da argamassa 1:1:6 aplicada nos painéis de alvenaria.

Tabela 7.14 - Permeabilidade (método do cachimbo) da argamassa 1:1:6 (CHA-CHB-CV)

Tempo	Tempo \sqrt{t}	Média CHA (ml)	Média CHB (ml)	Média CV (ml)
5	2,2361	0,38	0,40	0,38
10	3,1623	0,56	0,62	0,60
15	3,874	0,72	0,80	0,82

Em observação aos resultados da Figura 7.57, referente ao traço 1:1:6, onde existe apenas a variação do tipo de cal utilizada. Pode-se dizer que não há diferença significativa entre os valores e que o comportamento da permeabilidade em relação aos tempos avaliados é semelhante para as argamassas CHB e CV e ligeiramente diferente para a argamassa CHA. Esses valores indicam que o tipo de argamassa não determina mudanças significativas no comportamento permeável das mesmas, embora se possa observar que o coeficiente que identifica a velocidade de absorção seja crescente de CHA à CV.

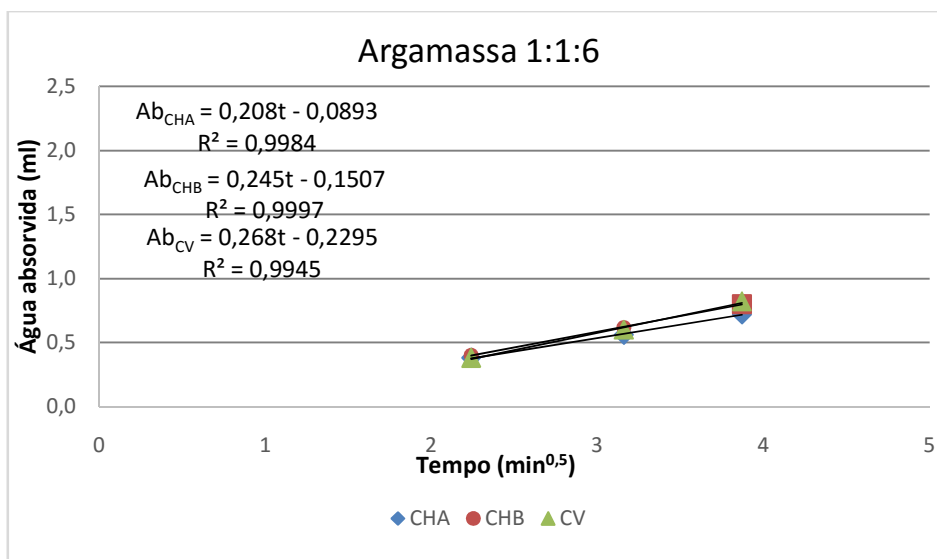


Figura 7.57 - Permeabilidade cachimbo da argamassa 1:1:6 (CHA-CHB-CV)

A Tabela 7.15 resume os resultados médios de água absorvida no ensaio de permeabilidade da argamassa 1:033:3,7 aplicada nos painéis de alvenaria.

Tabela 7.15 - Permeabilidade (método do cachimbo)da argamassa 1:033:3,7 (CHA-CHB-CV)

Tempo	Tempo \sqrt{t}	Média CHA (ml)	Média CHB (ml)	Média CV (ml)
5	2,2361	0,18	1,36	0,26
10	3,1623	0,26	1,74	0,34
15	3,8740	0,31	1,96	0,40

Em observação aos resultados da Figura 7.58, referentes ao traço 1:0,33:3,7, onde existe apenas a variação do tipo de cal utilizado, pode-se dizer que existem pequenas diferenças entre as argamassas que utilizam cal hidratada (CHA) e cal virgem (CV) e, uma diferença significativa destas argamassas com a argamassa que utiliza cal hidratada com adição de cinza volante (CHB); o que torna o comportamento da permeabilidade em relação aos tempos avaliados, diferente a maior, à argamassa que empregou cal CHB.

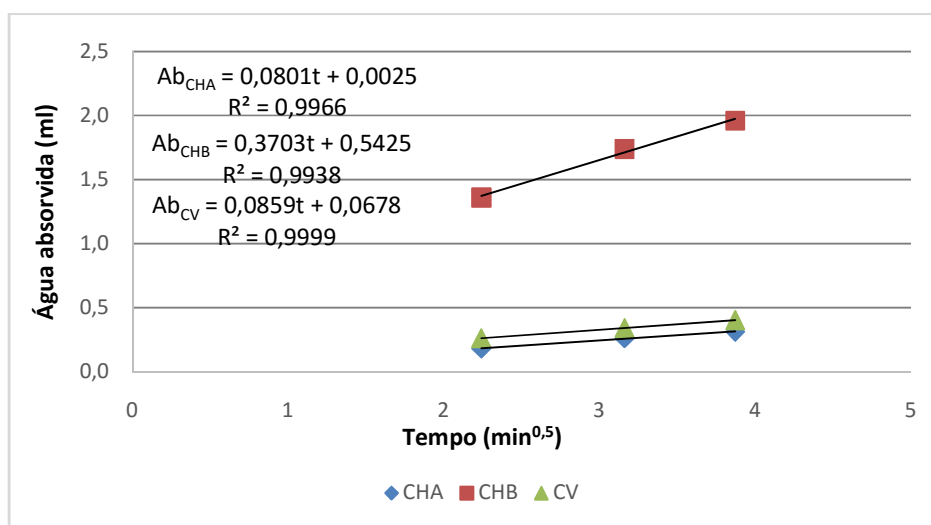


Figura 7.58 - Permeabilidade cachimbo da argamassa 1:0,33:3,7 (CHA-CHB-CV)

A Tabela 7.16 resume os resultados médios de água absorvida no ensaio de permeabilidade da argamassa 1:1:7 aplicada nos painéis de alvenaria.

Tabela 7.16 - Permeabilidade (método do cachimbo)da argamassa 1:1:7 (CHA-CHB-CV)

Tempo	Tempo \sqrt{t}	Média CHA (ml)	Média CHB (ml)	Média CV (ml)
5	2,2361	0,46	0,43	0,92
10	3,1623	0,61	0,56	1,16
15	3,874	0,71	0,68	1,34

Em observação aos resultados da Figura 7.59, referentes ao traço 1:1:7, onde existe apenas a variação do tipo de cal utilizado, pode-se dizer que não há diferença considerada significativa entre as argamassas que utilizaram as cales CHA e CHB, porém, a argamassa que utilizou a cal virgem (CV) apresenta uma permeabilidade, dentro dos mesmos tempos considerados, maior que as demais, configurando que, em função da maior relação entre aglomerante e agregado (1:3,5) somado ao tipo de cal (CV) altera o comportamento da permeabilidade em relação aos tempos avaliados, tornando esta argamassa mais permeável, indicando que a cal extinta em laboratório, por não haver o controle industrial, acaba por ser menos eficiente, quer na finura, que na reatividade, o que torna os vazios menos estanques.

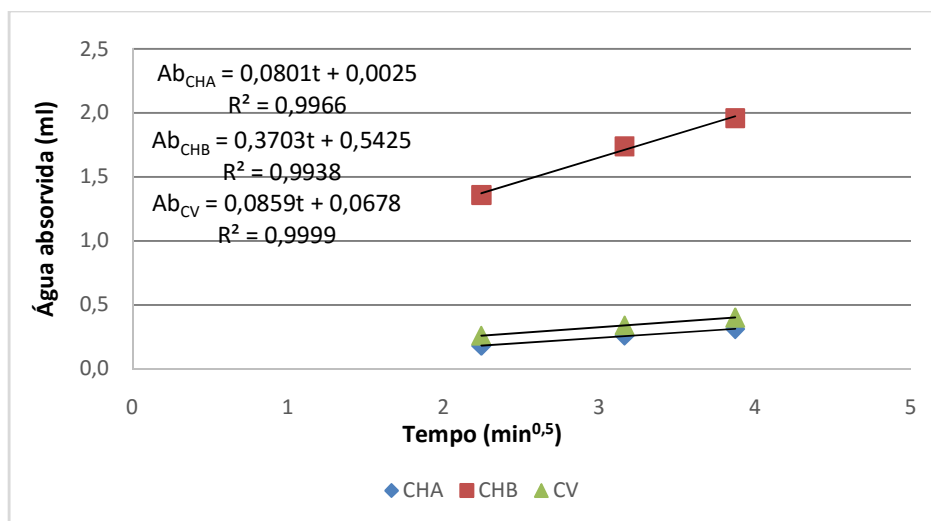


Figura 7.59 - Permeabilidade cachimbo da argamassa 1:1:7 (CHA-CHB-CV)

A Tabela 7.17 resume os resultados médios de água absorvida no ensaio de permeabilidade da argamassa 1:4:14 aplicada nos painéis de alvenaria.

Tabela 7.17 - Permeabilidade (método do cachimbo)da argamassa 1:4:14 (CHA-CHB-CV)

Tempo	Tempo \sqrt{t}	Média CHA (ml)	Média CHB (ml)	Média CV (ml)
5	2,2361	0,42	0,60	1,08
10	3,1623	0,64	0,84	1,68
15	3,874	0,80	1,04	2,16

Em observação aos resultados da Figura 7.60, referentes ao traço 1:4:14, onde existe apenas a variação do tipo de cal utilizado, pode-se dizer que há diferença consideradas significativa no comportamento das três argamassas utilizadas. Uma diferença comportamental menor em relação às argamassas que utilizaram cal hidratada (CHA) e cal hidratada com adição de cinza volante (CHB) e, uma diferença expressiva, a maior, na argamassa que utilizou a cal virgem (CV), indicando que o comportamento da permeabilidade em relação aos tempos avaliados é diferente, em função da cal, nas três argamassas; evidenciando, como no traço anterior (1:1:7), a forte influência do uso da cal virgem no comportamento permeável do reboco.

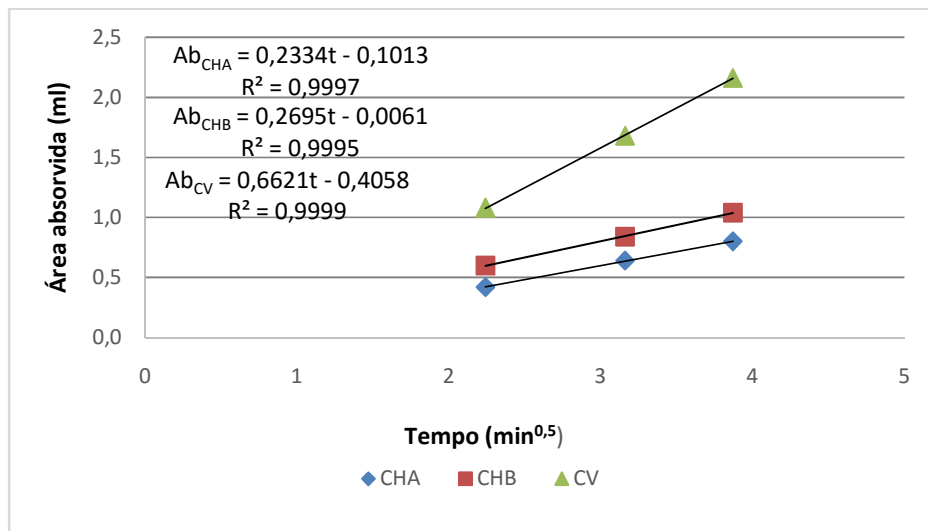


Figura 7.60 - Permeabilidade cachimbo da argamassa 1:4:14 (CHA-CHB-CV)

Os resultados analisados neste capítulo; nos ensaios aos quais as argamassas foram submetidas, quer em campanha laboratorial quer em observações nos painéis experimentais; identificam comportamentos diretamente ligados à porosidade, quer quantitativo quer em dimensão diametral dos poros, bem como a interferência do tipo da cal utilizada nos traços propostos, determinando assim, diferentes zonas de transportes de umidade, secagem e recristalização dos sais solúveis. A relação entre o aglomerante e o agregado definida pelos traços 1:1:6 (1:3), 1:0,33:3,7 (1:2,78), 1:1:7 (1:3,5) e 1:4:14 (1:2,8), implica em maior ou menor quantidade de vazios nas mesclas, determinando, também, pela maior finura e reatividade da cal, um mais efetivo preenchimento dos vazios e, conseqüentemente, uma redução quantitativa e da seção transversal dos capilares. Os resultados mostram; como já se sabe, que a relação mais proporcional entre aglomerante e agregado, define, naturalmente, um maior preenchimento dos vazios pelos constituintes ativos e, inversamente, a maior aos agregados, um maior teor dos espaços vazios entre os grãos inertes (poros). Esta é uma relação de fácil entendimento, pois se não existe quantidade suficiente de material colante (aglomerante), haverá maior quantidade de unidades não coladas; ou seja, vazios entre os grãos não preenchidos. Este comportamento implica diretamente na absorção e no transporte das águas que contactam os corpos porosos que constituem o sistema da alvenaria (tijolo+reboco); definindo assim, maiores ou menores pressões internas ao conjunto e, conseqüentemente, maior ou menor intensidade de contaminação por umidade, quando do contato superficial com água e, também, maior ou menor força de deslocamento interno da umidade dentro do sistema (transporte). As análises, quer por meio gráfico quer por analogia estatística, indicam relações diretas entre a proporção dos componentes (aglomerantes e agregados), bem como a influência da cal utilizada na definição quantitativa e dimensional dos vazios (poros) das mesclas; o que define diferentes tipos comportamentais ao transporte de umidade em meios porosos.

O uso dos adjuvantes (incorporador de ar e hidrofugante), empregado nos traços 02, 03 e 04, não são, para estes traços, determinadores de alterações comportamentais principais (quantidade e dimensão dos poros); mas, atuam como componentes agregadores; que criam, respectivamente, maior quantidade de vazios e estanqueidade entre estes; contribuindo assim, para o enfraquecimento do transporte da umidade, para a secagem da água no interior do sistema e para a recristalização interna dos sais solúveis, o que permite, de forma mais eficiente, o não aparecimento de áreas molhadas superficiais e as posteriores eflorescências.

Como referido na modelização matemática (vide 3.4), pelas dimensões reduzidas entre os raios superiores e inferiores dos capilares, consideramos $R_s = R_i$ o que permite considerar que o volume de água absorvido numa unidade de área da alvenaria é dependente do sistema ϖ (tijolo+reboco) e do tempo t decorrido. Considerando-se uma aproximação entre a porosidade das unidades da alvenaria (tijolo+reboco), podemos concluir que o “coeficiente” poderá ser utilizado para identificar um efeito provável da estrutura porosa de diferentes revestimentos (reboco). Ainda assim a variação da água ascensional em paredes de alvenaria pode ser medida, em um ambiente com taxa de evaporação constante, pela área molhada da parede compreendida pela altura do perfil hidráulico medido num tempo t . Ou seja, segundo o modelo gráfico apresentado na Figura 3.8, o qual foi experimentado em laboratório.

c) Determinação do teor de sais

As amostras extraídas dos painéis montados em laboratório foram submetidas a ensaios para a determinação da existência e dos teores de sais solúveis. Mesmo daquele reboco que não registrou, ao longo dos 24 meses, manifestações eflorescentes (revestimento constituídos pela argamassa 1:1:7 CHB), foram extraídas amostras e ensaiadas conforme prescrito na NBR 9917/1987 e utilizado em 5.2.3(b)4, com o intuito de averiguar a possível presença de sais interiores.

A tabela 7.18 apresenta os teores de sais solúveis (sulfatos) obtidos nas argamassas extraídas dos painéis experimentais.

Tabela 7.18-Teores de sais solúveis (sulfatos) nas argamassas extraídas dos painéis experimentais

Amostras	% SO ₄
CHA (1:1:6)	1,25
CHB (1:1:6)	1,54
CV (1:1:6)	1,03
CHA (1:0,33:3,7)	2,28
CHB (1:0,33:3,7)	1,13
CV(1:0,33:3,7)	0,10
CHA (1:1:7)	0,68
CHB (1:1:7)	0,61
CV(1:1:7)	2,23
CHA (1:4:14)	0,88
CHB (1:4:14)	1,57
CV(1:4:14)	4,87

Os resultados dos teores de sais solúveis (sulfato de sódio) demonstram que a permanência dos painéis em contato com água contaminada por este sal determinou uma presença generalizada deste sulfato em todas as argamassas ensaiadas; mesmo naquelas que apresentaram pequenas ou nenhuma manifestação exterior de eflorescências, indicando que, nestes casos, as cristalizações salinas se formam na zona do substrato, na interface substrato reboco e/ou no interior do reboco.

No caso específico da argamassa de traço 1:1:6 (CHA, CHB e CV), da argamassa de traço 1:0,33:3,7(CHA, CHB e CV) e da argamassa de traço 1:4:14 (CHA, CHB e CV); as quais demonstraram, visualmente, alto índice de eflorescências e criptoflorescências, verificaram-se, na maioria das amostras, elevados teores de sulfatos, indicando que a água e os sais atingem a superfície exterior destes revestimentos; dando origem às cristalizações identificadas.

Na argamassa de traço 1:1:7 (CHA, CHB e CV), especialmente naquelas compostas por cal hidratada (1:1:7 CHA) e cal virgem (1:1:7 CV), foi identificada uma pequena manifestação visual da presença de eflorescências; porém, os teores de sais encontrados na análise laboratorial destas mesmas argamassas foram mais elevados. Já a argamassa que utilizou cal hidratada com adição de cinzas volantes (1:1:7 CHB), a qual não apresentou nenhuma manifestação visível de eflorescência, a quantidade de sulfato registrada é praticamente igual à encontrada na argamassa 1:1:7 CHA. Para este caso específico da argamassa 1:1:7 CHB, cujo traço consome 17%, a maior, de areia que a argamassa de traço 1:1:6 e utiliza cal hidratada com adição industrial de cinzas volantes, o que a torna com maior porosidade; conclui-se que, embora não demonstrando

exteriormente as formações cristalinas dos sais, elas ocorrem no interior do revestimento, pois o transporte da água e, conseqüentemente, dos sais solubilizados acontece de forma menos veloz, permitindo o alcance dos objetivos buscados; ou seja: que a água contaminada por sais solúveis desapareça na forma de vapor, deixando no interior dos poros as formações dos sais solúveis recristalizados, não os conduzindo à superfície exterior do revestimento dos paramentos e fazendo com que, por um maior tempo, as anomalias eflorescentes não sejam identificadas.

7.5-Observação e análise das argamassas aplicadas nos painéis experimentais

7.5.1-Nos painéis experimentais executados em laboratório

Os revestimentos executados em laboratório com as argamassas estudadas foram aplicados em dois painéis, designados por painel 1 e painel 2. No painel 1, na face voltada ao Norte, foram aplicadas as argamassas com traço 11:6 (CHA, CHB e CV), em sua face voltada para o Sul; foram aplicadas as argamassas com traço 1:0,33:3,7 (CHA, CHB e CV). No painel 2, em sua face direcionada para o Norte foram aplicadas as argamassas com traço 1:1:7 (CHA, CHB e CV) e na face ao Sul, as argamassas com traço 1:4:14 (CHA, CHB e CV). As designações Norte e Sul constituem apenas posicionamentos convencionais, visto que estes painéis foram executados em ambiente fechado, donde não sofrem ações das intempéries.

a) Apreciação dos comportamentos observados na presença de umidade

Os painéis 1 e 2, com os respectivos doze rebocos trabalhados, ficaram, primeiramente, durante um período de cinco meses, submetidos à ação da água potável contida nas tinas. Neste período foram observadas a ascensão capilar da água e as manifestações de umidade aparente nas superfícies dos rebocos, donde foram registrados por meio de fotografias, desenhos e medições, conforme Figuras 7.61, 7.62, 7.63 e 7.64:

a(1) - Painel 1

Face Norte: Rebocos com as argamassas de traço 1:1:6 (CHA, CHB e CV)

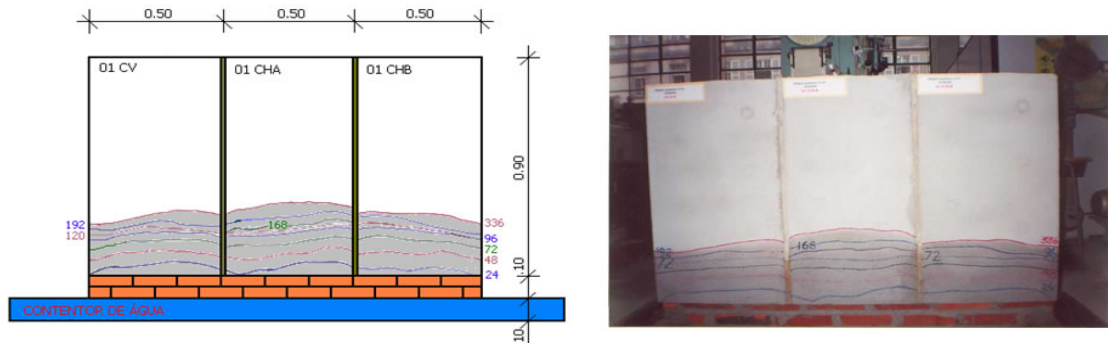


Figura 7.61 -Painel 1 - Face Norte

A ascensão capilar ocorreu imediatamente após o enchimento das tinas com água potável. Na primeira medição, ocorrida após 24 horas, registrou-se uma rápida elevação da altura da umidade e o mesmo nível de crescimento na altura da umidade foi observado para as 48 e 72 horas de contato com a água.

No quarto e quinto dia, ou seja, respectivamente 96 e 120 horas após, começou-se a observar uma estabilização na altura da ascensão capilar. No sexto dia, ou seja, 144 horas após, verificou-se uma ascensão capilar ainda menos intensa. Após uma semana, ou seja, ao fim de 168 horas, apenas a argamassa 1:1:6 CHA, localizado no módulo central do painel, ainda apresentou um pequeno aumento da altura da ascensão capilar, indicando a redução da força ascensional da água. Nos revestimentos aplicados nos limites extremos do painel verificou-se em contrapartida a estabilização da ascensão capilar devido a uma melhor ventilação dos topos do mesmo.

O acréscimo da ascensão capilar é registrado, embora com variação menor, até o final da segunda semana, ou seja, ao final de 336 horas. Nos quatro meses e meio restantes observa-se a manutenção da altura de ascensão capilar, independentemente das variações de temperatura e umidade relativa do ar. No entanto, nos três revestimentos desta face do painel; nota-se que, em dias de elevada umidade relativa do ar, existe um acréscimo da intensidade de umidade nas zonas já umedecidas, indicando que a umidade do ar é absorvida superficialmente e/ou a secagem da água contida no interior do revestimento é dificultada ou, temporariamente, anulada.

A média de altura da ascensão capilar registrada nesta face do painel 1 foi de 0,37m para a argamassa 1:1:6 CHA (localizado no centro do painel) e de 0,30m para as argamassas 1:1:6 (CHB e CV) (localizados nos extremos do painel); após 168 horas de contato da base do painel com a água da tina.

Como as argamassas utilizadas neste lado do painel 1 foram dosadas com o mesmo traço quantitativo (1:1:6), que apresenta uma relação entre aglomerante e agregado de 1:3, variando apenas o tipo da cal empregada; as mesmas possuem teor de porosidade determinado pela relação entre os agregado e aglomerante, pelo manuseio e pelo não completo preenchimento dos espaços vazios pelos aglomerantes (finura e reatividade). Esta quantidade de poros, propicia um caminho mais livre à água; que, ao contatar capilares de menor diâmetro, tem sua pressão elevada, saturando-os rapidamente, vencendo a pressão atmosférica e transportando a água a outras partes do revestimento, com aumento da altura capilar e o afloramento da umidade nas superfícies exteriores dos rebocos.

Face Sul: Rebocos com as argamassas de traço 1:0,33:3,7(CHA, CHB e CV)

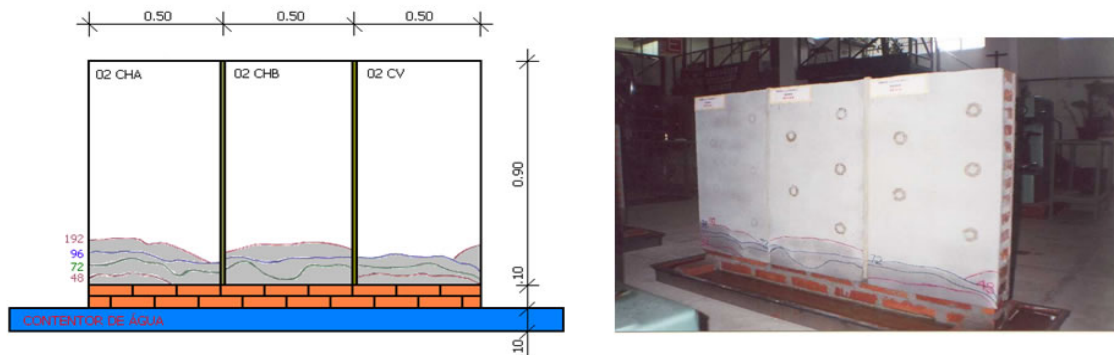


Figura 7.62 -Painel 1 - Face Sul

Nos revestimentos de reboco que utilizaram a argamassa com traço 1:0,33:3,7, aplicados no lado Sul do painel 1, não foi constatada nenhuma ascensão capilar nas primeiras 24 horas após o enchimento da tina com água potável e, após 48 horas, apenas os rebocos com as argamassas 1:0,33:3,7 (CHA e CV), apresentaram pequenas manchas de umidade.

Após 72 horas, todos os revestimentos, nos três módulos, acusavam ascensão capilar, porém em grau bem inferior àquela observada na face oposta do mesmo painel. Aos quatro dias, ou seja, ao término de 96 horas, a ascensão capilar manteve-se atuante em todos os rebocos, mas com alturas menores que as registradas anteriormente. Do quinto ao sétimo dia, ou seja, das 96 às 168 horas, não houve acréscimo visível da ascensão capilar; observou-se, no sexto e sétimo dia, período em que houve uma sensível redução de 15% na umidade relativa do ar, uma pequena redução da altura capilar até então registrada, indicando que a água que contactou o reboco mais facilmente foi eliminada, por evaporação, deste revestimento. Cabe salientar que as condições termohigrométricas do ambiente são iguais para os dois painéis; o que reforça a facilidade de

eliminação da água, na forma de vapor, no reboco com a argamassa de traço 1:0,33:3,7 ao se comparar com a argamassa de traço 1:1:6. No oitavo dia, ou seja, 192 horas após, a umidade relativa do ar volta a atingir os patamares médios anteriores (85%), e observa-se o retorno da ascensão capilar, em níveis de intensidade equivalentes aos registrados até o quarto dia. Após este período, não houve registro visual do acréscimo da ascensão capilar, apenas, conforme constatado nos rebocos da outra face do painel, uma variação da intensidade da mancha instalada, diretamente ligada às variações de temperatura e umidade relativa do ar. Para os rebocos com as argamassas 1:0,33:3,7 CHA, 1:0,33:3,7 CHB e 1:0,33:3,7 CV, as alturas médias registradas foram, respectivamente, de 0,20m, 0,22m e 0,17m.

Os três módulos de reboco que revestem esta face Sul do painel 1 são constituídos por argamassas desenvolvidas segundo o traço 1:0,33:3,7, a qual apresenta a menor relação entre aglomerante e agregado (1:2,78), comparando-se com os outros traços trabalhos, as quais são acrescidas de adjuvantes para aumentar a quantidade de poros e imprimir características hidrófugas aos revestimentos, donde, na do presente estudo, variam apenas os tipos de cales empregados. Os acréscimos da porosidade e o maior poder estanque fazem com que a água que penetra no revestimento tenha maior dificuldade em se deslocar por meio dos vasos capilares, reduzindo-se assim a ascensão capilar. Por outro lado, a menor permeabilidade do material dá origem a que o transporte da água, na forma líquida, para outras partes do reboco, seja dificultado. Deste fato, associado à capacidade do reboco em permitir uma fácil difusão do vapor de água, resulta uma menor quantidade de água observada na superfície do revestimento e, conseqüentemente, a menor altura da umidade registrada na face em questão do painel 1.

a(2) - Painel 2

Face Norte: Rebocos com as argamassas de traço 1:1:7 (CHA, CHB e CV)

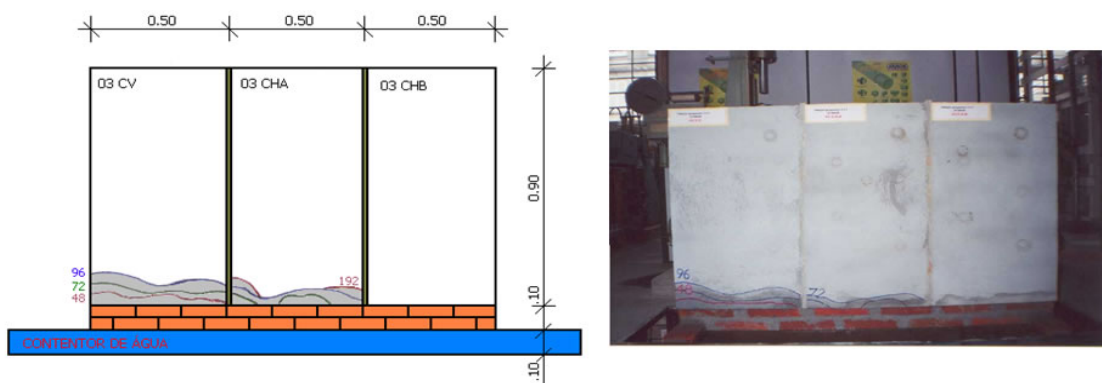


Figura 7.63 -Painel 2 - Face Norte

Nestes rebocos não foram registradas ascensões capilares durante as primeiras 24 horas e, após dois dias, somente a argamassa 1:1:7 CV, que utilizou argamassa com cal virgem, apresentou pequenas manchas de umidades. No final do terceiro dia, ou seja, 72 horas após o início das observações e medições, a argamassa 1:1:7 CV continuou a aumentar a altura da umidade ascendente, que atingiu o dobro da faixa medida nas 48 horas. Observa-se também que, no reboco 1:1:7 CHA, que utilizou argamassa com cal hidratada, começaram a aparecer pequenas zonas de umidade na superfície do revestimento.

Aos quatro dias, ou seja, 96 horas depois, a ascensão capilar continuou a ser registrada nas argamassas 1:1:7 (CHA e CV), sem nenhuma manifestação na argamassa 1:1:7 CHB. Do quinto ao sétimo dia, assim como na face Sul do painel 1, não se registrou crescimento da altura da ascensão capilar; pelo contrário, no sexto dia, pelos mesmos motivos mencionados para a face Sul do painel 1; ou seja, baixa de 15% no teor da umidade relativa do ar no ambiente interno do laboratório onde se encontram os painéis, foram registradas, nos dois rebocos em questão, pequenas reduções na altura da mancha de umidade, indicando a evaporação da água contida na argamassa de revestimento.

No oitavo dia, período em que o teor de umidade relativa do ar voltou a atingir os índices anteriores, ou seja, média de 85%, volta-se a observar o acréscimo da ascensão capilar até a altura anterior a secagem. Verifica-se também que, após a retomada da altura da ascensão capilar registrada no quarto dia, não houve acréscimo deste fenômeno até ao final do quinto mês, período em que os painéis ficaram em contato com a água potável contida nas tinas.

Embora condicionado ao mesmo ambiente das argamassas 1:1:7 (CHA e CV), a argamassa 1:1:7 CHB não apresentou nenhuma manifestação de umidade na sua face exterior, indicando a plena eliminação da água que, por capilaridade o contata, antes mesmo de seu afloramento na superfície aparente.

Esta menor altura da ascensão capilar e; até mesmo, a não manifestação ocorrida na argamassa 1:1:7 CHB, que utiliza a cal hidratada com adição de cinza volante, teoricamente mais fina e reativa, e que preenche mais os vazios entre os grãos do agregado (embora a relação seja de 1:3,5, maior que nos outros traços), indicam que a dosagem das argamassas utilizadas e o uso do incorporador de ar e do hidrofugante acabam cumprindo, com maior eficiência, nestas argamassas, a função pretendida, ou seja, conviver com a presença da água sem sofrer tão intensamente as anomalias deste convívio. Na argamassa 1:1:7 CHA, a média da altura da ascensão capilar registrada foi de 0,06m, enquanto que para a argamassa 1:1:7 CV foi de 0,12m e, como já citado, a argamassa 1:1:7 CHB não registrou nenhuma manifestação de umidade aparente.

Como já mencionado para os rebocos constituídos pelas argamassas 1:0,33:3,7, as argamassas apresentam características favoráveis do ponto de vista da capilaridade, pois possuem um acréscimo da quantidade de poros, com uma estrutura tal que permite uma redução da altura da ascensão da água por capilaridade e uma melhor secagem do conjunto, diminuindo o risco de ocorrência de anomalias.

Face Sul: Rebocos com as argamassas detraço 1:4:14 (CHA, CHB e CV)

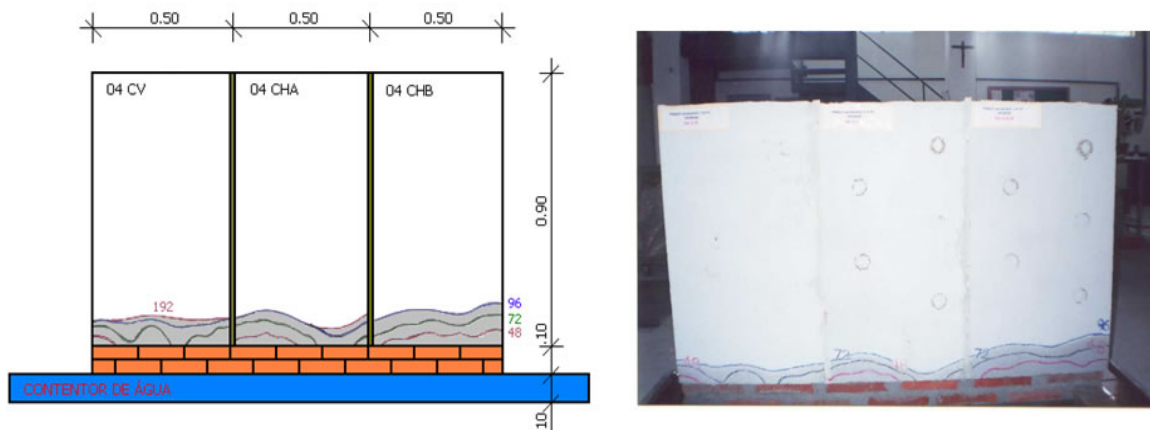


Figura 7.64 -Painel 2 - Face Sul

Os revestimentos que foram aplicados nesta face do painel 2 apresentaram os seguintes comportamentos:

Nas primeiras 24 horas não mostraram nenhuma ascensão capilar de umidade. Após dois dias, ou seja, 48 horas, todos os três módulos desta face do painel apresentaram pequenas superfícies umedecidas.

No transcorrer das 72 horas, são verificadas intensificações das manchas anteriores, com acréscimo da altura da ascensão capilar. Do quinto ao sétimo dia não há registros de evolução na ascensão da umidade e, no sexto dia, pelos motivos já mencionados para as argamassas 1:0,33:3,7 e 1:1:7, ou seja, diminuição da umidade relativa do ar; ocorreu uma pequena, mas importante, reação de secagem superficial. No oitavo dia, com o aumento do teor de umidade atingindo o patamar anterior; registra-se, novamente, o acréscimo da ascensão capilar da umidade, atingindo as mesmas alturas registradas até o quarto dia, mas, após esta data, não há visualização de aumento na mancha de umidade, permanecendo estável até o final do período de contato do painel com a água da tina.

As argamassas 1:4:14, que possuem uma relação entre aglomerante e agregado de 1:2,80, apresentaram alturas de ascensão capilar da umidade bem próxima das registradas nas

argamassas 1:1:7, e bem inferiores às medições observadas no painel 1. Nesta face do painel 2 a argamassa 1:4:14 CHA teve uma altura de ascensão capilar média de 0,09m, a argamassa 1:4:14 CHB teve média de 0,15m e a argamassa 1:4:14 CV registrou média de 0,07m.

Observa-se, para estas argamassas que, mesmo com uma menor proporção entre aglomerante e agregado que, como nas argamassas 1:0,33:3,7 e 1:1:7, emprega adjuvantes (incorporador de ar e hidrofugante), o equilíbrio e semelhança entre as ascensões capilares está, possivelmente, relacionado as cales utilizadas, a produção e a aplicação da argamassa. Apesar de mostrar umidificação das superfícies, estes rebocos são, mesmo assim, mais eficientes que as argamassas 1:1:6 e 1:0,33:3,7 e pouco menos eficientes que a argamassa 1:1:7.

b).Análise da absorção de água por capilaridade nos painéis experimentais

b1) Painel 1 - face Norte

As Figuras 7.65, 7.66 e 7.67 referem-se às argamassas de traço 1:1:6, aplicadas à face norte do painel 1. Não se observa diferenças significativas entre as três argamassas aplicadas, resultando assim, absorções de água por capilaridade semelhantes quer em tempos quer em áreas molhadas em todas as argamassas (CHA, CHB e CV). Com isso concluímos que às diferentes cales utilizadas não determinam diferentes comportamentos aos traços, no que se refere à absorção de água por capilaridade nas argamassas aplicadas na face Norte do painel 1. Também se conclui que o modelo matemático que representa a evolução da área de molhagem em função do tempo é expresso por uma função logarítmica, cujos parâmetros são apresentados nos gráficos. Com algumas exceções, de um modo geral, os valores dos coeficientes de determinação, R^2 , corroboram ao modelo aplicado explicando mais de 90% dos valores observados (Tabela 7.19).

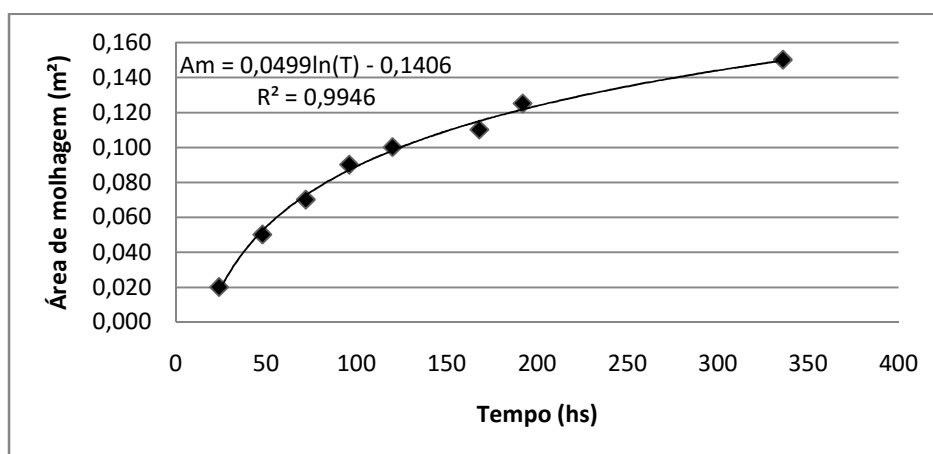


Figura 7.65 - Absorção de água por capilaridade da argamassa CHA- traço 1:1:6

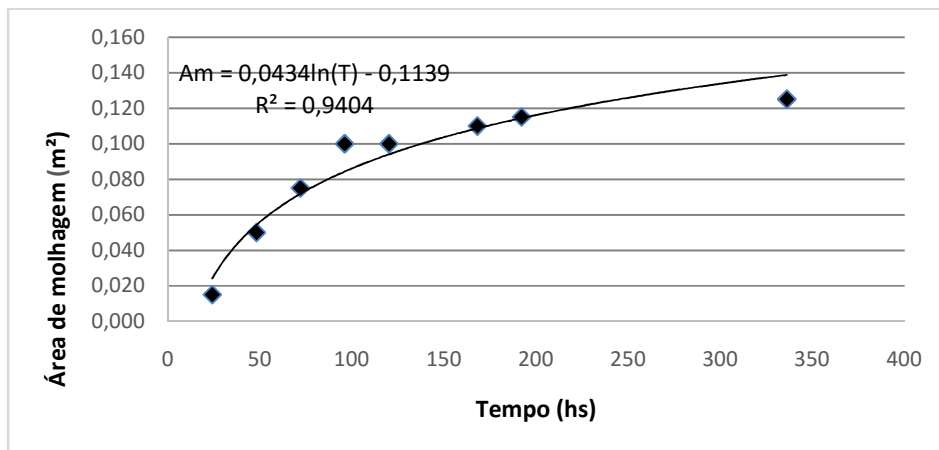


Figura 7.66 - Absorção de água por capilaridade da argamassa CHB-traço 1:1:6

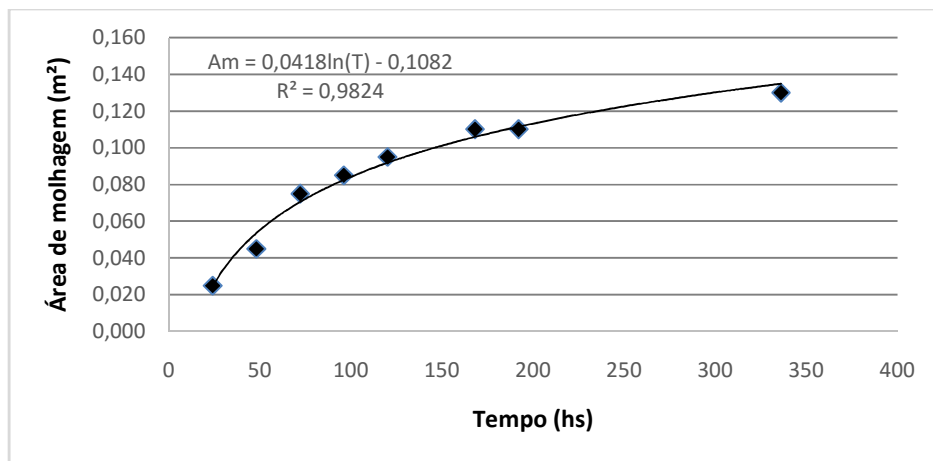


Figura 7.67 - Absorção de água por capilaridade da argamassa CV-traço 1:1:6

b2) Pannel 1 - face Sul

Pela análise aos gráficos 7.68, 7.69 e 7.70 das argamassas de traço 1:0,33:3,7, aplicadas à face Sul do pannel 1, não se observa diferenças significativas entre as três argamassas aplicadas, indicando assim, ascensões capilares semelhantes, quer em tempos quer em áreas molhadas em todas as argamassas (CHA, CHB e CV). Com isso concluímos que às diferentes cales utilizadas não determinam diferentes comportamentos aos traços, no que se refere à absorção de água por capilaridade nas argamassas aplicadas na face Sul do pannel 1.

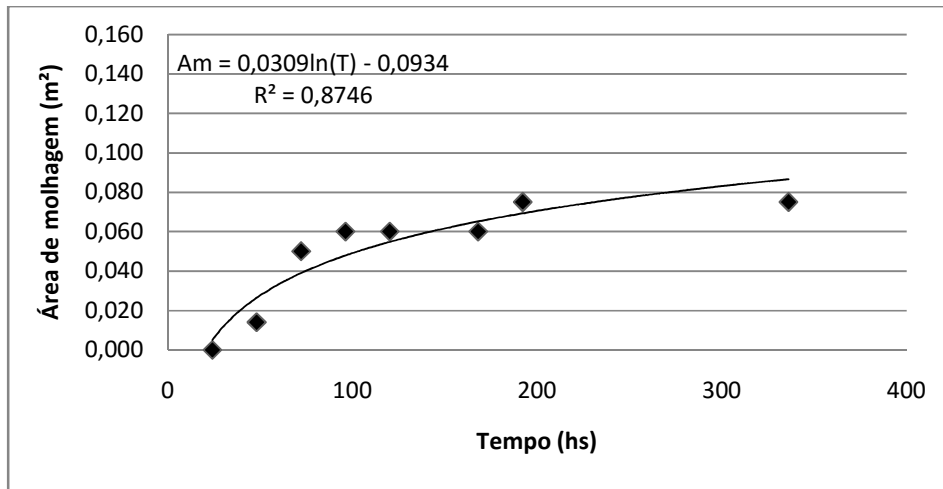


Figura 7.68 - Absorção de água por capilaridade da argamassa CHA-traço 1:0,33:3,7

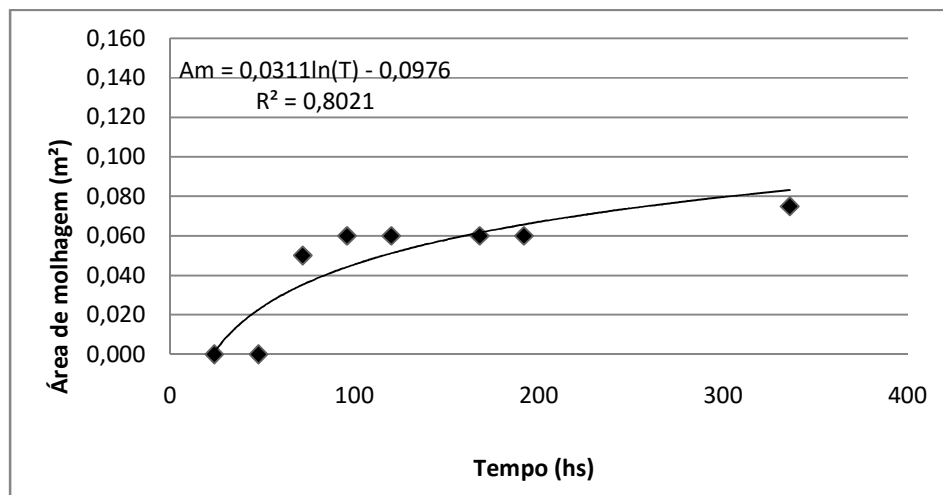


Figura 7.69 - Absorção de água por capilaridade da argamassa CHB-traço 1:0,33:3,7

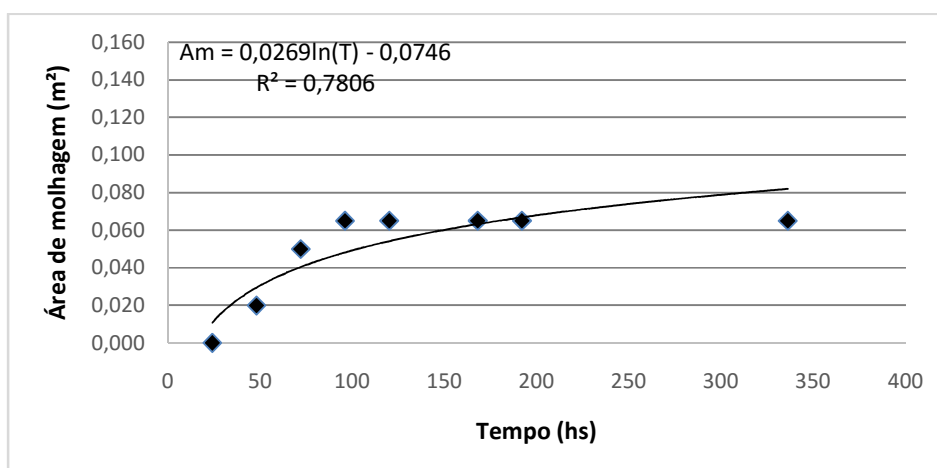


Figura 7.70 - Absorção de água por capilaridade da argamassa CV-traço 1:0,33:3,7

b3).Painel 2 - face Norte

Pela análise aos gráficos 7.71, 7.72 e 7.73 das argamassas de traço 1:1:7, aplicadas à face norte do painel 2, não se observa diferenças significativas entre as argamassas CHA e CV aplicadas, determinando assim, absorções de água por capilaridade semelhantes, quer em tempos quer, em áreas molhadas destas argamassas. Neste painel, apenas a argamassa CHB difere das demais, não apresentando nenhuma manifestação de ascensão capilar em nenhum dos tempos observados. Com isso concluímos que o uso de cal hidratada com adição de cinzas determina; neste caso, comportamento diferente ao traço, no que se refere à absorção de água por capilaridade na face Norte do painel 2, e que, também para esta argamassa, mesmo com o acréscimo de porosidade determinado pelo maior consumo de areia, foi anulado pelo preenchimento dos vazios pela cal utilizada.

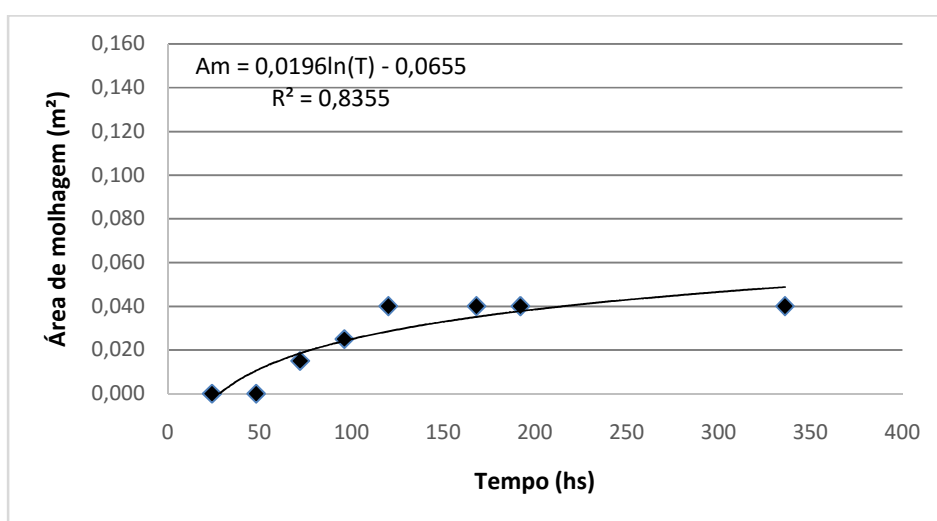


Figura 7.71 - Absorção de água por capilaridade da argamassa CHA-traço 1:1:7

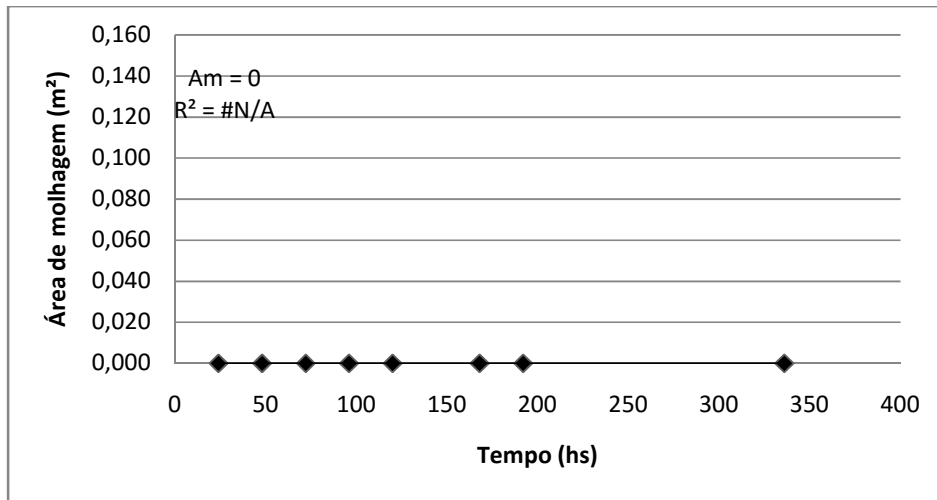


Figura 7.72 - Absorção de água por capilaridade da argamassa CHB-traço 1:1:7

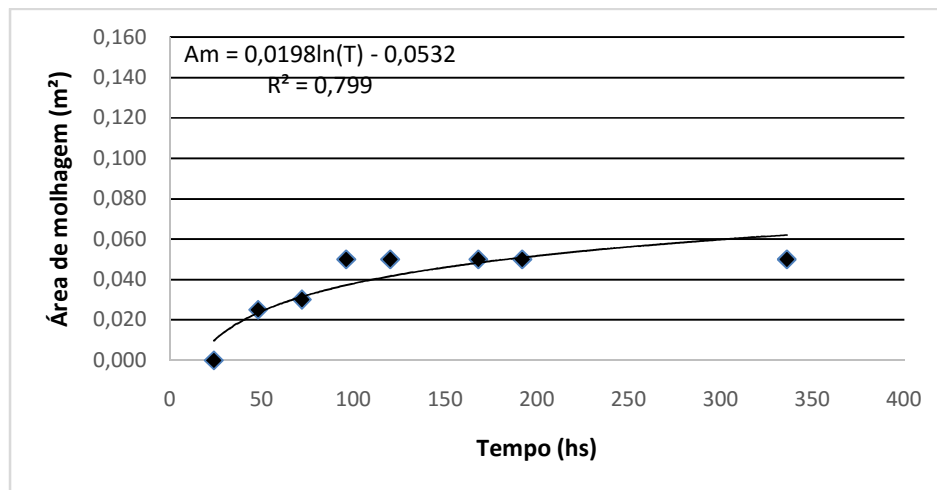


Figura 7.73 - Absorção de água por capilaridade da argamassa CV-traço 1:1:7

b4) Painei 2 - face Sul

Pela análise aos gráficos 7.74, 7.75 e 7.76 das argamassas de traço 1:4:14, aplicadas à face sul do painel 2, verifica-se que não existem diferenças significativas entre as três argamassas aplicadas, determinando assim, ascensões capilares semelhantes, quer em tempos quer em áreas molhadas em todas as argamassas (CHA, CHB e CV). Com isso, concluímos que; às diferentes cales utilizadas, não determinam diferentes comportamentos aos traços, no que se refere à ascensão capilar nas paredes.

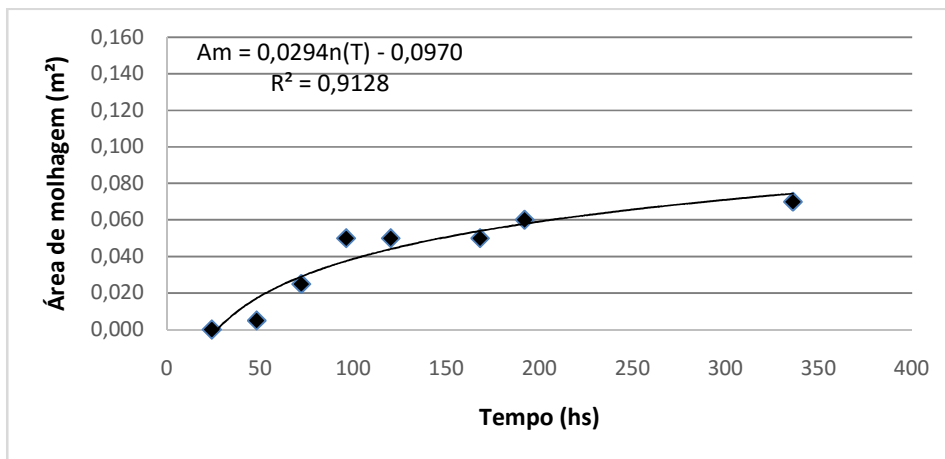


Figura 7.74 - Absorção de água por capilaridade da argamassa CHA-traço 1:4:14

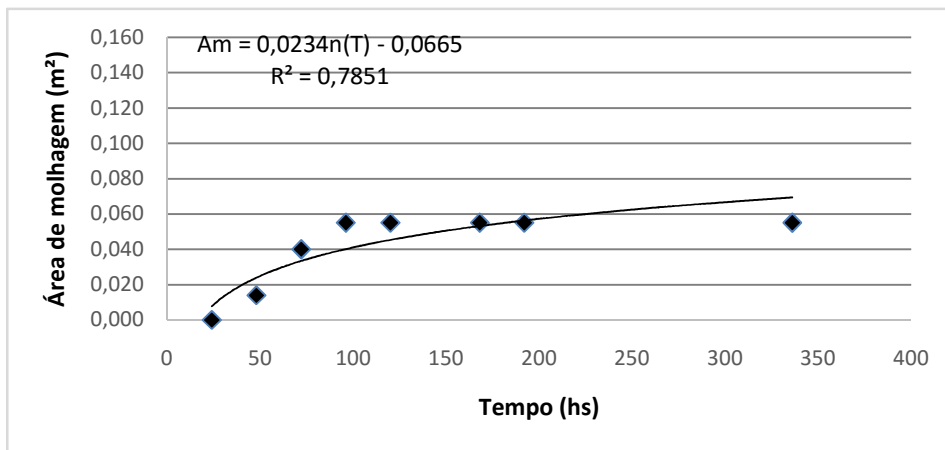


Figura 7.75 - Absorção de água por capilaridade da argamassa CHB-traço 1:4:14

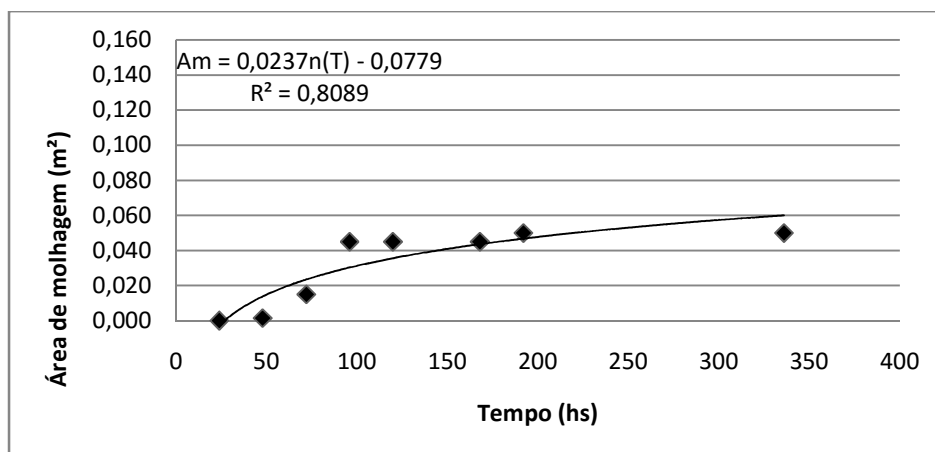


Figura 7.76 - Absorção de água por capilaridade da argamassa CV-traço 1:4:14

Os resultados observados nas quatro faces dos painéis 1 e 2, apresentados nos gráficos com os valores médios acumulativos das áreas molhadas pela ascensão capilar e os tempos registrados

das primeiras 24 horas às 336 horas finais, mostram que o uso de quantidades diferentes de materiais nos traços trabalhados bem como os três tipos de cales utilizados não determinam comportamentos significativamente diferentes nas argamassas de revestimento testadas, indicando que o transporte de água por meio dos poros ocorreu de forma similar em 11 das 12 experimentações. Apenas a argamassa de traço 1:1:7 (1:3,5), que utiliza uma parte a mais de areia do que a argamassa padrão 1:1:6 (1:3), aumentando assim seu volume de vazios em relação a esta, apresenta como característica a não manifestação superficial de umidade ascendente por capilaridade. Como nas demais argamassas aplicadas aos painéis estas zonas molhadas foram identificadas, independentemente das dosagens e das diferentes cales, concluímos que, para este traço (1:1:7) o uso da cal hidratada com adição de cinza volante (mais reativa), acaba por determinar um mais uniforme e contínuo fechamento de alguns poros, porém outros, em função da relação maior do volume de agregados (1:3,5), permanecem de com maiores dimensões [ver Tabela II (64) do Anexo II], o que determina uma dificuldade ao transporte até a face externa da superfície observada; portanto, se pode concluir que a quantidade de vazios desta dosagem é melhor preenchida pela cal e isso determina um bloqueio do fluxo capilar da água que contata a base da parede (painel), mostrando que, neste caso específico, esta argamassa é a que melhor comportamento oferece ao conjunto, atingindo o objetivo proposto (trabalhar com argamassas que, por mais tempo, não manifestem umidade superficial nas paredes).

Como justificção do modelo teórico proposto para a umidade de ascensão em paredes, a Tabela 7.19 mostra que o melhor modelo experimental é a da função logaritmica; onde os valores de R^2 maiores explicam mais resultados experimentais do que o linear.

Tabela 7.19-Valores de R^2 para raiz quadrada do tempo em horas e regressões lineares

Argamassa		R^2 Ln T (hrs)	R^2 \sqrt{T} (hrs)	Painel	Face
1:1:6	CHA	0,995	0,956	1	Norte
	CHB	0,940	0,815		
	CV	0,982	0,914		
1:0,33:3,7	CHA	0,875	0,748		Sul
	CHB	0,802	0,695		
	CV	0,781	0,606		
1:1:7	CHA	0,834	0,744	2	Norte
	CHB	-	-		
	CV	0,799	0,625		
1:4:14	CHA	0,913	0,847		Sul
	CHB	0,785	0,617		
	CV	0,809	0,712		

De fato a linearização através da raiz quadrada do tempo descreve melhor as evoluções em tempos curtos e limitados, como no caso das medições de realizadas para obtenção de coeficientes de capilaridades em argamassas. A observação da evolução da área de molhagem

teve o seu modelo teórico ajustado para essa nova tendência (equação 35), onde se pode concluir, portanto, que a premissa especulada teóricamente resultou verdadeira.

c) Apreciação dos comportamentos observados na presença de umidade e sais solúveis

Assim como ocorreram as ascensões capilares da umidade durante a observação dos painéis submetidos ao contato com água; verifica-se, quando da presença de água adicionada com sal solúvel (5 % de sulfato de sódio), que, nas primeiras 24 e 48 horas, as alturas das umidades registradas são muito semelhantes às medidas e às formas de ocupação observadas naqueles períodos. Durante o transcorrer das observações, nestas condições, que totalizaram oito meses de acompanhamento diário; verifica-se que, à medida que a umidade atinge as faces exteriores dos painéis, onde ocorre, concomitantemente, à secagem da água, a formação de cristais de sal (eflorescências) e, em dias de elevado teor de umidade relativa do ar, é verificada a absorção desta umidade, de forma higroscópica, pelas formações salinas acumuladas nestas zonas, formando manchas de umidade adicionadas ao entorno das umidades ocorridas pela ascensão capilar e das eflorescências; já nos períodos de decréscimo da umidade relativa do ar, são verificadas a secagem das manchas de umidade e a intensificação das áreas de sais cristalizados.

Os painéis foram mantidos nessas condições até o final do oitavo mês e as zonas afetadas permaneceram conforme os registros realizados no final deste período. Nas figuras 7.77, 7.78, 7.79, 7.80 e 7.81 são apresentadas e registradas fotograficamente, dentro do período mencionado, as evoluções das referidas anomalias nos rebocos aplicados sobre os painéis 1 e 2.

c(1) - Painel 1

Face Norte: Rebocos com a argamassade traço 1:1:6 (CHA, CHB e CV)



Umidade e eflorescências após 48h



Elevado teor de umidade relativa do ar 85%



Elevado teor de umidade do ar a 90%

Tina sem água e umidade relativa do ar em 60%

Figura 7.77 -Painel 1 - Face Norte

Esta face do painel 1 está constituída pelos três módulos dos rebocos executados com a argamassa de traço 1:1:6, padrão na região de Pelotas. Verifica-se ao final de quatro meses que a ascensão capilar da umidade se mantém estáveis e equivalentes às registradas nos primeiros dois dias; ou seja, 24 e 48 horas, e a cristalização dos sais solúveis ocorre intensamente nestas áreas, intensificando a altura capilar e as formações eflorescentes nas bordas do painel argamassas 1:1:6 (CV e CHB), zona de maiores secagem e concentração de umidade higroscópica, conseqüentemente, mais erodidas.

Face Sul: Rebocos com as argamassas de traço 1:0,33:3,7(CHB, CHB e CV)



Umidade e eflorescências após 48h

Elevado teor de umidade relativa do ar 85%



Elevado teor de umidade do ar a 90%

Tina sem água e umidade relativa do ar em 60%

Figura 7.78 -Painel 1 - Face Sul

Verifica-se na face Sul do painel 1, constituída pelos três módulos da argamassa 1:0,33:3,7 (CHA, CHB e CV), que a argamassa central 1:0,33:3,7 CHB, que utiliza cal hidratada com adição de cinza volante, apresenta uma altura da mancha de umidade duas vezes maior que a altura da umidade capilar registrada, quando do contato do painel com água potável.

Esta elevação da altura da umidade se deve, principalmente, pela diminuição da porosidade, determinada pela menor relação entre aglomerante e agregado (1:2,78), pelo uso da cal hidratada com adição de cinza volante, que é mais fina e mais reativa, diminuindo o tamanho e a quantidade dos poros, pela localização central do módulo (sem ventilação e sem secagem das bordas laterais) e pela absorção de umidade higroscópica (ocorrida pela grande concentração de sais nas superfícies deste reboco). Já nos módulos extremos, revestidos com as argamassas 1:0,33:3,7 (CHA e CV), devido à perda de água pelos topos do painel, que facilita a secagem; verifica-se uma altura de umidade equivalente àquelas registradas nas duas primeiras medições das ascensões capilares da água potável, ou seja, nas primeiras 24 e 48 horas.

c(2) -Painel 2

Face Norte: Rebocos com as argamassas de traço 1:1:7(CHA, CHB e CV)



Umidade e eflorescências após 48h



Elevado teor de umidade relativa do ar 85%



Elevado teor de umidade do ar a 90%



Tina sem água e umidade relativa do ar em 60%

Figura 7.79 -Painel 2 - Face Norte

Nos três rebocos, com as argamassas 1:1:7 (CHA, CHB e CV), que revestem os três módulos da face Norte do painel 2, verifica-se, após 24 horas, uma pequena ascensão capilar da umidade nas argamassas 1:1:7 (CHA e CV), assim como nas observações realizadas quando do contato do painel com água potável; não se registrando, da mesma forma, nenhuma manifestação de umidade na argamassa 1:1:7 CHB. Após dois dias, ou seja, 48 horas, verifica-se a formação de eflorescências ocupando a área antes umedecida nos módulos com as argamassas anteriormente citadas 1:1:7 (CHA e CV), continuando o módulo da argamassa 1:1:7 CHB com o mesmo aspecto anterior. Durante todo o processo de observação não foram registradas alterações nas manifestações identificadas nos dois primeiros dias, mesmo quando o teor de umidade do ar atingiu elevados índices (85 e 90%). O acréscimo de umidade higroscópica no entorno das formações eflorescentes pode ser considerado inexpressivo, se comparado, principalmente, com o teor desta anomalia, registrado nos outros rebocos trabalhados.

Portanto, os rebocos com as argamassas s 1:1:7, que possuem um maior teor de vazios, em função da relação entre aglomerante e agregado (1:3,5) e, assim como nas argamassas 1:0,33:3,7e 1:4:14 foi adjuvado de incorporador de ar e hidrofugante, demonstram uma maior eficiência no convívio com a umidade e os sais solúveis, permitindo a eliminação da umidade na forma de vapor e manifestando poucas ou nenhuma manchas superficiais e a formação de eflorescências proporcionais.

Conclui-se, nesta face do painel, que a argamassa que melhor responde é aquela que utiliza cal hidratada com adição de cinzas 1:1:7 CHB, na qual o revestimento se manteve inalterado, isso se deve a proporção maior dos vazios deixados pela relação aglomerante agregado (1:3,5) e ao uso da cal hidratada com adição de cinza volante, a qual por ser mais fina e reativa, permite uma mais rápida e eficiente vedação dos poros existentes, quer àqueles derivados da relação aglomerante agregado, quer àqueles advindos do uso do incorporador de ar os quais se tornam mais estanques quer pela cal utilizada quer pelo uso do hidrofugante. Pode-se observar na Figura 7.79(acima), que no local donde foi extraída a amostra para análise dos teores de sais contidos nas argamassas existe; mesmo no módulo 1:1:7 CHB, uma forte formação de eflorescência (ver detalhe Figura 7.80, abaixo), as quais indicam e confirmam que, neste tipo de argamassa empregada, a concentração dos sais se forma na interface e no interior do reboco; o que vai ao encontro dos resultados apresentados nos ensaios para avaliação dos teores de sais.



Figura 7.80 -Reboco 1:1:7 CHB - Formação eflorescente no local donde foi extraída amostra do reboco

Face Sul: Rebocos com as argamassas s de traço 1:4:14 (CHA, CHB e CV)



Umidade e eflorescências após 48h



Elevado teor de umidade relativa do ar 85%



Elevado teor de umidade do ar a 90%



Tina sem água e umidade relativa do ar em 60%

Figura 7.81 -Painel 2 - Face Sul

As argamassas de traço 1:4:14 (CHA, CHB e CV), que constituem os rebocos dos três módulos da face Sul do painel 2, apresentaram comportamentos similares àqueles observados na face Norte deste painel, ou seja, aos das argamassas 1:1:7 (CHA, CHB e CV). Verificamos nas primeiras 48 horas a presença de ascensão capilar da umidade e a formação de eflorescências nos três

módulos, mais intensamente nas argamassas 1:4:14(CHBe CV). No decorrer do tempo, estas manifestações permanecem bastante constantes e verifica-se um pequeno acréscimo de umidade higroscópica no entorno dos cristais de sal, à medida que aumenta a umidade relativa do ar.

As zonas de umedecimento e eflorescências têm áreas inferiores àquela identificada nos rebocos constituídos pelas argamassas 1:1:6 e 1:0,33:3,7, porém, um pouco maior do que as apresentadas pela argamassa 1:1:7. Se avaliarmos neste traço 1:4:14, apenas, o elevado consumo de agregado pode parecer-nos que este é indicativo principal para as reações constatadas, porém, nesta argamassa, o consumo da cal é quatro vezes a utilizada nas argamassas 1:1:6 e 1:1:7 e doze vezes maior que na argamassa 1:0,33:3,7, permitindo assim, um equilíbrio similar as demais argamassas na relação entre aglomerante e agregado (1:2,8), muito próximo aos traços 1:1:6 (1:3) e 1:0,33:3,7 (1:2,78). Portanto, os indicadores mais adequados, em relação aos outros três traços, são as cales utilizadas com sua finura e reatividade e, em relação às argamassas 1:0,33:3,7 e 1:1:7, que utilizam incorporador de ar e hidrofugante. Portanto as argamassas de traços 1:4:14 (1:2,8) que possuem uma relação entre aglomerante e agregado próxima ao traço 1:1:7 (1:2,78), acabam por apresentar reações bastantes semelhantes aos rebocos constituídos pelas argamassas de traço 1:1:7, que apresentam a maior proporção entre aglomerante e agregado (1:3,5); presume-se assim que o consumo maior de agregado, mesmo com o equilíbrio determinado pelo maior consumo de cal, produz um acréscimo de poros e um não homogêneo fechamento destes pelos aglomerantes, aumentando a porosidade e rebaixando a ascensão capilar, o que permite um caminho menos obstruído e de poros mais abertos e, conseqüentemente, uma menor pressão hidrostática e altura capilar da umidade; com isso, as zonas molhadas visíveis se reduzem e, pelos mesmos motivos de uma quantidade de poros abertos e maiores, há uma mais efetiva secagem mais eficiente da água absorvida, fazendo com que os sais solubilizados venha a se recristalizar, quer na interface substrato com, quer no interior do revestimento, quer, com menor intensidade, na superfície exterior.

Esta menor coesão interna, maior volume de vazios não ocupados (conforme Tabela 34 do Anexo II) ou ocupados parcialmente pelos aglomerantes, está confirmada nos resultados dos ensaios de tração na flexão, compressão e de aderência ao suporte, os quais traduzem uma menor resistência destes rebocos àqueles esforços.

d)-Análise da correlação das propriedades das argamassas e ensaios nos painéis experimentais

Na seqüência da análise dos resultados, procurou-se verificar possíveis correlações entre as variáveis; ou seja, entre as propriedades determinadas nas argamassas estudadas que possam ser

preditivas do seu desempenho como revestimento nas alvenarias sujeitas à umidade de ascensão. A análise de correlação foi realizada a partir de base de dados com os resultados (36 corpos de prova) de todos os ensaios, reunidos em oito grupos de ensaios.

Com os resultados foram traçados gráficos, permitindo assim, a visualização e interpretação dos resultados obtidos. Ver Tabela II (64) no Anexo II.

d1) Correlação entre Índice de Vazios Natural e Coeficiente de Permeabilidade (90 dias)

A Tabela 7.20 apresenta os valores dos parâmetros estatísticos referente à correlação entre Índice de Vazios Natural e Coeficiente de Permeabilidade. Verifica-se que o coeficiente de correlação múltipla R^2 é muito pequeno, indicando a não correlação entre o índice de vazios natural e a permeabilidade.

Tabela 7.20 - Parâmetros estatísticos da correlação índice de vazios e permeabilidade

Resumo Estatístico; DV: Índice de vazios.	
Estatística	Valor
Multiplo R	0,166245634
Multiplo R^2	0,027637611
Ajustado R^2	-0,000961282834
F(1,34)	0,966387412
p	0,332526863
Desvio Padrão Estimado	1,22030124

d2) Correlação entre Saturação Natural e Coeficiente de Permeabilidade

Verifica-se também, na Tabela 7.21, que o coeficiente de correlação múltipla R^2 é muito pequeno, indicando a não correlação entre a saturação natural e a permeabilidade.

Tabela 7.21 - Parâmetros estatísticos da correlação saturação natural e coeficiente de permeabilidade

Resumo estatístico; DV: Sat. Nat.	
Estatísticas	Valor
MultiploR	0,184344472
MultiploR ²	0,0339828843
R ² ajustado	0,00557061621
F(1,34)	1,19606376
p	0,281797916
Desvio padrão Estimado	0,837327809

d3) Correlação entre coeficientes de absorção por capilaridade (Ccc), absorção de água (método do cachimbo) e de ascensão capilar nos painéis (Casc)

A Tabela 7.22 resume os resultados médios obtidos para os coeficientes de capilaridade, de absorção de água e de ascensão capilar em painéis.

Tabela 7.22-Coefficientes de capilaridade das argamassas (Ccc) - absorção de água em painéis (Cca) e de ascensão capilar em painéis (Casc)

Argamassa	Traço	Capilaridade (Ccc) Kg/m ² .min ^{0,5}	Absorção de água (Cca) ml/min ^{0,5}	Ascensão capilar (Casc) m ² /hs
CHA	1:1:6	0,4554	0,206	0,099
CHB	1:1:6	0,3795	0,243	0,086
CV	1:1:6	0,4854	0,267	0,083
CHA	1:0,33:3,7	0,4111	0,079	0,090
CHB	1:0,33:3,7	0,4269	0,368	0,093
CV	1:0,33:3,7	0,4902	0,085	0,095
CHA	1:1:7	0,4522	0,153	0,048
CHB	1:1:7	0,4111	0,152	0,000
CV	1:1:7	0,6309	0,231	0,066
CHA	1:4:14	0,8522	0,232	0,067
CHB	1:4:14	0,7795	0,268	0,079
CV	1:4:14	0,6562	0,658	0,057

Na análise das Figuras 7.82 e 7.83, não existem correlações claras e definidas entre os parâmetros analisados. Quanto a análise entre o coeficiente de ascensão capilar (Casc) o coeficiente de capilaridade (Ccc) das argamassas da Figura 7.82; era de se esperar a existência de uma maior correlação, visto que, para os dados medidos são similares para a mesma argamassa trabalhada. Porém, por ter o trabalho avaliado quatro dosagens diferentes, onde a argamassa de traço 1:1:6, padrão na região de Pelotas, não utiliza adjuvantes (incorporador de ar e hidrofugante) e; os demais traços 1:0,33:3,7, 1:1:7 e 1:4:14 utilizam, de forma igualitária, estes produto, onde o objetivo é a comparação de um traço padrão não adjuvado com traços propostos que utilizam adjuvantes; variando o quantitativo dos materiais (cal e areia) nas quatro. Os quatro traços utilizaram cales que correspondem às nomenclaturas CHA (cal hidratada), CHB (cal hidratada com adição industrial de cinzas) e CV (cal virgem extinta no local). Os quantitativos das cales utilizadas e das areias são, igualmente constantes, individualmente, para cada grupo do conjunto dos traços 1:1:6, 1:0,33:3,7, 1:1:7 e 1:4:14. Portanto, a não correlação registrada se deve; principalmente, a variação quantitativa dos agregados e sua relação com as cales (também variáveis); o que determina uma diferenciação no teor e na dimensão dos poros e; também, na interligação destes por meio dos canais capilares, o que implica uma maior ou menor capacidade de transporte de umidade e, conseqüentemente, uma maior ou menor ascensão capilar e coeficiente de capilaridade. Outro fator a considerar é determinado pelas diferenças entre os modelos analisados.

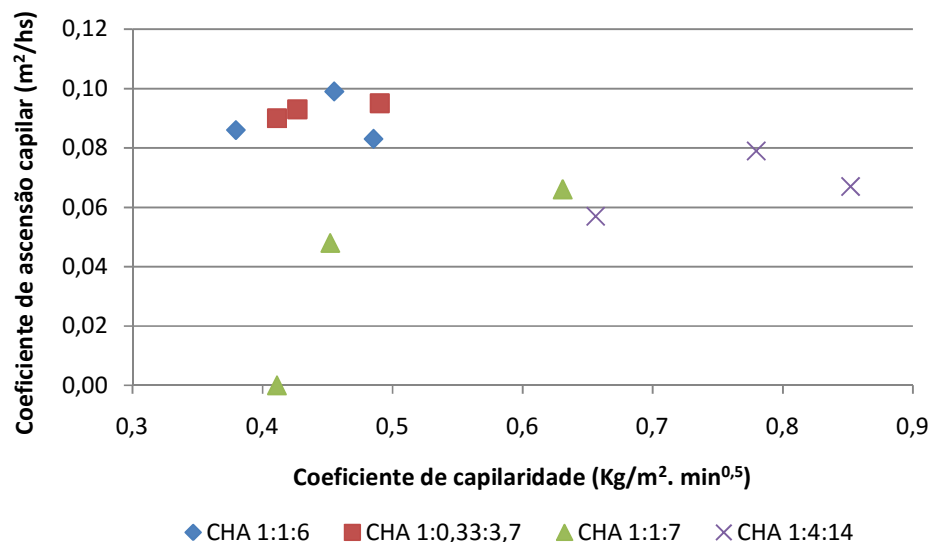


Figura 7.82 - Correlação do coeficiente de ascensão capilar com coeficiente de capilaridade nas argamassas CHA (1:1:6 - 1:0,33:3,7 - 1:1:7 - 1:4:14)

Na Figura 7.83, onde estão correlacionados o coeficiente de ascensão capilar (Casc) e a água absorvida (método do cachimbo), a não correlação entre os parâmetros avaliados é um resultado

esperado; pois a quantidade de água absorvida pode ocorrer de forma independente da ascensão capilar, registrando-se os volumes em zonas que podem não corresponder ao mapeamento da ascensão capilar identificada (áreas molhadas). Isso pode ocorrer devido a fatores físicos bem conhecidos: como a pressão atmosférica, o diâmetro e a rugosidade interna dos poros e dos capilares, às maiores ou menores pressões internas, as maiores ou menores facilidades de transporte da água absorvidadentro da rede interna, e aos fatores de estanqueidade determinados pelo uso dosdiferentes aglomerantes e dos adjuvantes.

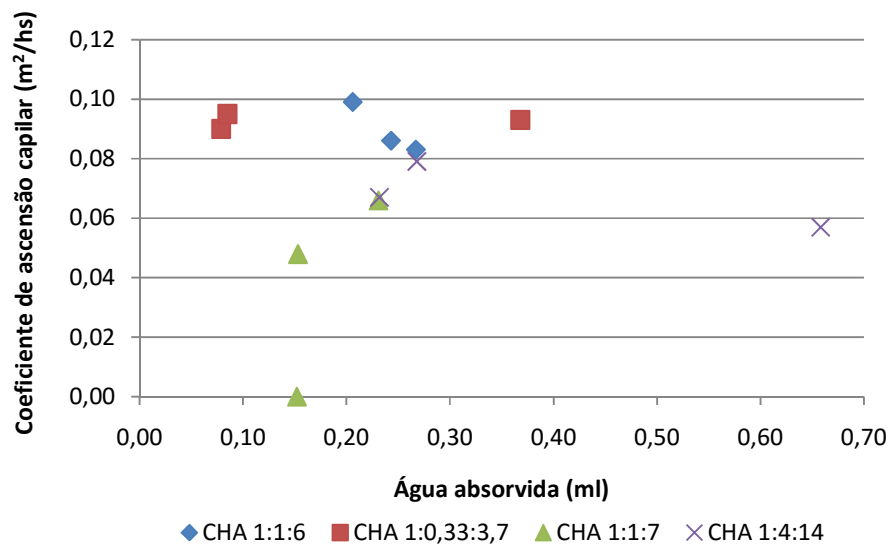


Figura 7.83 - Correlação do coeficiente de ascensão capilar com a água absorvida nas argamassas CHA (1:1:6 - 1:0,33:3,7 - 1:1:7 - 1:4:14)

Com todas as avaliações realizadas e as conclusões obtidas, individualmente para cada grupo de análise, podemos concluir que não há como se traçar correlações, tecnicamente seguras, entre os comportamentos das doze argamassas trabalhadas; quer pela diferentes solicitações quer pelos padrões dimensionais dos modelos ensaiados. Portanto, podemos concluir que as cales utilizadas não determinam um comportamento diferenciado, capaz de definir alterações marcantes nas características das argamassas. Já a argamassa 1:1:7 CHB, a qual apresentou, no painel experimental, uma característica comportamental favorável a não manifestação de umidade superficial, pode-se concluir que o uso de uma parte a mais de areia, em relação ao traço padrão, determina uma quantidade de poros suficientes para serem preenchidos pela cal utilizada (cal hidratada com adição de cinzas) a qual bloqueia o transporte da umidade à superfície. Podo-se concluir, portanto, que não se podem fazer previsões de desempenho da argamassa na parede a partir dos ensaios aplicados nos provetes de argamassa isolados; ou seja, em pequena escala.

7.5.2-Nos painéis experimentais executados no edifício selecionado

A argamassa que apresentou melhor desempenho, tanto na presença da água como dos sais solúveis, nos primeiros 12 meses de ensaio nos painéis montados em laboratório - a argamassa 1:1:7 CHB - foi eleita como argamassa de revestimento a ser aplicada em duas áreas escolhidas no edifício estudado (Figuras 7.84). Estas áreas estão localizadas, uma na parte externa da fachada principal da edificação, em zona de alta ventilação e insolação, e a outra no interior da cave, em condições por isso de ventilação restringida, nenhuma incidência solar e alta concentração de umidade no solo.

A argamassa foi aplicada de forma similar ao seguido no procedimento laboratorial; ou seja, após a total remoção do revestimento original, em duas áreas delimitadas por quadros de 0,50m de largura e 1,00m de altura, uma na fachada exterior e outra numa parede de cave, foi aplicado chapisco de cimento e areia média, traço 1:4, cobrindo 50% da superfície a ser rebocada, e foi depois aplicado o reboco eleito, o qual foi devidamente desempenado para adquirir superfície lisa e aprumada.



Figura 7.84 - Painéis executados no edifício selecionado, respectivamente exterior e interior

a) Apreciação do comportamento observado na presença de umidade e sais solúveis

Durante o período de observação foram constatadas zonas de umidade na superfície do painel exterior. Estas manifestações só foram registradas após o período de chuvas, e nalguns locais do entorno do painel, donde ocorrem as descontinuidades entre os rebocos (antigo e novo); indicando que a água da chuva que contata o solo; não consegue por ascensão capilar;

manifestar-se exteriormente na superfície do novo reboco; pois é eliminada na forma de vapor devido às características já conhecidas deste revestimento, ou seja, maior porosidade e uma estrutura de poros que determina uma menor transferência da água capilar entre os vazios existentes e permite que a mesma evapore e, nesta forma, seja eliminada do paramento (Figura 7.85).



Figura 7.85 -Painel externo executado no edifício selecionado

No painel executado no interior da cave, por estar apoiado sobre uma vala aberta de escoamento pluvial e, como mencionado anteriormente, estar sujeito a ambiente mais desfavorável, verifica-se uma maior concentração de umidade, proveniente da água que contata toda a base do paramento. Mesmo assim, esta umidade ocorre, também, na zona de transição entre o reboco antigo e o reboco novo; indicando que a ascensão capilar da água ocorre no reboco antigo e é transferida ao reboco novo pelo contato lateral existente entre os mesmos. Como se pode verificar na Figura 7.86, as zonas de umedecimento localizam-se no entorno do reboco novo e não se mostram na base, confirmando a transferência da umidade acima mencionada.

Durante todo o período de observação, que demandou 42 meses, não foram constatadas nenhuma manifestações de formações eflorescentes e/ou criptoflorescentes, apenas as manchas de umidade citadas, indiciando, portanto, um comportamento similar ao registrado, para este reboco, nos painéis montados em laboratório. Cabe salientar que, no entorno dos dois painéis

executados no edifício selecionado, os rebocos antigos apresentam altos índices de eflorescência e criptoflorescências, indicando assim a presença de sais solúveis naqueles paramentos, conforme comprovado nos ensaios para identificação de sais nas amostras extraídas do edifício selecionado, em 5.2.3(b)4 e 7.1.3(c).



Figura 7.86 -Painel interno executado no edifício selecionado

Capítulo 8

Conclusões

8-Conclusões

As conclusões, que abrangem o trabalho desenvolvido, começam pelo estudo teórico da fenomenologia do transporte de umidade e sais em meios porosos; onde, mesmo com a complexidade dos movimentos da água no interior dos poros, quer por ações internas quer por ações externas; consegue-se, de um ponto de vista físico, definir a absorção, a condensação e a capilaridade como os três mecanismos fundamentais à ocorrência da umidade em paredes, explicando, na maioria dos casos, as variações no valor do teor de umidade no interior dos materiais de construção porosos. Estes mecanismos não são independentes; podendo sofrer, também, a ação da gravidade e das pressões externas, o que vem a aumentar a complexidade da investigação experimental e o esforço de criar um modelo do movimento de água ascensional. Não obstante, foi possível a partir de leis físicas, adaptar um modelo analítico simplificado que possa representar a evolução no tempo da área de molhagem em uma parede, expressa pelo perfil hidráulico da água de ascensão.

O modelo simplificado que representa a evolução da umidade de ascensão resulta como um possível auxiliar na escolha de parâmetros de argamassas face à ação da umidade ascensional. Para o estudo da aplicabilidade do modelo proposto procurou-se conhecer os materiais e as características comportamentais dos revestimentos originais aplicados ao edifício escolhido entre vários inspecionados. Por força da legislação que governa as intervenções no patrimônio edificado de interesse histórico e arquitetônico, é fundamental e obrigatório à busca de materiais e processos que possibilitem uma leitura atual embasada nos procedimentos originais dos edifícios antigos, garantindo-se a compatibilidade entre materiais existentes e os de reabilitação. Portanto; o conhecimento pleno dos materiais, de suas composições e de seus comportamentos; permitiram, com base nas exigências técnicas e legais do IPHAN, a escolha e uso de materiais similares, bem como propor dosagens experimentais de argamassas similares àquelas originalmente utilizada à época da construção. Foi possível estabelecer proporções de argamassas baseadas em variáveis tais como: a relação entre aglomerantes e agregados (esqueleto sólido) e tipos de aglomerantes (porosidade fina) com vistas à recuperação das anomalias de umidade e sais solúveis identificadas no edifício eleito. Dessa forma a porosidade e os tamanhos dos poros, ainda que indiretamente, são variáveis intrínsecas das argamassas estudadas.

Após a definição e caracterização dos materiais a constituir as argamassas, uma extensa campanha experimental, por meio de ensaios laboratoriais normatizados, quer na forma de

provetes para ensaios quer nos painéis experimentais desenvolvidos em laboratório e no edifício selecionado possibilitaram as seguintes conclusões:

- Em relação à massa volúmica podemos verificar que, entre as doze argamassas, existe, em função do volume de agregados, uma redução de até 7% desta massa volúmica seca entre as médias de cada traço, em se comparando com o traço 1:1:6. Em todos os quatro traços (1:1:6 / 1:0,33:3,7 / 1:1:7 / 1:4:14) verifica-se, para cada grupo, uma variação em função do tipo da cal utilizada. As argamassas que utilizaram as cales hidratada (CHA) e hidratada com adição de cinzas (CHB) registraram, de forma geral, uma massa volúmica 5% menor que a argamassa que utilizou cal virgem (CV). No traço 1:1:6, com uso da cal CHA, é 2,5% menor que CV e, com a cal CHB, é 1% menor que a cal virgem (CV). Já, quando se trabalha nos traços 1:0,33:3,7 e 1:1:7 há uma redução de 3,8% e 1,8%, respectivamente às cales CHA e CHB, em relação à (CV). Para o traço 1:4:14, há uma redução de 4,4% da massa volúmica seca quando utilizamos cal virgem (CV), se compararmos com a utilização da cal hidratada (CHA) e um equilíbrio entre as massas volúmicas secas das argamassas que CV e CHB, para este mesmo traço. Estas variações determinam uma estrutura diferenciada do esqueleto sólido da argamassa, gerando resistências mecânicas aos esforços de compressão e tração na flexão, inversamente relacionadas às proporções do consumo de agregados/aglomerantes.

- Os coeficientes de capilaridade das argamassas de reabilitação propostas são muito próximos para as quatro argamassas; ou seja, variaram entre 0,38 e 0,85 $\text{kg}/\text{m}^2 \cdot \text{min}^{0,5}$, valores estes considerados baixos se levarmos em conta os valores recomendados para os coeficientes de capilaridade das argamassas de reabilitação que se situam entre 1 e 1,5 $\text{kg}/\text{m}^2 \cdot \text{min}^{0,5}$. Verificou-se, que na argamassa que possui o maior teor de agregado por aglomerante, argamassa 1:1:7, a absorção de água por contato inicial é mais elevada que nas argamassas 1:1:6 e 1:0,33:3,7 e que, na argamassa 1:4:14 que possui uma proporção entre aglomerante e agregado inferior a argamassa 1:1:7 e similar as argamassas 1:1:6 e 1:0,33:3,7, diferentemente das duas primeiras argamassas, apresenta, inicialmente, comportamento de absorção de água por contado semelhante a argamassa 1:1:7, indicando que a maior relação da proporção entre aglomerante e agregado na argamassa 1:1:7 e/ou um grande consumo geral de agregados na argamassa 1:4:14, determinam argamassas mais porosas e absorventes à água que contata suas superfícies.

- Os resultados encontrados ao índice de vazios indicam os efeitos redutores quando utilizamos os aglomerantes CHA e CHB, quando comparados com o uso do aglomerante do tipo CV. O efeito do tipo de aglomerante pode ser resultante em parte da finura da sua

composição e das reações possíveis. O aglomerante CHB contém cinza volante que, em princípio, é mais fina e reativa que a cal hidratada, promovendo assim um efeito de fechamento dos vazios da fase pasta. Porém, o maior efeito redutor provém dos traços; ou seja, da proporção 1:0,33:3,7 quando se compara com o traço 1:4:14. O efeito redutor do traço 1:0,33:3,7 se dá por este, na verdade, representar a menor proporção de volume de agregados/aglomerantes, ou seja 1:2,78, constituindo um esqueleto sólido mais fechado e com maior presença de materiais finos.

- Observou-se, também, que o tipo da cal utilizada e suas características de finura e reação, alteram o comportamento das argamassas quanto à absorção e transporte de água. A cal hidratada com adição de cinza volante (CHB); que, por ser mais fina e mais reativa, tende a fechar e/ou reduzir os espaços entre os grãos do agregado, aumentando a altura medida da água absorvida.

- Observou-se que os resultados indicam haver efeito redutor no coeficiente de secagem quando comparamos os traços 1:0,33:3,7 e 1:1:7 em relação ao traço 1:4:14. Os efeitos redutores dos traços 1:0,33:3,7 e 1:1:7 em relação ao traço 1:4:14, indicam que a variação do consumo de agregado determina uma menor ou maior porosidade à mistura. Este efeito dá-se por estes, na verdade, representarem a menor ou maior proporção de volume de agregados em relação aos aglomerantes; respectivamente 1:2,78 e 1:3,5 ou seja, constituindo um esqueleto sólido mais fechado e com maior presença de materiais finos; o que permite maior e mais rápido transporte no interior da argamassa e uma perda mais acelerada da água absorvida. Além da influência do consumo de agregados, o tipo de aglomerante utilizado, determina, em função de sua composição mais fina e mais reativa, um acréscimo significativo no coeficiente de secagem, onde o aglomerante (CHB) contém cinza volante que, em princípio, é mais fina e reativa que a cal hidratada (CHA), promovendo assim um maior efeito de fechamento dos vazios da fase pasta.

- Os comportamentos de resistências mecânicas aos esforços de compressão e de tração na flexão, estão diretamente relacionados ao consumo agregados /aglomerantes; onde a maior proporção de agregados define um maior volume de vazios na estrutura da argamassa seca. O tipo de aglomerante utilizado influencia a resistência aos esforços mecânicos, onde as cales de composição mais finas e mais reativas (CHB), determinam um maior fechamento dos poros e uma maior capacidade de resistência aos esforços.

- Pode-se concluir que, da mesma forma, o maior consumo de agregados em relação aos aglomerantes utilizados reduz a capacidade de aderência das argamassas aplicadas aos

painéis experimentais. Porém quando utilizamos a cal (CHB) com composição mais fina e reativa, há um acréscimo da aderência ao substrato.

- Os coeficientes de permeabilidade, obtidos pelo método do cachimbo, apresentam uma correlação bastante similar aos resultados de coeficiente de absorção de água por capilaridade, indicando que o comportamento das argamassas de reabilitação é semelhante, quer por contato de água superficial quer por ascensão capilar. Os resultados dos ensaios de permeabilidade à água das argamassas com maior proporção de agregados apresentaram absorções mais intensas de água superficial.

- No que se refere à resistência aos sais, as argamassas com maior proporção de agregados apresentam; mais tardiamente, manifestações de cristalizações de sais nas superfícies dos corpos de prova ensaiados, indicando que o maior índice de vazios e o sua dimensão retém por mais tempo os sais solúveis no seu interior, dificultando e retardando as formações eflorescentes.

Portanto, com base nas conclusões acima descritas, pode-se dizer, de uma maneira geral, que é possível prever a evolução, ao longo do tempo, da área de molhagem de uma parede; ou seja, no seu revestimento, por ascensão capilar da umidade localizada na sua base, através de um modelo simplificado, como o proposto nesta tese. O conhecimento das características físicas da argamassa “leito” permite, também, controlar a evolução dessa ascensão capilar. Esse controle é ditado pelos parâmetros de dosagem da argamassa, os quais definem a estrutura porosa do revestimento; ou seja, através da manipulação do tipo de aglomerante e da relação entre agregados/aglomerantes. Por último, sugere-se para estudos vindouros; que o modelo aqui proposto possa integrar outras variáveis que governam as propriedades no estado fresco e endurecido das argamassas de revestimento, confirmando assim a amplitude da sua aplicabilidade.

os modelos existentes, embora traduzam fielmente o fenômeno da ascensão capilar, são complexos para o uso prático para definir o desempenho de uma argamassa.

o modelo matemático simplificado é adequado ao conhecimento do comportamento real da ascensão capilar em rebocos de paredes.

Os ensaios normatizados aplicados aos corpos de prova não traduzem o comportamento real das argamassas aplicadas, na prática, como revestimento de alvenarias.

Os resultados obtidos nos painéis experimentais construídos em laboratório são confirmados nas observações, durante 42 meses, feitas aos rebocos executados com a argamassa 1:1:7 chb, àquela que melhor resposta apresentou em laboratório.

Bibliografia

Bibliografia

- [1] CORONA E.; LEMOS, C. A. C. - *Dicionário da arquitetura brasileira*. São Paulo: EDARTT - São Paulo Livraria e Editora Ltda, 1972.
- [2] ARENDT, C. - *Métodos de tratamento de alvenarias deterioradas: A utilização de rebocos de recuperação e medidas de combate aos sais*. In: Seminário sobre recuperação de obras históricas de engenharia e arquitetura: Avaliação do estado de conservação, análise, diagnóstico e terapia, Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, CPGECE - LEME, 1995.
- [3] BAUER F. - *Patologia em revestimentos de argamassa inorgânica*. In: *Congresso iberoamericano de patologia das construções*. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, CPGECE, Porto Alegre, 1997.
- [4] DAL MOLIN, D.C.C. - *Fissuras em estruturas de concreto armado: Análise das manifestações típicas e levantamento de casos ocorridos no Estado do Rio Grande do Sul*. Curso de Pós-graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre, 1988. Dissertação de Mestrado.
- [5] SZYMKIEWICZ, A.-Modelling water flow in unsaturated porous media. Springer, 2012, XXI, 237p.
- [6] TERRA, R. C. - *Levantamento de manifestações patológicas em revestimentos de fachadas das edificações da cidade de Pelotas*. Curso de Pós-graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre, 2001. Dissertação de Mestrado.
- [7] CENTRE D'ASSISTANCE TECHNIQUE ET DE DOCUMENTATION DU BÂTIMENT ET DES TRAVAUX PUBLICS (CATED) - *Les efflorescences*. Paris: CATED, juin 1967. N.T. 93.
- [8] HELENE P. R.; SOUZA, R. - *Controle de qualidade na indústria da construção civil*. Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) - Tecnologia de Edificações. São Paulo: PINI, 1995.

- [9] HENRIQUES, F. A. - *A conservação do património histórico edificado*. Lisboa: LNEC, 1991. Memória 775.
- [10] PAIVA J. V. - *Humidade nas edificações*. Lisboa: LNEC, 1969. Tese para obtenção do grau de especialista e acesso à categoria de investigador auxiliar do LNEC.
- [11] POLISSENI, A. E. - *Método de campo para avaliar a capacidade impermeabilizante de revestimentos de parede - Método do cachimbo*. Dissertação (Mestrado em Engenharia), Escola de Engenharia, Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre, 1986.
- [12] RODRIGUES-NAVARRO C., DOEHNE E., SEBASTIAN E. - *How does sodium sulfate crystallize? Implications for the decay and testing of building materials*. Cement and Concrete Research 30 (2000) 1527-1534.
- [13] A.W. ADAMSON - *Physical chemistry of surfaces*- 5th ed., Wiley, New York, 1990.
- [14] ARNOLD, A., ZEHNDER, K. - *Decay of stony materials by salts on humid atmosphere*. Zurich, Switzerland: Institut für Denkmalpflege der Eidgenössischen Technischen Hochschule, 1983.
- [15] FREITAS V. P. - *Influence of the vapour permeability of paintings and the hygroscopicity of the internal coating on the hygrothermalbehaviour of walls*. Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP), 1998.
- [16] BROWNELL W. E. - *The causes and control of efflorescence on brickwork*. Structural Clay Products Institut, 1969. Research Report 15.
- [17] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS -ASTM C67 , *Standard Methods of Sampling and Testing Brick and Structural Clay Tile*, 1966.
- [18] YOUNG J. E. - *“Backup materials as a source of efflorescence”*. Journal American Ceramic Society, 40 (7), 1957.

- [19] CENTRE D'ASSISTANCE TECHNIQUE ET DE DOCUMENTATION DU BÂTIMENT ET DES TRAVAUX PUBLICS (CATED) - *Migrations d'eau - la capillarité dans le bâtiment*. Paris: CATED, mars-avril 1967. N.T. 88.
- [20] CENTRE D'ASSISTANCE TECHNIQUE ET DE DOCUMENTATION DU BÂTIMENT ET DES TRAVAUX PUBLICS (CATED) - *Migrations d'eau - condensations*. Paris: CATED, novembre 1965. N.T. 73
- [21] T.J. MINNICK - "*Effect of lime on characteristics of mortar construction*", *Bulletin, American Ceramic Society*, 38).1959
- [22] LUBELLI B., VAN HEES R.P.J., HUININK H. - *Effect of NCAL on the hydric and hygric behaviour of lime-cement mortar*. Report for the COMPASS project - Community Research - Final Report (2007) 116-131.
- [23] OLIVEIRA C. R.; FREITAS V. P. - *Importância da permeabilidade ao vapor de água das pinturas exteriores*. Encontro Materiais de Construção, Lisboa, ISMAG, 1997
- [24] FREITAS V. P. - *Moisture migration in building walls - Analysis of the interface phenomena*. Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, / Toulouse: Institut de Mécanique des Fluides, 1995.
- [25] SANDERS M., VAN HEES R.P.J., NALDINI S. - *Interviews of different parties involved in the restoration of plastered buildings*. Report for the COMPASS project - Community Research - Final Report (2007) 25 - 35.
- [26] J. HAPPEL, H. BRENNER - *Low Reynolds number hydrodynamics*, Martinus Nijhoff, Dordrecht, 1986.
- [27] SCHERER W. S. - *Stress from crystallization of salt*. *Construction and Building Materials* 34 (2004) 1613-1624.
- [28] A. LUIKOV - *Heat and Mass Transfer in Capillary Porous Bodies* - Pergamon, Oxford (1966).

- [29] B. H. VOS - *Internal condensation in structures*. Building Science 3 (1969), 191 - 206
- [30] D. DE VRIES - *Simultaneous transfer of heat and moisture in porous media*. Transactions American Geophysical Union 39 (1958) 909 - 916.
- [31] D. DE VRIES - *The theory of heat and moisture transfer in porous media revisited*. Journal of Heat and Mass Transfer 30 (1987) 1343 - 1350.
- [32] H. GLASER. - *Graphisches Verfahren zur Untersuchung von Diffusionvorgängen*. Kältetechnik 11 (1959) 345-355
- [33] J. PHILIP and D. DE VRIES - *Moisture movement in porous materials under temperature gradients*. Transactions American Geophysical Union 38 (1957) 222 - 232.
- [34] O. KRISCHER - *Technique du Séchage*. Trad. CETIAT, 1997.
- [35] P. CRAUSSE - *Étude fondamentale des transferts couplés de chaleur et d'humidité en milieu poreux non saturé*. Thèse d'Etat. Institut National Polytechnique de Toulouse. Toulouse (1983).
- [36] SILVA J. G. - *Acidentes patológicos em paredes de edifícios: Origens, formas de manifestações, medidas preventivas, reparações, exemplos de acidentes*. Lisboa: LNEC, 1983. CPP 510.
- [37] J. VAN DER KOOI - *Moisture transport in autoclaved aerated concrete roofs*. Thesis, Eindhoven University Technology, Waltman, Delft (1971)
- [38] S. LARBI - *Quelques aspects de la physique des transferts en milieux poreux lors d'un processus de humidification par condensation*. Thèse, Institut National Polytechnique de Toulouse, Toulouse (1990).
- [39] HALL CHRISTOPHER, HOFF WILLIAN D. - *Rising damp: capillary rise dynamics in walls* - Proceedings of The Royal Society 463 (2007) 1871-1884.

- [40] HALL CHRISTOPHER, HOFF WILLIAN D. - *Water transport in brick, stone and concrete*- London, UK; New York, NY: Taylor & Francis (2002)
- [41] WIJFFELS T., GROOT C., VAN HEES R.P.J. *Risk factors: practical priorities and a selection tool for the application of restoration plasters*. Report for the COMPASS project - Community Research - Final Report (2007) 209-220.
- [42] ZHANG ZHONGYI - *A Review of Rising Damp in Masonry buildings*. Department of Mechanical and Design Engineering, University of Portsmouth, 2002.
- [43] BUILDING RESEARCH STABLISHMENT (BRE) - *Rising damp in walls: diagnosis and treatment*. *BRE Digest*, 1989. 245.
- [44] HALL CHRISTOPHER. - *Capillary Flows in Building Elements: Sharp Front Theory and Conformal Mapping* - Centre for Materials Science and Engineering - The University of Edinburg EH9 3JL, 2007.
- [45] PEL L., BROCKEN H, KOPINGA K. - *Determination of moisture diffusivity in porous media using moisture concentration profiles*. *Int.J. Heat Mass Transfer*. Vol.39. N° 6, pp 1273-1280. 1996.
- [46] KOPINGA K. and L PEL. - *One dimensional scanning of moisture in porous materials with NMR*, *Rev. Sci. Instrum.* 65, 3673 - 3681 (1994)
- [47] L PEL. - *Moisture transport in porous building materials*. Ph.D. thesis. Eindhoven University of Technology. The Netherlands (1995).
- [48] GROOT C. - *Development of a transport and degradation model for the substrate-render combination*. Report for the COMPASS project - Community Research - Final Report (2007) 93-96.
- [49] MARTINS A. A. A. - *Fenômenos de Transporte em Meios Porosos*. Dissertação de Doutoramento em Engenharia Química - *Escoamento Monofásico e Transporte de Massa*. Porto: FEUP, 2006. Tese para obtenção do grau de Doutor em Engenharia Civil pela Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

[50] MENDES N. - *Modelos para Previsão da Transferência de Calor e de Umidade em Elementos Porosos de Edificações*. Florianópolis, Santa Catarina, UFSC, 1997. Tese para a obtenção do grau de Doutor em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal de Santa Catarina.

[51] PEREIRA DE OLIVEIRA, L. A. - *The influence of masonry grout and constructions systems on the structural masonry behaviour*. (In French). PhD thesis, University of Liège, Belgium, 1992, 189p.

[52] INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DE SÃO PAULO (IPT) - *Método de reconstituição do traço do concreto*. Boletim n.º 25-IPT, São Paulo, Setembro de 1940.

[53] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT) - *Agregados para concreto - Determinação de sais, cloretos e sulfatos solúveis*. Rio de Janeiro: ABNT, Julho de 1987. NBR 9917.

[54] LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL (LNEC) - *Definição de um método de ensaio de absorção de água por capilaridade para amostras de argamassa irregulares e friáveis*. Lisboa: LNEC, Junho de 2000. Relatório 140/00 -NCCt.

[55] PETRUCCI, E.G.R - *Materiais de Construção*. Enciclopédia Técnica Globo: Rio de Janeiro-1979.

[56] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT) - *Moldagem e cura de corpos-de-prova cilíndricos ou prismáticos de concreto*. Rio de Janeiro: ABNT, Abril de 1994. NBR 5738.

[57] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *Materiais pozolânicos - Determinação da variação da retração por secagem devida à utilização de materiais pozolânicos*. Rio de Janeiro, 1992. NBR 12650.

[58] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS: *Cimento Portland - Determinação dos tempos de pega*. Rio de Janeiro, 1991. NBR 11581.

- [59] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS.: *Materiais Pozalânicos*. Rio de Janeiro 1992. NBR 12653.
- [60] LANZÓN MARCOS, GARCÍA-RUIZ P.A. - *Evaluation of capillary water absorption in rendering mortars made with powdered waterproofing additives* - Construction and Building Materials 23 (2009) 3287-3291.
- [61] PAVLÍKOVA M., PAVLÍK Z., KEPPERT M., CERNÝ R. - *Salt transport and storage parameters of renovation plasters and their possible effects on restored buildings' walls*. Construction and Building Materials 25 (2011) 1205-1212.
- [62] R. SNETHLAGE, E. WENDLER - *Moisture cycles and sandstone degradation*, in: N.S. Baer, R. Snethlage (Eds). *Saving our Cultural Heritage : The Conservation of Historic Stone Structure* - Wiley, New York, 1997, pp. 7 - 24.
- [63] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS -ASTM C270 , *Standard Specification for Mortar for Unit Masonry*, 1989.
- [64] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT) - *Agregados - Determinação das impurezas orgânicas húmicas em agregado miúdo*. Rio de Janeiro: ABNT, Agosto de 1987. NBR 7220.
- [65] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT) - *Agregados - Determinação da composição granulométrica*. Rio de Janeiro: ABNT, Agosto de 1987. NBR 7217.
- [66] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT) - *Agregados - Determinação do inchamento de agregado miúdo*. Rio de Janeiro: ABNT, Agosto de 1987. NBR 6467.
- [67] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT) - *Agregado em estado solto - Determinação da massa unitária*. Rio de Janeiro: ABNT, Abril de 1982. NBR 7251.
- [68] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT) - *Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água por imersão - índice de vazios e massa específica*. Rio de Janeiro: ABNT, Março de 1987. NBR 9778.

[69] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT) - *Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos*. Rio de Janeiro: ABNT, Julho de 1994. NBR 5739.

[70] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT) - *Concreto - Determinação da resistência à tração na flexão em corpos-de-prova prismáticos*. Rio de Janeiro: ABNT, Dezembro de 1991. NBR 12142.

[71] LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL (LNEC) - *Desenvolvimento de um ensaio para avaliação da resistência aos sais de revestimentos por pintura para edifícios antigos*. Lisboa: LNEC, Outubro de 2000. Relatório 240/00 - NCCT.

[72] GEYER, R. T. M. - *Influência do choque térmico na aderência de azulejos ao substrato*. Dissertação (Mestrado em Engenharia), Escola de Engenharia, 104 p., Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre, 1994

[73] VEIGA, M.R.; CARVALHO, F. - *Argamassas de reboco para paredes de edifícios antigos: requisitos e características a respeitar*. Lisboa: LNEC, Outubro de 2002. Caderno de Edifícios, nº2.

Anexos

Anexo I

Resultados dos ensaios realizados no edifício selecionado

I-1 - Ensaios “*in situ*”

a) Medição de temperatura e umidade superficial

Tabela I (1) - Medição de temperatura e umidade superficial

Dia	Temperatura média (°C)	Umidade relativa média(%)
01	19,1	90,5
02	18,6	89,3
03	15,2	95,8
04	15,4	97,5
05	14,1	76,8
06	13,2	76,8
07	14,8	74,8
08	15,7	74,5
09	17,7	92,0
10	14,8	68,8
11	17,2	86,8
12	19,6	93,3
13	16,8	83,3
14	17,3	75,5
15	16,9	74,3
16	19,8	93,8
17	21,0	94,8
18	18,3	95,0
19	19,2	92,0
20	20,4	89,8
21	20,3	85,3
22	20,8	87,0
23	18,8	97,0
24	19,6	92,3
25	20,0	88,0

Tabela I (2)-Temperatura e umidade nos pontos de extração das amostras (mês: Maio/hora: 10h).

LOCAL - A	A1	A2	A3	A4	MÉDIA
	Ø1/2"-h=0.50	Ø1/2"-h=1.00	Ø1/2"-h=1.50	S.C.-h=0.50	
Temperatura - °C	15,9	15,7	15,7	15,8	15,8
Umidade - %	85,0	81,0	82,2	85,0	82,7

LOCAL - B	B1	B2	B3	B4	MÉDIA
	Ø1/2"-h=0.50	Ø1/2"-h=1.00	Ø1/2"-h=1.50	S.C.-h=0.50	
Temperatura - °C	15,3	15,1	15,2	15,3	15,2
Umidade - %	81,2	79,5	79,1	81,2	79,9

LOCAL - C	C1	C2	C3	C4	MÉDIA
	Ø1/2"-h=0.50	Ø1/2"-h=1.00	Ø1/2"-h=1.50	S.C.-h=0.50	
Temperatura - °C	15,6	17,4	17,0	15,6	16,7
Umidade - %	90,6	78,5	81,7	90,6	83,6

LOCAL - D	D1	D2	D3	D4	MÉDIA
	Ø1/2"-h=0.50	Ø1/2"-h=1.00	Ø1/2"-h=1.50	S.C.-h=0.50	
Temperatura - °C	17,5	22,0	21,5	17,5	20,3
Umidade - %	78,7	63,0	60,4	78,7	67,4

LOCAL - E	E1	E2	E3	E4	MÉDIA
	Ø1/2"-h=0.50	Ø1/2"-h=1.00	Ø1/2"-h=1.50	S.C.-h=0.50	
Temperatura - °C	16,5	16,8	16,0	16,5	16,4
Umidade - %	76,4	76,0	75,6	76,4	76,0

Broca com Ø ½" - S.C.= serra copo

Tabela I (3)-Temperatura e umidade nos pontos de extração das amostras (mês: Maio/hora: 10h).

LOCAL - A	A1	A2	A3	A4	MÉDIA
	Ø1/2"-h=0.50	Ø1/2"-h=1.00	Ø1/2"-h=1.50	S.C.-h=0.50	
Temperatura - °C	16,7	15,0	14,6	16,7	15,8
Umidade - %	66,0	64,7	67,5	66,0	66,0

LOCAL - B	B1	B2	B3	B4	MÉDIA
	Ø1/2"-h=0.50	Ø1/2"-h=1.00	Ø1/2"-h=1.50	S.C.-h=0.50	
Temperatura - °C	14,2	13,5	13,6	14,2	13,9
Umidade - %	67,6	69,0	69,8	67,6	68,5

LOCAL - C	C1	C2	C3	C4	MÉDIA
	Ø1/2"-h=0.50	Ø1/2"-h=1.00	Ø1/2"-h=1.50	S.C.-h=0.50	
Temperatura - °C	13,3	14,3	14,5	13,3	13,9
Umidade - %	80,5	70,0	70,0	80,5	75,3

LOCAL - D	D1	D2	DA3	D4	MÉDIA
	Ø1/2"-h=0.50	Ø1/2"-h=1.00	Ø1/2"-h=1.50	S.C.-h=0.50	
Temperatura - °C	14,0	17,0	19,3	14,0	13,6
Umidade - %	71,5	64,0	55,0	71,5	65,5

LOCAL - E	E1	E2	E3	E4	MÉDIA
	Ø1/2"-h=0.50	Ø1/2"-h=1.00	Ø1/2"-h=1.50	S.C.-h=0.50	
Temperatura - °C	14,0	13,2	13,5	14,0	13,7
Umidade - %	75,5	69,1	68,0	75,5	72,0

Broca com Ø 1/2" - S.C.= serra copo

Tabela I (4)-Temperatura e umidade nos pontos de extração das amostras (mês: Maio/hora: 10h).

LOCAL - A	A1	A2	A3	A4	MÉDIA
	Ø1/2"-h=0.50	Ø1/2"-h=1.00	Ø1/2"-h=1.50	S.C.-h=0.50	
Temperatura - °C	13,3	13,3	13,3	13,3	13,3
Umidade - %	82,0	81,0	81,0	82,0	81,5

LOCAL - B	B1	B2	B3	B4	MÉDIA
	Ø1/2"-h=0.50	Ø1/2"-h=1.00	Ø1/2"-h=1.50	S.C.-h=0.50	
Temperatura - °C	13,9	14,2	14,2	13,9	14,0
Umidade - %	80,2	80,0	80,0	80,2	80,1

LOCAL - C	C1	C2	C3	C4	MÉDIA
	Ø1/2"-h=0.50	Ø1/2"-h=1.00	Ø1/2"-h=1.50	S.C.-h=0.50	
Temperatura - °C	15,8	15,7	15,7	15,8	15,8
Umidade - %	71,5	73,7	73,7	71,5	72,6

I.8

LOCAL - D	D1	D2	D3	D4	MÉDIA
	Ø1/2"-h=0.50	Ø1/2"-h=1.00	Ø1/2"-h=1.50	S.C.-h=0.50	
Temperatura - °C	15,9	16,7	16,7	15,9	16,3
Umidade - %	73,5	72,5	72,5	73,5	73,0

LOCAL - E	E1	E2	E3	E4	MÉDIA
	Ø1/2"-h=0.50	Ø1/2"-h=1.00	Ø1/2"-h=1.50	S.C.-h=0.50	
Temperatura - °C	14,2	14,6	14,6	14,2	14,4
Umidade - %	78,6	78,2	78,2	78,6	78,4

Broca com Ø ½" - S.C.= serra copo

Tabela I (5) - Média dos três períodos analisados

Local	Média da temperatura	Média do teor de umidade
A	14,9	76,7
B	14,4	76,2
C	15,5	77,2
D	16,7	68,6
E	14,8	75,5

I-2 - Ensaio laboratoriais

a) Ensaio para a determinação do teor de água das amostras de argamassa e do solo extraídos do edifício selecionado

Tabela I (6) - Teor de água das amostras do edifício selecionado

Local A (porão norte)	A1 (*)	A2 (*)	A3 (*)	A4 (**)	A5
	Ø1/2"-h=0.50	Ø1/2"-h=1.00	Ø1/2"-h=1.50	S.C. h=0.50	Solo
Cápsula Número:	17A	28A	27A	41	—
Massa-úmida com tara (grs)	17,10	22,94	29,57	78,53	—
Massa-úmida sem tara (grs)	5,31	10,37	18,09	49,18	—
Massa da água (grs)	0,24	0,07	0,46	2,36	—
Tara da cápsula (grs)	11,79	12,57	11,48	29,35	—
Massa da amostra seca (grs)	5,07	10,30	17,63	46,82	—
Teor de umidade (%)	4,7	0,7	2,5	5,0	—

(*) Broca com Ø ½" (**) S.C.= serra copo

Tabela I (7) - Teor de água das amostras do edifício selecionado

Local B (pátio sul)	B1 (*)	B2 (*)	B3 (*)	B4 (**)	B5
	Ø1/2"-h=0.50	Ø1/2"-h=1.00	Ø1/2"-h=1.50	S.C. h=0.50	Solo
Cápsula Número:	15A	412	10A	03	232
Massa-úmida com tara (grs)	16,71	19,48	32,35	81,49	103,70
Massa-úmida sem tara (grs)	3,90	9,10	21,18	50,29	74,52
Massa da água (grs)	0,17	0,32	0,51	2,91	15,83
Tara da cápsula (grs)	12,81	10,38	11,17	31,20	29,18
Massa da amostra seca (grs)	3,73	8,78	20,67	47,38	58,69
Teor de umidade (%)	4,6	3,6	2,5	6,1	27,0

(*) Broca com Ø ½" (**) S.C.= serra copo

Tabela I (8) - Teor de água das amostras do edifício selecionado

Local C (pátio leste)	C1 (*)	C2 (*)	C3 (*)	C4 (**)	C5
	Ø1/2"-h=0.50	Ø1/2"-h=1.00	Ø1/2"-h=1.50	S.C. h=0.50	Solo
Cápsula Número:	64	26A	24A	07	43
Massa-úmida com tara (grs)	16,86	20,61	33,38	153,11	152,57
Massa-úmida sem tara (grs)	5,35	9,53	19,33	123,58	124,09
Massa da água (grs)	0,10	0,02	0,07	2,9	20,07
Tara da cápsula (grs)	11,51	11,08	14,05	29,53	28,48
Massa da amostra seca (grs)	5,25	9,51	19,26	120,68	104,02
Teor de umidade (%)	1,9	0,2	0,4	2,4	19,3

(*) Broca com Ø ½" (**) S.C.= serra copo

Tabela I (9) - Teor de água das amostras do edifício selecionado

Local D (galeria sul)	D1 (*)	D2 (*)	D3 (*)	D4 (**)	D5
	Ø1/2"-h=0.50	Ø1/2"-h=1.00	Ø1/2"-h=1.50	S.C. h=0.50	Solo
Cápsula Número:	21 ^A	08	520	40	—
Massa-úmida com tara (grs)	16,43	19,25	33,98	68,94	—
Massa-úmida sem tara (grs)	3,62	9,48	23,40	39,76	—
Massa da água (grs)	0,16	0,52	0,47	2,86	—
Tara da cápsula (grs)	12,81	9,77	10,58	29,18	—
Massa da amostra seca (grs)	3,46	8,96	22,93	36,90	—
Teor de umidade (%)	4,6	5,8	2,1	7,8	—

(*) Broca com Ø ½" (**) S.C.= serra copo

Tabela I (10) - Teor de água das amostras do edifício selecionado

Local E (fachada sul)	E1 (*)	E2 (*)	E3 (*)	E4 (**)	E5
	Ø1/2"-h=0.50	Ø1/2"-h=1.00	Ø1/2"-h=1.50	S.C. h=0.50	Solo
Cápsula Número:	02	68	420	F	04
Massa-úmida com tara (grs)	14,64	20,90	20,14	152,80	133,27
Massa-úmida sem tara (grs)	4,87	9,13	10,00	122,16	103,09
Massa da água (grs)	0,18	0,32	0,26	8,53	10,26
Tara da cápsula (grs)	9,77	11,77	10,14	30,64	30,18
Massa da amostra seca (grs)	4,69	8,81	9,74	113,63	92,83
Teor de umidade (%)	3,8	3,6	2,7	7,5	11,1

(*)Broca com Ø 1/2" (**) S.C.= serra copo

b) Ensaio para a reconstituição de traço nas amostras extraídas

Tabela I (11) - Reconstituição de traço das Amostras

Análise	Amostra A	Amostra B	Amostra C	Amostra D	Amostra E
massa original da amostra triturada	254,09g	283,04g	207,17g	201,78g	222,05g
massa original da amostra triturada seca P1	240,35g	273,63g	202,64g	185,94g	210,79g
massa do filtro de papel P2	3,14g	3,10g	1,57g	1,58g	1,56g
massa do filtro de papel mais finos secos P3	10,54g	13,31g	7,22g	5,52g	4,55g
massa dos finos secos (P3-P2)	7,40g	10,21g	5,65g	3,94g	2,99g
massa da areia seca P4	197,17g	220,40g	157,78g	167,93g	191,51g
% de areia [(P4/P1)x100]	82,42%	80,55%	77,86%	90,31%	90,85%
% de finos [(P3-P2/P1)x100]	3,08%	3,73%	2,79%	2,12%	1,42%
% de aglomerante dissolvido	14,5%	15,72%	19,35%	7,57%	7,73%
Traço em massa	1:5,90	1:5,36	1:4,17	1:12,21	1:11,94
Traço em volume	1:4,40	1:4,00	1:3,11	1:9,11	1:8,91

Reconstituição de traço da Amostra A - Porão interno/setor norte

Análise:

massa original da amostra triturada	254,09 g
massa original da amostra triturada e seca P1	240,35 g
massa do filtro de papel P2 (2x1,57).....	3,14 g
massa do filtro de papel mais finos secos P3.....	10,54 g
massa dos finos secos (P3 - P2)	7,40 g
Massa da areia seca P4	197,17 g
% de areia [(P4/P1) x 100]	82,42%
% de finos [(P3 - P2 / P1) x 100]	3,08%
% de aglomerante dissolvido	14,5%
Traço em massa - 1:5,90 Traço em volume -	1: 4,40

Tabela I (12) - Análise Granulométrica da Areia - Amostra A

Peneiras		Massa(grams)	%Retido	%Acumulado	NBR 7211	
Número	Abertura(mm)				Ótima	Utilizável
4	4,8	4,95	2,50	2,50	3 - 5	0 - 3
8	2,4	27,32	13,86	16,36	29 - 43	13 - 29
16	1,2	32,95	16,71	33,07	49 - 64	23 - 49
30	0,6	40,94	20,76	53,83	68 - 83	42 - 68
50	0,3	29,26	14,84	68,67	83 - 94	73 - 83
100	0,15	49,21	24,96	93,63	93 - 98	88 - 93
200	0,075	11,13	5,65	99,28	< 3%	< 5%
Resíduo (fundo)		1,41	0,72	100,00	-	-
Soma		197,17	100,00	-		
Módulo de Finura- 2,68						

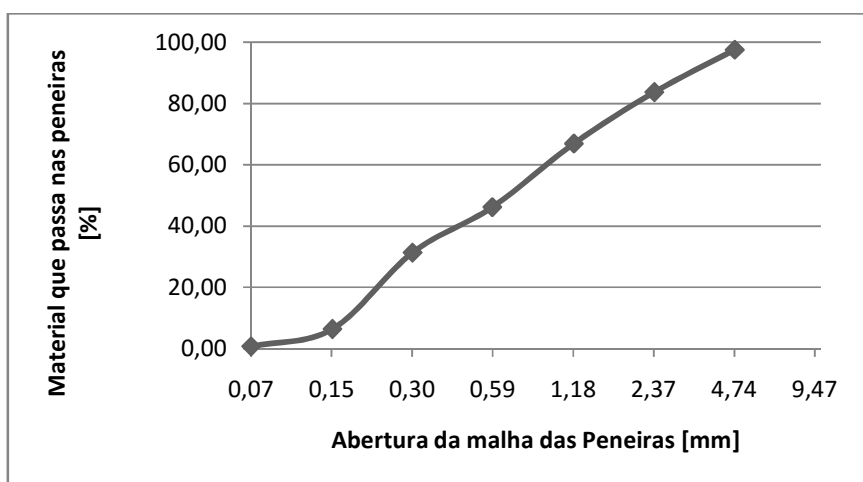


Figura I.(1) - Curva granulométrica da amostra A

Reconstituição de traço da Amostra B - pátio interno/setor sul

Análise:

massa original da amostra triturada	283,04 g
massa original da amostra triturada e seca P1	273,63 g
massa do filtro de papel P2 (2x1,55).....	3,10 g
massa do filtro de papel mais finos secos P3.....	13,31 g
massa dos finos secos (P3 - P2)	10,21g
massa da areia seca P4	220,40 g
% de areia [(P4/P1) x 100]	80,55%
% de finos [(P3 - P2 / P1) x 100]	3,73%
% de aglomerante dissolvido	15,72%
Traço em massa - 1:5,36 Traço em volume -	1: 4,00

Tabela I (13) - Análise Granulométrica da Areia - Amostra B

Peneiras		Massa (grs)	%Retido	%Acumulado	NBR 7211	
Número	Abertura(mm)				Ótima	Utilizável
4	4,8	4,47	2,03	2,03	3 - 5	0 - 3
8	2,4	22,98	10,43	12,46	29 - 43	13 - 29
16	1,2	37,39	16,96	29,42	49 - 64	23 - 49
30	0,6	49,16	22,30	51,72	68 - 83	42 - 68
50	0,3	34,77	15,78	67,50	83 - 94	73 - 83
100	0,15	56,48	25,63	93,13	93 - 98	88 - 93
200	0,075	14,25	6,47	99,60	< 3%	< 5%
Resíduo (fundo)		0,90	0,40	100,00	-	-
Soma		220,40	100,00	-		
Módulo de Finura- 2,56						

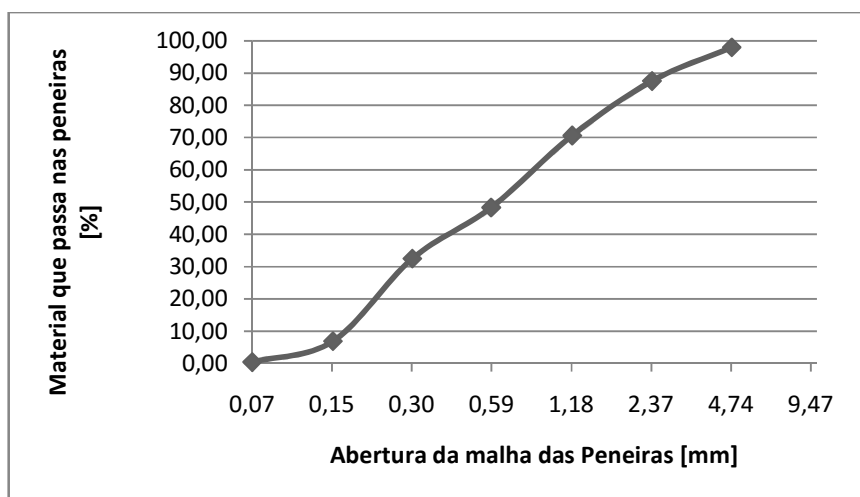


Figura I.(2) - Curva granulométrica da amostra B

Reconstituição de traço da Amostra C - pátio fundos/setor leste

Análise:

massa original da amostra triturada	207,17 g
massa original da amostra triturada e seca P1	202,64 g
massa do filtro de papel P2	1,57 g
massa do filtro de papel mais finos secos P3.....	7,22 g
massa dos finos secos (P3 - P2)	5,65 g
massa da areia seca P4	157,78 g
% de areia [(P4/P1) x 100]	77,86%
% de finos [(P3 - P2 / P1) x 100]	2,79%
% de aglomerante dissolvido	19,35%
Traço em massa - 1:4,17 Traço em volume -	1: 3,11

Tabela I (14) - Análise Granulométrica - Amostra C

Peneiras		Massa(grs)	% Retido	%Acumulado	NBR 7211	
Número	Abertura(mm)				Ótima	Utilizável
4	4,8	-	-	-	3 - 5	0 - 3
8	2,4	12,73	7,24	7,24	29 - 43	13 - 29
16	1,2	32,11	18,27	25,51	49 - 64	23 - 49
30	0,6	44,50	25,32	50,83	68 - 83	42 - 68
50	0,3	40,54	23,06	73,89	83 - 94	73 - 83
100	0,15	43,80	24,92	98,81	93 - 98	88 - 93
200	0,075	2,10	1,19	100,00	< 3%	< 5%
Resíduo (fundo)		-	-	-	-	-
Soma		175,78	100,00	-		
		Módulo de Finura - 2,56				

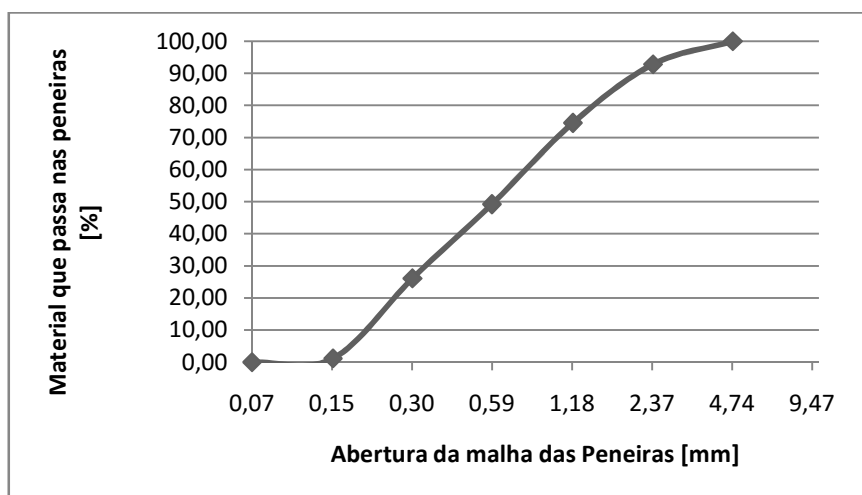


Figura I (3) -Curva granulométrica da amostra C

Reconstituição de traço da Amostra D - galeria interna/setor sul

Análise:

massa original da amostra triturada.....	201,78 g
massa original da amostra triturada e seca P1	185,94 g
massa do filtro de papel P2	1,58 g
massa do filtro de papel mais finos secos P3.....	5,52 g
massa dos finos secos (P3 - P2)	3,94 g
massa da areia seca P4	167,93 g
% de areia [(P4/P1) x 100]	90,31%
% de finos [(P3 - P2 / P1) x 100]	2,12%
% de aglomerante dissolvido	7,57%
Traço em massa - 1:12,21	Traço em volume - 1: 9,11

Tabela I (15) - Análise Granulométrica - Amostra D

Peneiras		Massa (grs)	% Retido	%Acumulado	NBR 7211	
Número	Abertura(mm)				Ótima	Utilizável
4	4,8	3,60	2,14	2,14	3 - 5	0 - 3
8	2,4	30,56	18,20	20,34	29 - 43	13 - 29
16	1,2	36,60	21,79	42,13	49 - 64	23 - 49
30	0,6	35,00	20,84	62,97	68 - 83	42 - 68
50	0,3	33,40	19,89	82,86	83 - 94	73 - 83
100	0,15	26,00	15,49	98,35	93 - 98	88 - 93
200	0,075	2,50	1,49	99,84	< 3%	< 5%
Resíduo (fundo)		0,27	0,16	100,00	-	-
Soma		167,93	100,00	-		
Módulo de Finura - 3,09						

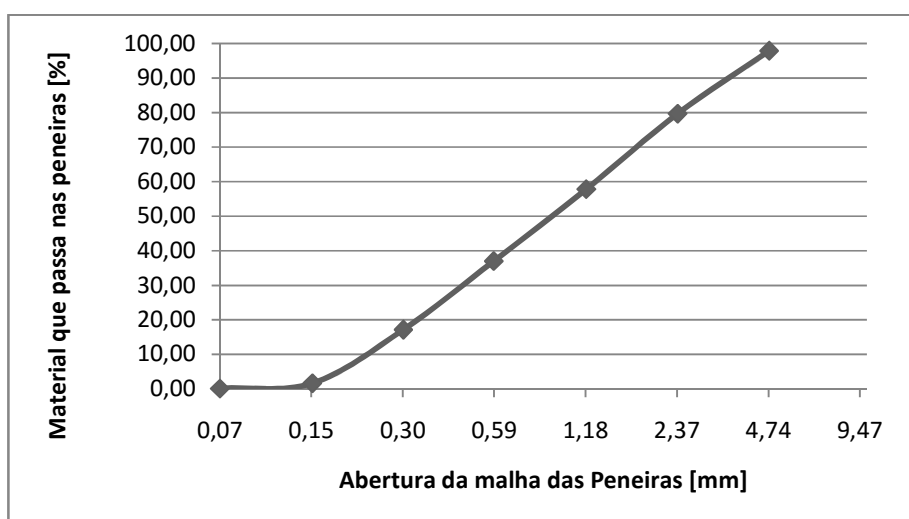


Figura I (4) - Curva granulométrica da amostra D

Reconstituição de traço da Amostra E - fachada principal/setor sul

Análise:

massa original da amostra triturada	222,05 g
massa original da amostra triturada e seca P1	210,79 g
massa do filtro de papel P2	1,56 g
massa do filtro de papel mais finos secos P3.....	4,55 g
massa dos finos secos (P3 - P2)	2,99 g
massa da areia seca P4	191,51 g
% de areia [(P4/P1) x 100]	90,85%
% de finos [(P3 - P2 / P1) x 100]	1,42%
% de aglomerante dissolvido	7,73%
Traço em massa - 1:11,94 Traço em volume -	1: 8,91

Tabelal (16) - Análise Granulométrica - Amostra E

Peneiras		Massa(grs)	%Retido	%Acumulado	NBR 7211	
Número	Abertura(mm)				Ótima	Utilizável
4	4,8	7,74	4,04	4,04	3 - 5	0 - 3
8	2,4	24,00	12,53	16,57	29 - 43	13 - 29
16	1,2	26,56	13,87	30,44	49 - 64	23 - 49
30	0,6	20,88	10,90	41,34	68 - 83	42 - 68
50	0,3	21,56	11,26	52,60	83 - 94	73 - 83
100	0,15	82,74	43,20	95,80	93 - 98	88 - 93
200	0,075	7,24	3,78	99,58	< 3%	< 5%
Resíduo (fundo)		0,79	0,42	100,00	-	-
Soma		191,51	100,00	-		
Módulo de Finura - 2,41						

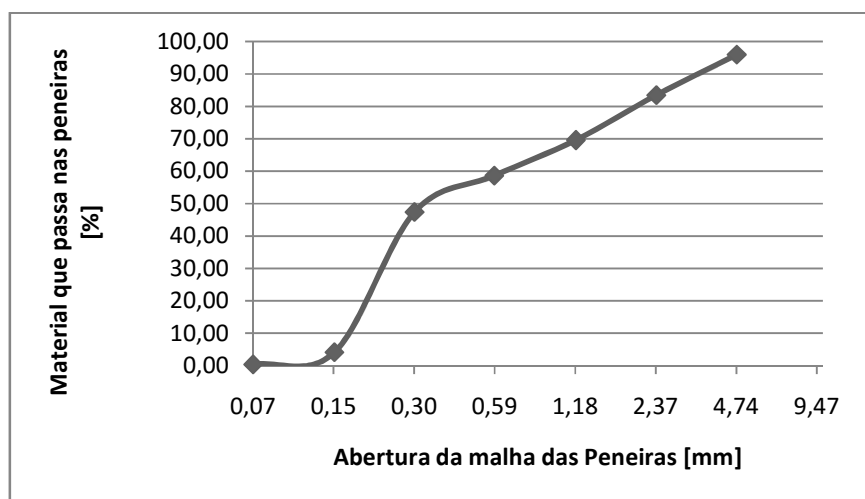


Figura I (5) - Curva granulométrica da amostra E

c) Ensaio para a identificação de sais nas amostras extraídas do edifício selecionado

Tabela I (17) - Teor de sais solúveis nas amostras extraídas do edifício selecionado

Teores de sais solúveis nas amostras extraídas		
Amostras	Sulfatos (%)	Cloretos (%)
Reboco A	0,0216	0,0133
Reboco B	0,0174	0,0384
Reboco C	-	0,1019
Reboco D	0,2343	0,0665
Reboco E	0,1106	0,1412
Tijolo	0,0272	0,0177
Solo B	-	0,0220
Solo C	0,0041	0,0015
Solo E	-	0,0262

d) Ensaio para a verificação de eflorescências nas amostras de tijolos extraídos do edifício

Metodologia descrita em 5.2.3(b)6 e ensaios em 7.8.1.1(a)

e) Ensaio para a determinação de absorção de água por capilaridade e secagem da água absorvida nas amostras de reboco extraídas do edifício selecionado

Tabela I (18) - Absorção capilar da Amostra A

Tempo (min)	Água absorvida(g)			Área(cm ²)			Água absorvida por unidade de área (Kg/m ²)				Coeficiente de capilaridade por contato (kg/m ² .min. ^{0,5})
	P1	P2	P3	P1	P2	P3	P1	P2	P3	Média	
0	0,00	0,00	0,00	8,00	6,00	7,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Ccc = 1,3729
5	7,38	4,78	11,25				0,03	0,21	0,97	0,07	
10	2,69	9,86	3,37				0,80	0,32	0,35	0,82	
15	42,38	2,26	3,38				0,23	0,84	0,35	0,47	
20	47,79	23,27	4,00				0,03	0,06	0,46	0,85	
25	50,69	3,57	4,69				0,45	0,12	0,47	0,01	
30	1,39	3,60	4,71				0,56	0,13	0,58	0,09	
35	4,39	3,94	4,75				0,00	0,20	0,59	0,26	
40	4,39	3,94	6,15				0,00	0,20	0,83	0,34	
60	4,39	3,94	7,12				0,00	0,20	0,00	0,40	
90	4,39	3,94	7,12				0,00	0,20	0,00	0,40	Ccc (90-10) = 0,2498
180	4,39	3,94	8,80				0,06	0,20	0,30	0,52	
300	4,79	23,94	9,27				0,06	0,20	0,38	0,55	
400	5,89	3,94	9,27				0,22	0,20	0,38	0,60	
1440	5,89	3,94	9,27				0,22	0,20	0,38	0,60	Ccc 24h = 0,1476

Tabela.I (19) - Absorção capilar da Amostra B

Tempo (min.)	Água absorvida (g)			Área (cm ²)			Água absorvida por unidade de área (Kg/m ²)				Coeficiente de capilaridade por contato (kg/m ² .min. ^{0,5})
	P1	P2	P3	P1	P2	P3	P1	P2	P3	Média	
0	0,00	0,00	0,00	0,00	8,00	6,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Ccc = 1,6457
5	5,44	1,65	4,43				0,83	0,51	0,70	0,68	
10	9,39	3,60	5,38				0,37	0,51	0,85	0,01	
15	3,12	5,72	5,72				0,68	0,36	0,90	0,31	
20	6,79	6,03	5,73				0,09	0,43	0,90	0,47	
25	6,83	6,36	7,06				0,09	0,49	0,10	0,56	
30	8,09	6,43	7,11				0,23	0,51	0,11	0,62	
35	8,10	6,64	7,13				0,23	0,55	0,11	0,63	
40	8,10	6,65	28,77				0,23	0,55	0,36	0,71	
60	8,55	6,68	8,93				0,28	0,60	0,38	0,75	
90	38,55	6,68	9,09				0,28	0,60	0,41	0,76	Ccc (90-10) = 0,1186
180	8,55	6,68	9,10				0,28	0,60	0,41	0,76	
300	8,55	6,68	9,10				0,28	0,60	0,41	0,76	
400	8,55	6,68	9,10				0,28	0,60	0,41	0,76	
1440	8,55	6,68	9,10				0,28	0,60	0,41	0,76	Ccc 24h = 0,1254

Tabela I (20) -Absorção capilar da Amostra C

Tempo (min.)	Água absorvida (g)			Área (cm ²)			Água absorvida por unidade de área (Kg/m ²)				Coeficiente de capilaridade por contato (kg/m ² .min. ^{0,5})
	P1	P2	P3	P1	P2	P3	P1	P2	P3	Média	
0	0,00	0,00	0,00	5,00	1,00	8,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Ccc = 1,5295
5	5,22	2,83	7,71				2,97	3,74	3,55	0,42	
10	5,51	3,30	7,78				3,00	3,82	3,57	3,46	
15	0,86	3,80	7,78				3,63	3,90	3,57	3,70	
20	2,06	4,86	7,90				3,77	4,08	3,58	3,81	
25	2,09	4,92	7,90				3,78	4,09	3,58	3,82	
30	2,09	5,12	7,90				3,78	4,12	3,58	3,83	
35	2,26	5,12	7,90				3,80	4,12	3,58	3,83	
40	2,26	5,14	7,91				3,80	4,12	3,58	3,83	
60	2,26	5,14	7,91				3,80	4,12	3,58	3,83	
90	2,26	5,14	7,91				3,80	4,12	3,58	3,83	Ccc (90-10) = 0,0585
180	2,26	5,14	7,91				3,80	4,12	3,58	3,83	
300	2,26	5,14	7,92				3,80	4,12	3,58	3,83	
400	2,26	5,14	7,92				3,80	4,12	3,58	3,83	
1440	2,26	5,14	7,92				3,80	4,12	3,58	3,83	Ccc 24h = 0,1009

Tabela I (21) -Absorção capilar da Amostra D

Tempo (min.)	Água absorvida (g)			Área (cm ²)			Água absorvida por unidade de área (Kg/m ²)				Coeficiente de capilaridade por contato (kg/m ² .min. ^{0,5})
	P1	P2	P3	P1	P2	P3	P1	P2	P3	Média	
0	0,00	0,00	0,00	4,00	6,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Ccc = 1,5429
5	16,12	14,15	19,02				2,18	5,44	2,72	3,45	
10	21,26	15,90	20,33				2,87	6,12	2,90	3,96	
15	22,22	17,18	22,32				3,00	6,61	3,19	4,27	
20	24,32	17,52	23,76				3,29	6,74	3,39	4,47	
25	24,39	17,80	24,16				3,30	6,85	3,45	4,53	
30	26,64	17,80	26,35				3,63	6,85	3,76	4,75	
35	26,88	18,92	27,20				3,63	7,28	3,89	4,93	
40	26,96	19,28	28,38				3,64	7,42	4,05	5,04	
60	27,96	19,48	28,76				3,78	7,49	4,11	5,13	
90	29,32	20,52	28,81				3,96	7,89	4,12	5,32	Ccc (90-10) = 0,2150
180	32,64	20,53	30,24				4,41	7,89	4,32	5,54	
300	34,32	21,97	30,42				4,64	8,45	4,36	5,82	
400	34,32	21,97	30,42				4,64	8,45	4,36	5,82	
1440	34,32	21,97	30,42				4,64	8,45	4,36	5,82	Ccc 24h = 0,1534

Tabela I (22) -Absorção capilar da Amostra E

Tempo (min.)	Água absorvida (g)			Área (cm ²)			Água absorvida por unidade de área (Kg/m ²)				Coeficiente de capilaridade por contato (kg/m ² .min. ^{0,5})
	P1	P2	P3	P1	P2	P3	P1	P2	P3	Média	
0	0,00	0,00	0,00	5,00	8,00	8,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Ccc = 1,1538
5	25,03	22,81	13,67				2,63	3,35	1,75	2,58	
10	30,94	32,12	19,69				3,26	4,72	2,52	3,50	
15	35,40	36,89	21,91				3,73	5,43	2,81	3,99	
20	39,40	39,74	25,58				4,15	5,84	3,28	4,42	
25	40,30	42,85	27,25				4,24	6,30	3,49	4,68	
30	44,35	44,02	29,85				4,67	6,47	3,83	4,99	
35	44,38	44,14	30,90				4,67	6,49	3,96	5,04	
40	44,39	44,54	31,18				4,67	6,55	4,00	5,07	
60	45,20	45,29	32,49				4,76	6,66	4,17	5,20	
90	45,20	45,75	32,49				4,76	6,73	4,17	5,22	Ccc (90-10) = 0,2720
180	45,20	45,84	32,49				4,76	6,74	4,17	5,22	
300	45,20	45,88	32,76				4,76	6,75	4,20	5,24	
400	45,20	45,88	32,77				4,76	6,75	4,20	5,24	
1440	45,20	45,88	32,77				4,76	6,75	4,20	5,24	Ccc 24h = 0,1381

Tabela I (23) -Secagem da água absorvida da Amostra A

Tempo(min)	Massa inicial (g)	Água retida por unidade de área (Kg/m ²)			
		P1	P2	P3	Média
0	P1 = 466,31 P2 = 228,92 P3 = 217,19	55,89	23,94	19,27	33,03
30		52,99	21,72	16,17	30,29
60		51,59	20,63	15,43	29,22
90		50,09	19,73	14,66	28,16
270		40,59	15,38	11,02	22,33
450		32,69	9,55	8,46	16,90
1440		16,66	2,35	0,99	6,67
2880		1,21			1,21

Tabela I (24) -Secagem da água absorvida da Amostra B

Tempo (min)	Massa inicial (g)	Água retida por unidade de área (Kg/m ²)			
		P1	P2	P3	Média
0	P1 = 411,88 P2 = 260,40 P3 = 330,83	38,55	26,88	29,09	31,51
30		34,52	23,85	26,27	28,21
60		33,76	22,97	25,66	27,46
90		32,91	22,50	24,84	26,75
270		26,68	19,25	21,07	22,33
450		21,04	13,76	18,77	17,86
1440		8,79	5,56	10,53	8,29
2880				4,95	4,95
4320				0,18	0,18

Tabela I (25) -Secagem da água absorvida da Amostra C

Tempo (min)	Massa inicial (g)	Água retida por unidade de área (Kg/m ²)			
		P1	P2	P3	Média
0	P1 = 305,74 P2 = 229,43 P3 = 271,50	32,26	25,11	27,92	28,43
30		25,26	21,36	22,45	23,02
60		24,58	20,81	21,90	22,43
90		23,89	20,40	21,25	21,85
270		18,60	17,27	17,82	17,90
450		13,82	12,02	15,45	13,76
1440		3,05	4,40	7,38	4,94
2880				0,60	0,60

Tabela I (26) -Secagem da água absorvida da Amostra D

Tempo (min)	Massa inicial (g)	Água retida por unidade de área (Kg/m ²)			
		P1	P2	P3	Média
0	P1 = 373,98 P2 = 232,92 P3 = 343,04	34,32	21,96	30,42	28,90
30		29,72	18,87	26,62	25,07
60		28,99	18,26	25,96	24,40
90		28,22	17,82	25,37	23,80
270		22,18	14,49	22,13	19,60
450		17,21	8,50	19,70	15,14
1440		6,59	2,63	11,41	6,88
2880		0,35		5,21	2,78
4320				0,83	0,83

Tabela I (27) -Secagem da água absorvida da Amostra E

Tempo (min)	Massa inicial (g)	Água retida por unidade de área (Kg/m ²)			
		P1	P2	P3	Média
0	P1 = 352,80 P2 = 366,56 P3 = 270,50	45,20	45,88	32,77	41,28
30		40,00	43,00	29,38	37,46
60		39,26	42,27	28,75	36,76
90		38,24	41,75	28,14	36,04
270		30,48	37,31	24,53	30,77
450		24,13	30,95	21,87	25,65
1440		10,84	18,46	10,91	13,40
2880			8,71	3,15	5,93

f) Determinação da porosidade e absorção de água por capilaridade dos tijolos a serem utilizados nos painéis experimentais.

Tabela I (28) -Absorção capilar dos tijolos avaliados

Tempo (min.)	Água absorvida(g)			Área(cm ²)			Água absorvida por unidade de área (kg/m ²)				Coeficiente de capilaridade por contato(kg/m ² .min ^{0,5})
	P ₁	P ₂	P ₃	P ₁	P ₂	P ₃	P ₁	P ₂	P ₃	Média	
0	0,00	0,00	0,00	185,25			0,00	0,00	0,00	0,00	
5	58,95	64,11	65,30		3,18	3,46	3,52	3,39	Ccc5 =1,5161		
10	80,35	87,91	90,50		4,34	4,75	4,89	4,65			
15	88,95	94,01	93,60		4,80	5,07	5,05	4,97			
20	101,45	103,91	107,70		5,48	5,61	5,81	5,63			
25	111,95	115,21	117,90		6,04	6,22	6,36	6,21			
30	118,95	121,11	125,80		6,42	6,54	6,79	6,58			
35	128,15	130,71	134,80		6,92	7,06	7,28	7,09			
40	136,45	139,01	143,30		7,37	7,50	7,74	7,54			
60	159,65	160,91	169,70		8,62	8,69	9,16	8,82			
90	188,75	190,61	198,90		10,19	10,29	10,74	10,41	Ccc(90-10)=0,9107		
180	207,45	207,61	215,70		11,20	11,21	11,64	11,35			
300	210,15	208,91	217,60		11,34	11,28	11,75	11,46			
400	211,15	212,91	218,00		11,40	11,49	11,77	11,55			
1440	212,15	214,61	218,70		11,45	11,58	11,81	11,61	Ccc 24hrs=0,3060		

Anexo II

Resultados dos ensaios nos constituintes e nas argamassas de reabilitação

II-1-Ensaio nos constituintes das argamassas trabalhadas

II-1.1 - Ensaio nas areias da região

a) Ensaio para a determinação de impurezas orgânicas das areias

Tabela II (1) - Impurezas orgânicas das areias

Impurezas das areias	
Amostra 01	Baixo índice de impurezas *
Amostra 02	Baixíssimo índice de impurezas *
Amostra 03	Elevadíssimo índice de impurezas **
Amostra 04	Baixo índice de impurezas *
Amostra 05	Elevado índice de impurezas **
Amostra 06	Baixo índice de impurezas *

(*)areias próprias ao uso (**)areias impróprias ao uso

b) Ensaio para a determinação da composição granulométrica

Tabela II (2) - Análise granulométrica da Areia- AMOSTRA 1

Peneiras		Massa (gramas)	%Retido	%Acumulado	NBR 7211	
Número	Abertura (mm)				Ótima	Utilizável
4	4,8	4,80	0,25	0,25	3 - 5	0 - 3
8	2,4	149,40	7,86	8,11	29 - 43	13 - 29
16	1,2	304,99	16,05	24,16	49 - 64	23 - 49
30	0,6	806,08	42,43	66,59	68 - 83	42 - 68
50	0,3	499,50	26,30	92,89	83 - 94	73 - 83
100	0,15	120,99	6,37	99,26	93 - 98	88 - 93
200	0,075	12,03	0,63	99,89	< 3%	< 5%
Resíduo (fundo)		2,01	0,11	100,00	-	-
Soma		1899,80	100,00	-		
Módulo de Finura- 2,91						

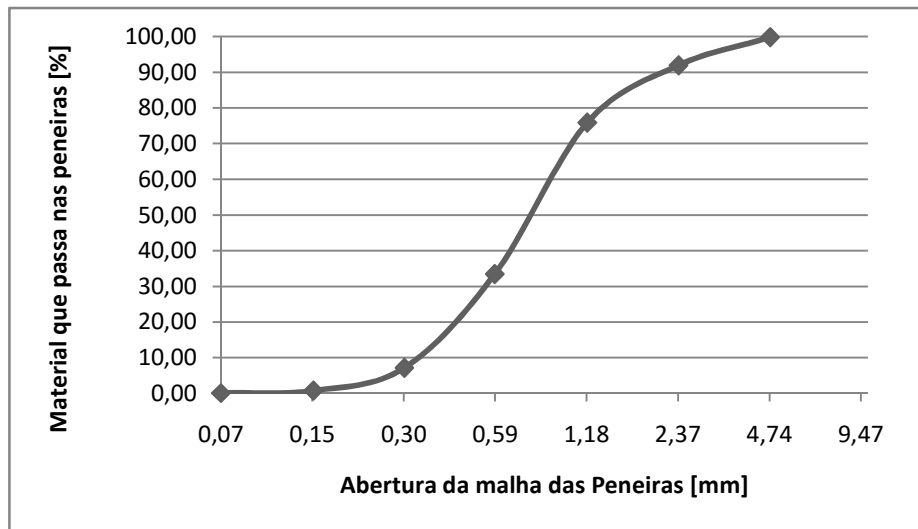


Figura II (1) - Curva granulométrica da areia 1

Tabela II (3) - Análise granulométrica da Areia- AMOSTRA 2

Peneiras		Massa (gramas)	% Retido	%Acumulado	NBR 7211	
Número	Abertura (mm)				Ótima	Utilizável
4	4,8	0,82	0,04	0,04	3 - 5	0 - 3
8	2,4	79,64	4,17	4,21	29 - 43	13 - 29
16	1,2	412,55	21,59	25,80	49 - 64	23 - 49
30	0,6	661,52	34,62	60,42	68 - 83	42 - 68
50	0,3	550,60	28,81	89,22	83 - 94	73 - 83
100	0,15	159,50	8,35	97,57	93 - 98	88 - 93
200	0,075	40,70	2,13	99,70	< 3%	< 5%
Resíduo (fundo)		5,50	0,30	100,00	-	-
Soma		1910,83	100,00	-		
Módulo de Finura- 2,77						

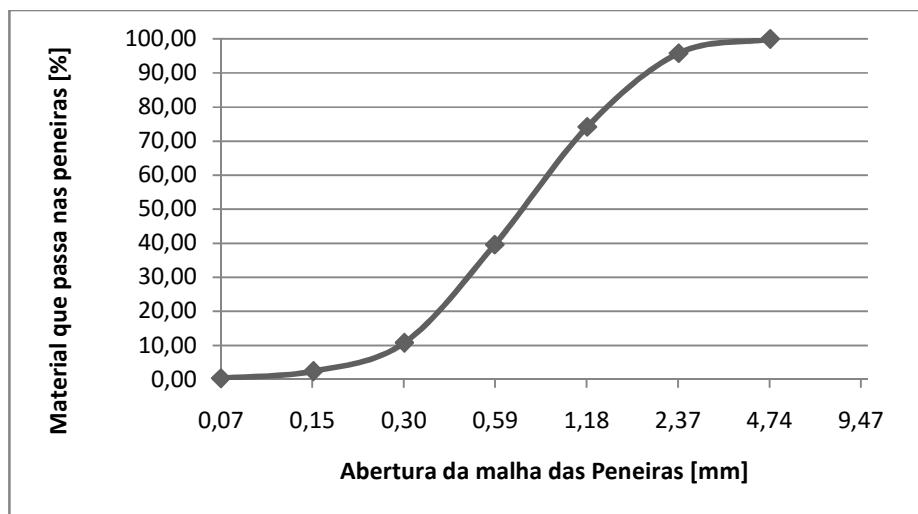


Figura II (2) - Curva granulométrica da areia 2

Tabela II (4) - Análise granulométrica da Areia- AMOSTRA 4

Peneiras		Massa (gramas)	%Retido	%Acumulado	NBR 7211	
Número	Abertura (mm)				Ótima	Utilizável
4	4,8	2,18	0,12	0,12	3 - 5	0 - 3
8	2,4	32,10	1,67	1,79	29 - 43	13 - 29
16	1,2	712,80	37,15	38,94	49 - 64	23 - 49
30	0,6	816,71	42,56	81,50	68 - 83	42 - 68
50	0,3	309,50	16,13	97,63	83 - 94	73 - 83
100	0,15	40,29	2,10	99,73	93 - 98	88 - 93
200	0,075	3,76	0,20	99,93	< 3%	< 5%
Resíduo (fundo)		1,40	0,07	100,00	-	-
Soma		1918,74	100,00	-		
				Módulo de Finura- 3,19		

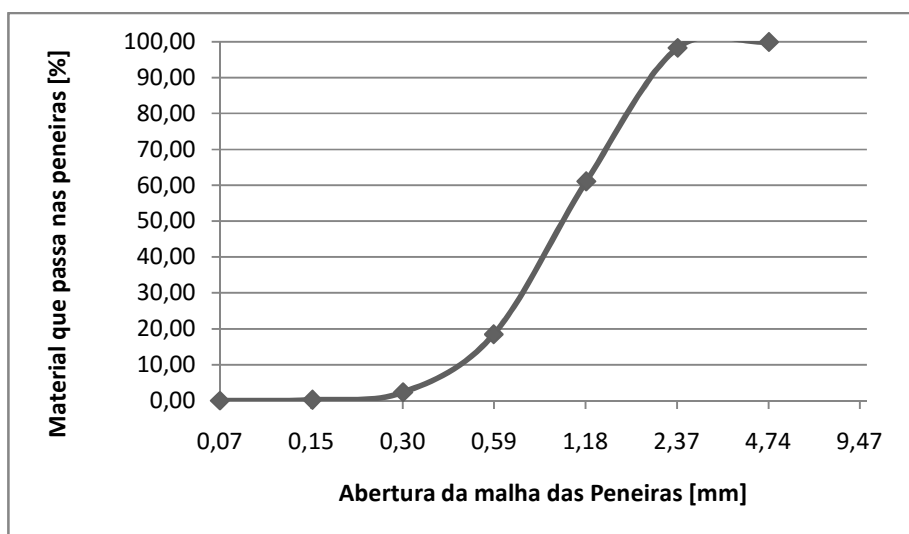


Figura II (3) - Curva granulométrica da areia 4

Tabela II (5) - Análise granulométrica da Areia - AMOSTRA 6

Peneiras		Massa (gramas)	%Retido	%Acumulado	NBR 7211	
Número	Abertura (mm)				Ótima	Utilizável
4	4,8	6,04	0,33	0,33	3 - 5	0 - 3
8	2,4	48,40	2,54	2,87	29 - 43	13 - 29
16	1,2	133,30	7,00	9,87	49 - 64	23 - 49
30	0,6	628,00	32,98	42,85	68 - 83	42 - 68
50	0,3	890,58	46,76	89,61	83 - 94	73 - 83
100	0,15	178,60	9,38	98,99	93 - 98	88 - 93
200	0,075	18,10	0,95	99,94	< 3%	< 5%
Resíduo (fundo)		0,93	0,06	100,00	-	-
Soma		1903,95	100,00	-		
				Módulo de Finura- 2,44		

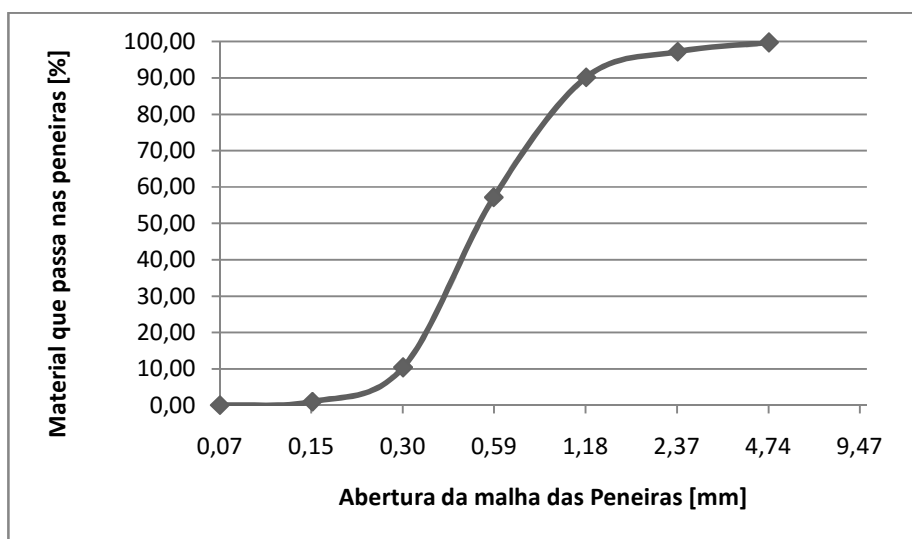


Figura II (4) - Curva granulométrica da areia 6

c) Determinação do teor de sais nas areias analisadas

Tabela II (6) - Teores de sais solúveis nas areias analisadas

Amostras	Sulfatos (%)	Cloretos (%)	Sais solúveis totais (%)
Areia 1	0,0624	0,0427	0,1051
Areia 2	-	0,0211	0,0211
Areia 4	0,0198	0,0342	0,0540
Areia 6	0,0684	0,0016	0,0844

d) Determinação da massa volúmica

Tabela II (7) - Massa volúmica das areias analisadas

Amostras	Massa volúmica (kg/dm ³)
Areia 1	1,442
Areia 2	1,484
Areia 4	1,462
Areia 6	1,471

II-2-Ensaio nas argamassas aplicadas nos painéis experimentais

II-2.1-Ensaio nos provetes das argamassas de reabilitação preconizadas

a) Ensaio de absorção de água por capilaridade e secagem da água absorvida pelos provetes de argamassa de reabilitação

Tabela II (8): Absorção de água da argamassa 1:1:6(CH A)

Tempo (min.)	Água absorvida(g)			Área(cm ²)			Água absorvida por unidade de área (Kg/m ²)				Coeficiente de capilaridade por contato (kg/m ² .min. ^{0,5})
	P1	P2	P3	P1	P2	P3	P1	P2	P3	Média	
0	0,00	0,00	0,00	64,00			0,00	0,00	0,00	0,00	
5	12,30	16,30	13,50		1,92	2,55	2,11	2,19	Ccc = 0,9794		
10	13,70	16,30	14,70		2,14	2,55	2,30	2,33			
15	18,90	24,60	19,10		2,95	3,84	2,98	3,26			
20	19,40	25,00	19,70		3,03	3,91	3,08	3,34			
25	22,80	26,90	22,40		3,56	4,20	3,50	3,75			
30	23,20	29,70	22,80		3,63	4,64	3,56	3,94			
35	23,60	29,80	23,00		3,69	4,66	3,59	3,98			
40	23,70	30,20	23,30		3,70	4,72	3,64	4,02			
60	27,30	35,00	28,40		4,27	5,47	4,44	4,73			
90	30,00	40,20	29,80		4,69	6,28	4,66	5,21	Ccc (90-10) = 0,4554		
80	38,20	46,90	37,10		5,97	7,33	5,80	6,37			
300	45,50	55,60	43,70		7,11	8,69	6,83	7,54			
400	56,80	62,30	51,80		8,89	9,73	8,09	8,90			
1440	61,40	63,60	61,20		9,59	9,94	9,56	9,70	Ccc 24h = 0,2556		

Tabela II (9): Absorção de água da argamassa 1:1:6(CH B)

Tempo (min.)	Água absorvida(g)			Área(cm ²)			Água absorvida por unidade de área (Kg/m ²)				Coeficiente de capilaridade por contato (kg/m ² .min. ^{0,5})
	P1	P2	P3	P1	P2	P3	P1	P2	P3	Média	
0	0,00	0,00	0,00	64,00			0,00	0,00	0,00	0,00	
5	15,70	20,10	12,60		2,45	3,14	1,97	2,52	Ccc = 1,1270		
10	16,20	22,30	12,80		2,53	3,48	2,00	2,67			
15	23,90	30,80	16,60		3,73	4,81	2,59	3,71			
20	24,20	31,60	17,30		3,78	4,94	2,70	3,81			
25	24,70	32,90	18,00		3,86	5,14	2,81	3,94			
30	25,30	35,00	18,40		3,95	5,47	2,88	4,10			
35	25,40	35,20	20,60		3,97	5,50	3,22	4,23			
40	25,70	36,90	21,40		4,02	5,57	3,34	4,38			
60	26,90	39,50	23,80		4,20	6,17	3,72	4,70			
90	27,60	43,40	26,40		4,31	6,78	4,13	5,07	Ccc (90-10) = 0,3795		
180	33,60	49,00	31,60		5,25	7,66	4,94	5,95			
300	35,40	53,00	35,90		5,53	8,28	5,61	6,47			
400	43,50	58,60	46,40		6,80	9,16	7,25	7,74			
1440	56,20	61,10	55,40		8,78	9,55	8,66	9,00	Ccc 24h = 0,2372		

Tabela II (10): Absorção de água da argamassa 1:1:6(CH V)

Tempo (min.)	Água absorvida(g)			Área(cm ²)			Água absorvida por unidade de área (Kg/m ²)				Coeficiente de capilaridade por contato (kg/m ² .min. ^{0,5})
	P1	P2	P3	P1	P2	P3	P1	P2	P3	Média	
0	0,00	0,00	0,00	64,00			0,00	0,00	0,00	0,00	
5	27,10	31,50	18,30		4,23	4,92	2,86	4,00	Ccc = 1,7889		
10	30,50	33,70	20,70		4,77	5,27	3,23	4,42			
15	30,50	35,60	21,90		4,77	5,56	3,42	4,58			
20	34,70	38,60	24,10		5,42	6,03	3,77	5,07			
25	37,50	9,90	7,10		5,86	6,23	4,23	5,44			
30	38,10	41,50	29,50		5,95	6,48	4,61	5,68			
35	40,40	44,50	31,10		6,31	6,95	4,86	6,04			
40	42,80	45,70	33,00		6,69	7,14	5,16	6,33			
60	47,80	48,70	37,20		7,47	7,61	5,81	6,96			
90	51,20	52,90	39,60		8,00	8,27	6,19	7,49	Ccc (90-10) = 0,4854		
180	54,70	57,80	44,30		8,55	9,03	6,92	8,17			
300	65,60	64,90	51,50		10,25	10,14	8,05	9,48			
400	71,90	68,00	64,50		11,23	10,63	10,08	10,65			
1440	79,20	73,90	66,20		12,38	11,55	10,34	11,42	Ccc 24h = 0,3009		

II.8

Tabela II (11): Absorção de água da argamassa 1:0,33:3,7 (CHA)

Tempo (min.)	Água absorvida(g)			Área(cm ²)			Água absorvida por unidade de área (Kg/m ²)				Coeficiente de capilaridade por contato (kg/m ² .min. ^{0,5})
	P1	P2	P3	P1	P2	P3	P1	P2	P3	Média	
0	0,00	0,00	0,00	64,00			0,00	0,00	0,00	0,00	Ccc = 1,0688
5	15,60	15,00	15,20		2,44	2,34	2,38	2,39			
10	18,90	18,30	19,40		2,95	2,86	3,03	2,95			
15	19,80	19,70	19,90		3,09	3,08	3,11	3,09			
20	22,00	23,20	20,40		3,44	3,63	3,19	3,42			
25	24,20	23,70	21,70		3,78	3,70	3,39	3,62			
30	27,40	26,60	23,20		4,28	4,16	3,63	4,02			
35	28,20	28,90	25,00		4,41	4,52	3,91	4,28			
40	31,40	32,30	27,70		4,91	5,05	4,33	4,76			
60	33,40	34,30	29,20		5,22	5,36	4,56	5,05			
90	38,20	36,20	32,20		5,97	5,66	5,03	5,55	Ccc (90-10) = 0,4111		
180	46,20	40,10	36,00		7,22	6,27	5,63	6,37			
300	51,10	45,30	41,30		7,98	7,08	6,45	7,17			
400	53,90	49,90	47,20		8,42	7,80	7,38	7,87			
1440	61,30	61,80	54,00		9,58	9,66	8,44	9,23	Ccc 24h = 0,2432		

Tabela II (12): Absorção de água da argamassa 1:0,33:3,7 (CHB)

Tempo (min.)	Água absorvida(g)			Área(cm ²)			Água absorvida por unidade de área (Kg/m ²)				Coeficiente de capilaridade por contato (kg/m ² .min. ^{0,5})
	P1	P2	P3	P1	P2	P3	P1	P2	P3	Média	
0	0,00	0,00	0,00	64,00			0,00	0,00	0,00	0,00	Ccc = 0,6663
5	10,30	7,50	10,90		1,61	1,17	1,70	1,49			
10	15,30	16,00	14,90		2,39	2,50	2,33	2,41			
15	17,00	16,40	15,10		2,66	2,56	2,36	2,53			
20	17,10	18,90	16,00		2,67	2,95	2,50	2,71			
25	17,80	19,70	16,40		2,78	3,08	2,56	2,81			
30	19,80	21,40	18,60		3,09	3,34	2,91	3,11			
35	20,50	22,50	18,80		3,20	3,52	2,94	3,22			
40	21,00	24,40	20,50		3,28	3,81	3,20	3,43			
60	21,70	26,00	22,10		3,39	4,06	3,45	3,63			
90	25,30	28,80	26,40		3,95	4,50	4,13	4,19	Ccc (90-10) = 0,4269		
180	33,70	36,40	30,80		5,27	5,69	5,81	5,59			
300	38,20	43,00	38,10		5,97	6,72	5,95	6,21			
400	44,50	49,90	43,60		6,95	7,80	6,81	7,19			
1440	51,40	53,60	54,20		8,03	8,38	8,47	8,29	Ccc 24h = 0,2185		

Tabela II (13): Absorção de água da argamassa 1:0,33:3,7 (CV)

Tempo (min.)	Água absorvida(g)			Área(cm ²)			Água absorvida por unidade de área (Kg/m ²)				Coeficiente de capilaridade por contato (kg/m ² .min. ^{0,5})
	P1	P2	P3	P1	P2	P3	P1	P2	P3	Média	
0	0,00	0,00	0,00	64,00			0,00	0,00	0,00	0,00	Ccc = 0,9347
5	14,10	11,60	14,40		2,20	1,81	2,25	2,09			
10	16,90	15,30	16,30		2,64	2,39	2,55	2,53			
15	19,30	5,70	16,50		3,02	2,45	2,58	2,68			
20	22,00	18,50	18,90		3,44	2,89	2,95	3,09			
25	22,50	20,00	19,30		3,52	3,13	3,02	3,22			
30	25,60	20,30	21,10		4,00	3,17	3,30	3,49			
35	27,00	21,90	22,70		4,22	3,42	3,55	3,73			
40	28,10	23,20	23,40		4,39	3,63	3,66	3,89			
60	31,90	24,90	28,00		4,98	3,89	4,38	4,42			
90	38,00	29,80	31,90		5,94	4,66	4,98	5,19	Ccc (90-10) = 0,4902		
180	45,80	38,00	39,30		7,16	5,64	6,14	6,31			
300	54,70	45,40	48,00		8,55	7,09	7,50	7,71			
400	58,40	52,30	54,40		9,13	8,17	8,50	8,60			
1440	59,60	59,10	57,70		9,31	9,23	9,02	9,19	Ccc 24h = 0,2422		

Tabela II (14): Absorção de água argamassa 1:1:7 (CHA)

Tempo (min.)	Água absorvida(g)			Área(cm ²)			Água absorvida por unidade de área (Kg/m ²)				Coeficiente de capilaridade por contato (kg/m ² .min. ^{0,5})
	P1	P2	P3	P1	P2	P3	P1	P2	P3	Média	
0	0,00	0,00	0,00	64,00			0,00	0,00	0,00	0,00	Ccc = 0,8587
5	13,00	11,40	12,40				2,03	1,78	1,94	1,92	
10	16,50	14,60	14,40				2,58	2,28	2,25	2,37	
15	16,80	18,50	15,50				2,63	2,89	2,42	2,65	
20	18,70	18,60	17,40				2,92	2,91	2,72	2,85	
25	21,10	23,40	18,70				3,20	3,66	2,92	3,29	
30	21,30	23,40	21,40				3,33	3,66	3,34	3,44	
35	23,20	24,70	22,90				3,63	3,86	3,58	3,69	
40	25,40	25,60	23,70				3,97	4,00	3,70	3,89	
60	26,10	27,60	24,80				4,08	4,31	3,88	4,09	
90	30,70	31,80	29,20				4,80	4,97	4,56	4,78	Ccc (90-10) = 0,4522
180	39,40	39,10	36,90				6,16	6,11	5,77	6,01	
300	48,50	49,90	47,20				7,58	7,80	7,38	7,59	
400	51,20	52,60	53,40				8,00	8,22	8,34	8,19	
1440	52,80	52,60	54,20				8,25	8,22	8,47	8,31	Ccc 24h = 0,2190

Tabela II (15): Absorção de água argamassa 1:1:7 (CHB)

Tempo (min.)	Água absorvida(g)			Área(cm ²)			Água absorvida por unidade de área (Kg/m ²)				Coeficiente de capilaridade por contato (kg/m ² .min. ^{0,5})
	P1	P2	P3	P1	P2	P3	P1	P2	P3	Média	
0	0,00	0,00	0,00	64,00			0,00	0,00	0,00	0,00	Ccc = 0,9123
5	16,20	14,00	9,00				2,53	2,19	1,41	2,04	
10	16,30	16,10	11,70				2,55	2,52	1,83	2,30	
15	19,10	17,30	12,70				2,98	2,70	1,98	2,55	
20	20,80	18,70	13,10				3,25	2,92	2,05	2,74	
25	21,80	19,70	14,90				3,41	3,08	2,33	2,94	
30	23,50	21,50	16,00				3,67	3,36	2,50	3,18	
35	25,50	24,40	19,40				3,98	3,81	3,03	3,91	
40	27,50	24,80	20,60				4,30	3,88	3,22	3,80	
60	27,90	27,40	21,10				4,36	4,28	3,30	3,98	
90	34,00	29,90	25,30				5,31	4,67	3,95	4,64	Ccc (90-10) = 0,4111
180	43,00	37,70	33,20				6,72	5,89	5,19	5,93	
300	43,00	45,80	43,10				6,72	7,16	6,73	6,87	
400	43,00	50,60	50,70				6,72	7,91	7,92	7,52	
1440	43,00	52,50	53,80				6,72	8,20	8,41	7,78	Ccc 24h = 0,2050

Tabela II (16): Absorção de água argamassa 1:1:7 (CV)

Tempo (min.)	Água absorvida(g)			Área(cm ²)			Água absorvida por unidade de área (Kg/m ²)				Coeficiente de capilaridade por contato (kg/m ² .min. ^{0,5})
	P1	P2	P3	P1	P2	P3	P1	P2	P3	Média	
0	0,00	0,00	0,00	64,00			0,00	0,00	0,00	0,00	Ccc = 0,7620
5	24,00	29,50	22,20				3,75	4,61	3,47	3,94	
10	27,80	32,50	23,90				4,34	5,08	3,73	4,38	
15	30,20	35,50	24,50				4,72	5,55	3,83	4,70	
20	31,60	37,70	26,30				4,94	5,89	4,11	4,98	
25	35,40	43,40	28,50				5,53	6,78	4,45	5,59	
30	35,50	43,70	30,40				5,55	6,83	4,75	5,71	
35	39,60	45,20	32,90				6,19	7,06	5,14	6,13	
40	40,60	48,90	33,80				6,34	7,64	5,28	6,42	
60	45,90	52,60	38,60				7,17	8,22	6,03	7,14	
90	50,70	55,20	46,40				7,92	8,63	7,25	7,93	Ccc (90-10) = 0,6309
180	55,50	56,30	55,00				8,67	8,80	8,59	8,69	
300	56,20	57,60	55,00				8,78	9,00	8,59	8,79	
400	56,20	57,60	56,10				8,78	9,00	8,77	8,85	
1440	56,20	57,60	56,60				8,78	9,00	8,84	8,87	Ccc 24h = 0,2337

II.10

Tabela II (17): Absorção de água da argamassa 1:4:14 (CHA)

Tempo (min.)	Água absorvida(g)			Área(cm ²)			Água absorvida por unidade de área (Kg/m ²)				Coeficiente de capilaridade por contato (kg/m ² .min. ^{0,5})	
	P1	P2	P3	P1	P2	P3	P1	P2	P3	Média		
0	0,00	0,00	0,00	64,00								
5	21,10	23,40	21,60					0,00	0,00	0,00	0,00	Ccc = 1,5429
10	23,70	28,30	24,70					3,30	3,66	3,38	3,45	
15	27,70	31,60	28,40					3,70	4,42	3,86	3,99	
20	31,30	35,10	29,90					4,33	4,94	4,44	4,57	
25	34,60	39,20	33,00					4,89	5,48	4,67	5,01	
30	36,50	39,30	34,10					5,41	6,13	5,16	5,57	
35	39,70	44,10	37,00					5,70	6,14	5,33	5,72	
40	41,30	45,50	38,90					6,20	6,89	5,78	6,29	
60	47,60	51,40	44,20					6,45	7,11	6,08	6,55	
90	56,90	59,40	53,50					7,44	8,03	6,91	7,46	
180	64,50	65,50	63,20					8,89	9,28	8,36	8,84	Ccc (90-10) = 0,8522
300	66,00	65,50	64,80					10,08	10,23	9,88	10,06	
400	66,00	66,90	64,80					10,31	10,23	10,13	10,22	
1440	66,00	66,90	64,80					10,31	10,45	10,13	10,30	Ccc 24h = 0,2714

Tabela II (18): Absorção de água da argamassa 1:4:14 (CHB)

Tempo (min.)	Água absorvida(g)			Área(cm ²)			Água absorvida por unidade de área (Kg/m ²)				Coeficiente de capilaridade por contato (kg/m ² .min. ^{0,5})	
	P1	P2	P3	P1	P2	P3	P1	P2	P3	Média		
0	0,00	0,00	0,00	64,00								
5	19,00	21,00	22,00					0,00	0,00	0,00	0,00	Ccc = 1,4445
10	22,70	25,00	24,30					2,97	3,28	3,44	3,23	
15	25,50	26,50	27,80					3,55	3,91	3,80	3,75	
20	28,30	31,60	30,50					3,98	4,14	4,34	4,15	
25	30,80	33,30	33,00					4,42	4,94	4,77	4,71	
30	33,30	34,20	35,90					4,81	5,20	5,16	5,06	
35	35,60	38,00	37,10					5,20	5,34	5,61	5,38	
40	36,50	40,10	39,10					5,56	5,94	5,80	5,77	
60	44,20	47,30	45,20					5,70	6,27	6,11	6,03	
90	51,20	52,00	53,50					6,91	7,39	7,06	7,12	
180	62,10	64,20	64,70					8,00	8,13	8,36	8,16	Ccc (90-10) = 0,7795
300	62,60	65,90	64,70					9,70	10,03	10,11	9,95	
400	63,90	66,70	64,70					9,78	10,30	10,11	10,06	
1440	63,90	66,70	64,70					9,98	10,42	10,11	10,17	Ccc 24h = 0,2680

Tabela II (19): Absorção de água da argamassa 1:4:14 (CV)

Tempo (min.)	Água absorvida(g)			Área(cm ²)			Água absorvida por unidade de área (Kg/m ²)				Coeficiente de capilaridade por contato (kg/m ² .min. ^{0,5})	
	P1	P2	P3	P1	P2	P3	P1	P2	P3	Média		
0	0,00	0,00	0,00	64,00								
5	36,20	35,80	46,80					0,00	0,00	0,00	0,00	Ccc = 2,7683
10	42,00	41,80	51,60					5,66	5,59	7,31	6,19	
15	45,80	46,70	56,20					6,56	6,53	8,06	7,05	
20	52,90	52,60	59,90					7,16	7,30	8,78	7,75	
25	54,10	56,30	62,70					8,27	8,22	9,36	8,62	
30	57,40	58,80	64,00					8,45	8,80	9,80	9,02	
35	60,90	62,40	65,80					8,97	9,19	10,00	9,39	
40	63,40	64,60	66,60					9,52	9,75	10,28	9,85	
60	64,50	65,80	66,80					9,91	10,09	10,41	10,14	
90	65,70	65,90	66,80					10,08	10,28	10,44	10,27	
180	65,70	67,00	66,80					10,27	10,30	10,44	10,34	Ccc (90-10) = 0,6562
300	65,70	67,00	66,80					10,27	10,47	10,44	10,39	
400	65,70	67,00	66,80					10,27	10,47	10,44	10,39	
1440	65,70	67,00	66,80					10,27	10,47	10,44	10,39	Ccc 24h = 0,2738

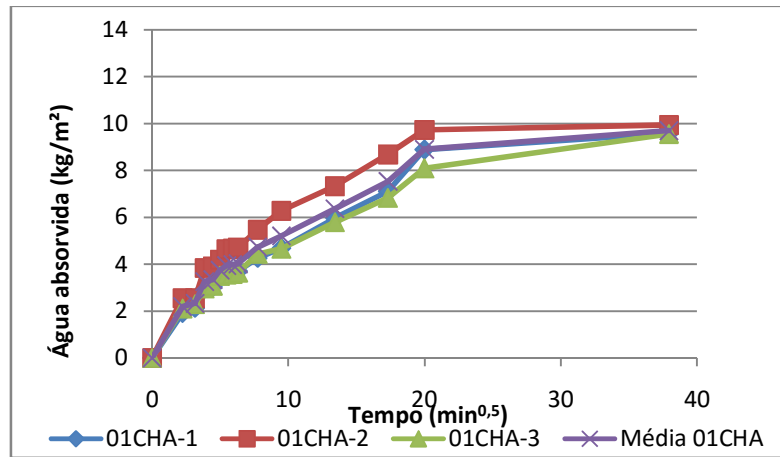


Figura II (5) - Absorção de água amostra 1:1:6 (CHA)

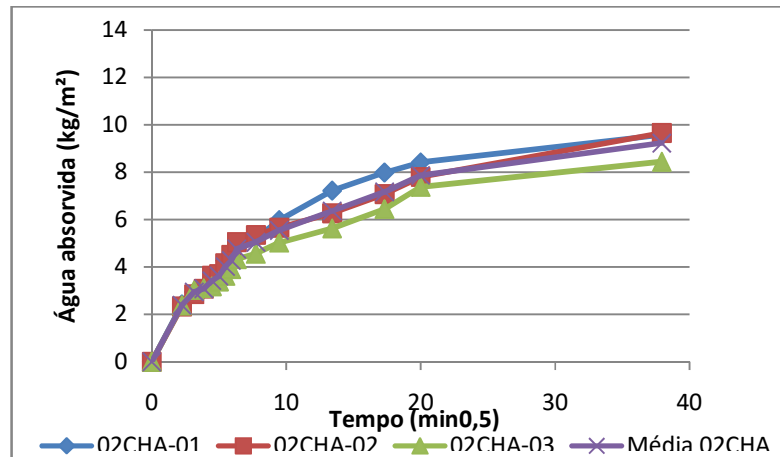


Figura II (6) - Absorção de água amostra 1:0,33:3,7 (CHA)

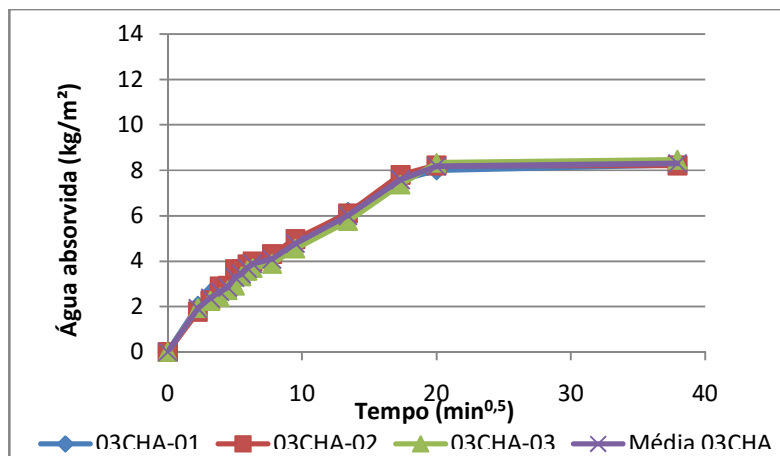


Figura II (7) - Absorção de água amostra 1:1:7 (CHA)

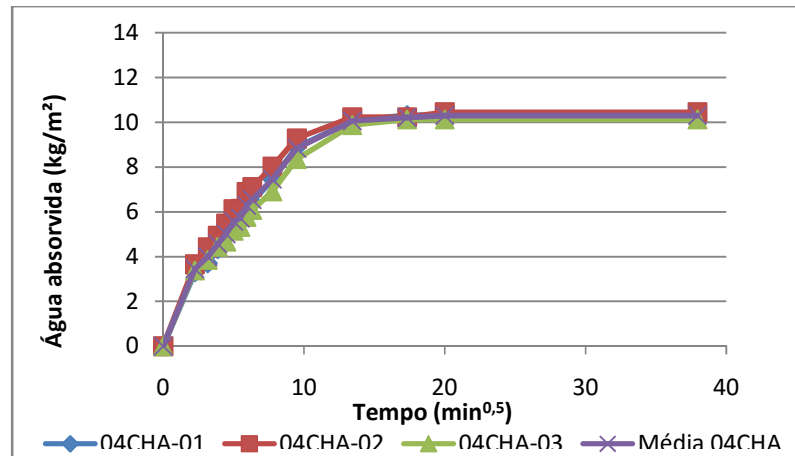


Figura II (8) - Absorção de água amostra 1:4:14(CH A)

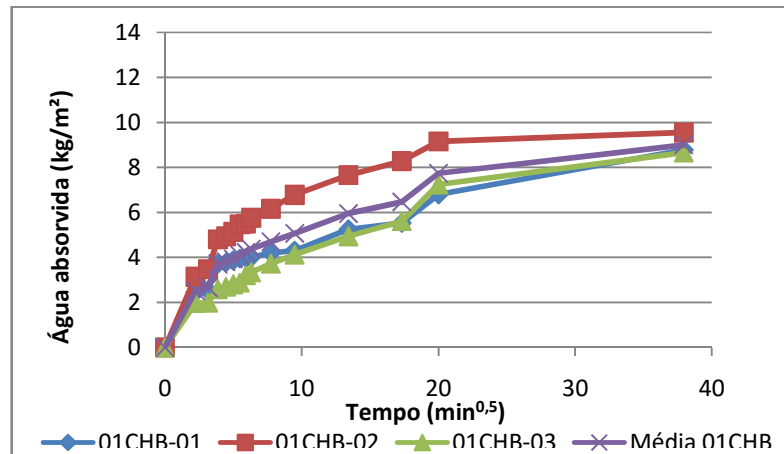


Figura II (9) - Absorção de água amostra 1:1:6(CHB)

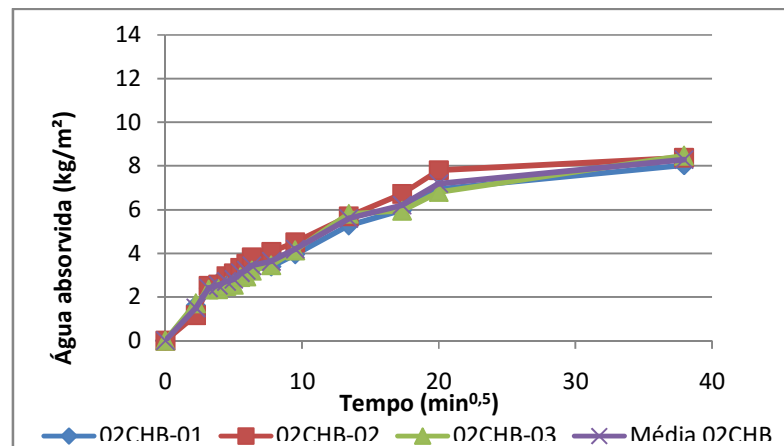


Figura II (10) - Absorção de água amostra 1:0,33:3,7 (CHB)

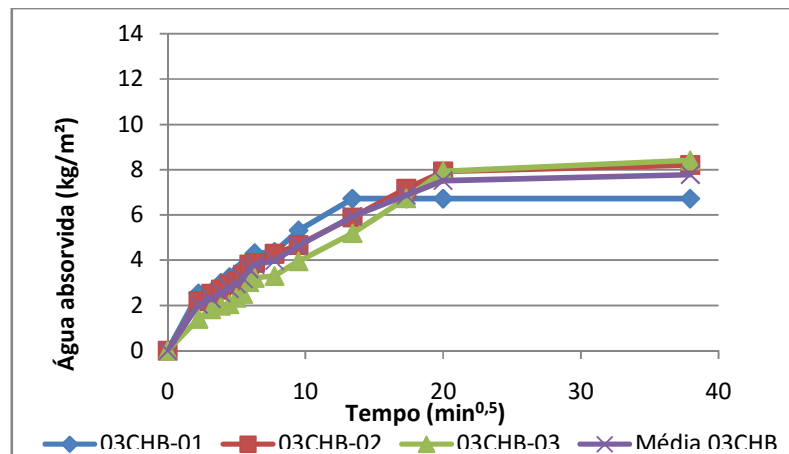


Figura II (11) - Absorção de água amostra 1:1:7 (CHB)

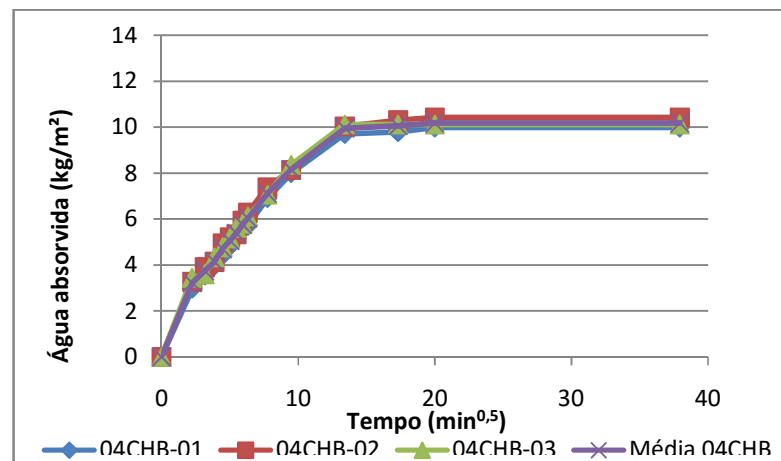


Figura II (12) - Absorção de água amostra 1:4:14 (CHB)

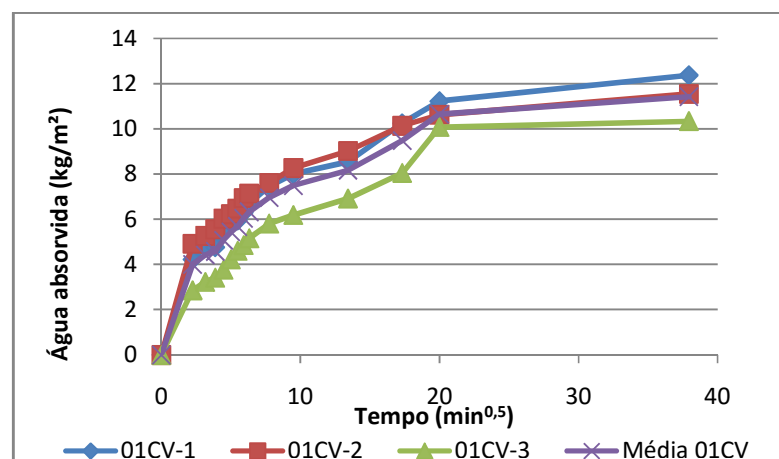


Figura II (13) - Absorção de água amostra 1:1:6 (CV)

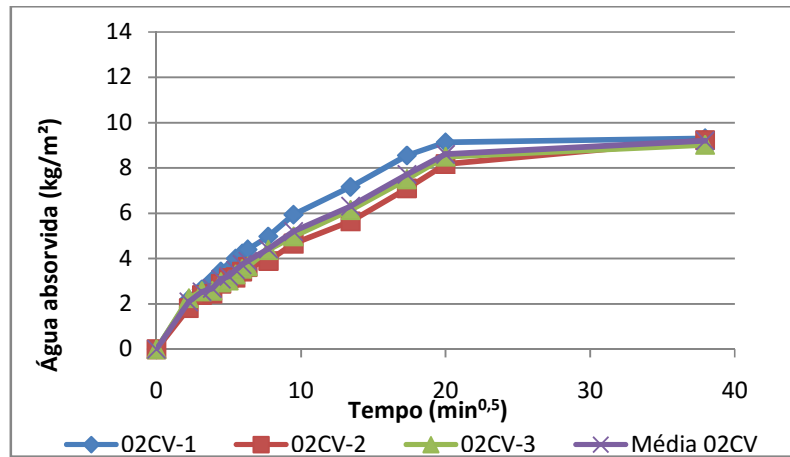


Figura II (14) - Absorção de água amostra 1:0,33:3,7 (CV)

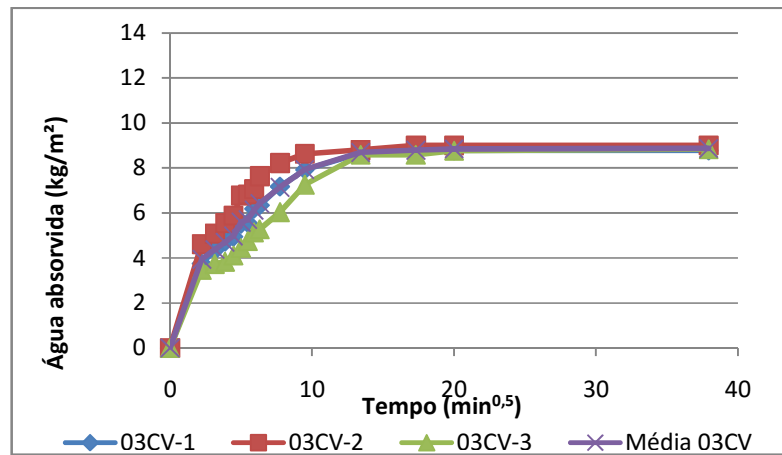


Figura II (15) - Absorção de água amostra 1:1:7 (CV)

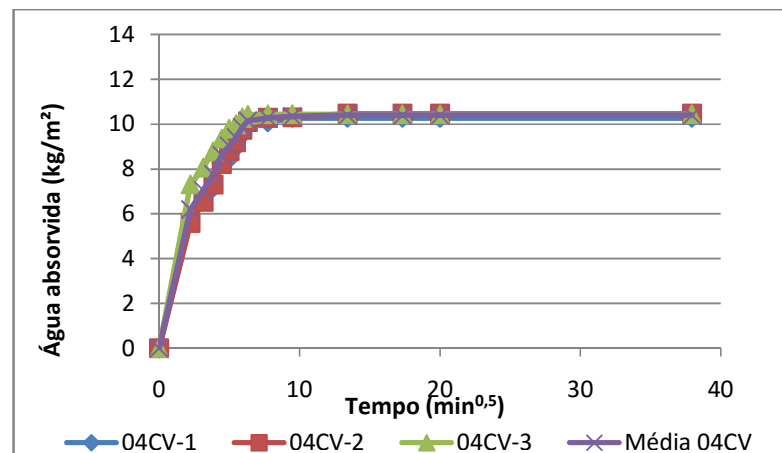


Figura II (16) - Absorção de água amostra 1:4:14 (CV)

Tabela II (20): Secagem da água absorvida na argamassa 1:1:6 (CHA)

Tempo (min)	Massa inicial (g)	Água retida por unidade de área (Kg/m ²)			
		P1	P2	P3	Média
0	P1 = 537,30 P2 = 523,70 P3 = 527,90	61,40	63,60	61,20	62,07
30		56,10	55,60	55,60	55,77
60		55,70	55,10	55,10	55,30
90		55,40	54,90	54,80	55,03
270		53,00	52,40	52,30	52,57
450		50,50	49,60	49,50	49,87
1440		42,50	40,90	40,60	41,33
2880		32,00	30,80	30,20	31,00
4320		21,10	21,00	20,40	20,83
5760		16,20	16,60	16,00	16,27
7200		14,30	14,90	14,40	14,53
8640		11,30	8,40	10,20	9,97
10080		6,10	4,30	5,20	5,20
11520		0,50	0,00	0,10	0,30

Tabela II (21): Secagem da água absorvida na argamassa 1:1:6(CHB)

Tempo (min)	Massa inicial (g)	Água retida por unidade de área (Kg/m ²)			
		P1	P2	P3	Média
0	P1 = 522,50 P2 = 523,20 P3 = 533,40	56,20	61,10	55,40	57,57
30		49,40	53,00	50,40	50,93
60		49,00	52,50	49,90	50,47
90		48,80	52,30	49,70	50,27
270		46,50	50,40	47,70	48,10
450		44,40	48,20	44,90	45,83
1440		37,00	39,70	37,00	37,90
2880		27,80	30,10	27,70	28,53
4320		20,50	21,80	20,20	20,83
5760		17,00	18,00	16,70	17,23
7200		15,90	16,70	15,40	16,00
8640		7,40	9,80	10,20	9,13
10080		3,40	6,60	6,30	5,43
11520		0,10	,90	1,10	0,70

Tabela II (22): Secagem da água absorvida na argamassa 1:1:6 (CV)

Tempo (min)	Massa inicial (g)	Água retida por unidade de área (Kg/m ²)			
		P1	P2	P3	Média
0	P1 = 526,40 P2 = 542,90 P3 = 514,00	79,20	73,90	66,20	73,10
30		59,80	60,60	59,80	60,07
60		59,10	60,00	59,20	59,43
90		58,70	59,50	58,70	58,97
270		55,60	55,70	54,60	55,30
450		54,40	54,50	53,20	54,03
1440		46,00	45,20	43,40	44,87
2880		36,40	33,30	31,90	33,57
4320		26,70	22,40	21,60	23,57
5760		21,30	17,70	16,50	18,50
7200		18,10	15,50	14,90	16,17
8640		13,90	9,50	8,70	10,70
10080		10,70	5,90	4,30	6,97
11520		1,70	0,80	0,20	0,90

Tabela II (23): Secagem da água absorvida na argamassa 1:0,33:3,7 (CHA)

Tempo (min)	Massa inicial (g)	Água retida por unidade de área (Kg/m ²)			
		P1	P2	P3	Média
0	P1 = 531,40 P2 = 545,50 P3 = 558,10	61,30	61,80	54,00	59,03
30		50,60	45,70	45,20	47,17
60		50,00	45,10	44,50	46,53
90		49,60	44,70	44,10	46,13
270		45,70	41,00	39,20	41,97
450		44,40	39,90	37,50	40,60
1440		36,50	32,60	29,50	32,87
2880		25,60	21,90	18,80	22,10
4320		18,00	15,60	12,70	15,43
5760		15,40	13,40	10,40	13,07
7200		14,20	12,30	9,40	11,97
8640		10,00	8,10	4,20	7,43
10080		6,20	2,60	2,00	3,60
11520		1,80	0,00	1,10	1,45

Tabela II (24): Secagem da água absorvida na argamassa 1:0,33:3,7 (CHB)

Tempo (min)	Massa inicial (g)	Água retida por unidade de área (Kg/m ²)			
		P1	P2	P3	Média
0	P1 = 555,70 P2 = 563,60 P3 = 559,20	51,40	53,60	54,20	53,07
30		50,30	51,80	51,70	51,27
60		49,60	50,90	50,70	50,40
90		49,10	50,20	49,90	49,73
270		44,70	45,60	44,40	44,90
450		40,60	41,40	39,30	40,43
1440		30,30	31,20	29,50	30,33
2880		19,90	20,70	19,80	20,13
4320		15,70	16,40	16,10	16,07
5760		13,30	14,00	14,00	13,77
7200		11,30	11,90	12,00	11,73
8640		8,60	8,70	8,60	8,63
10080		4,60	4,90	4,00	4,50
11520		0,00	0,00	0,90	0,90

Tabela II (25): Secagem da água absorvida na argamassa 1:0,33:3,7 (CV)

Tempo (min)	Massa inicial (g)	Água retida por unidade de área (Kg/m ²)			
		P1	P2	P3	Média
0	P1 = 558,00 P2 = 561,90 P3 = 549,10	59,60	59,10	57,70	58,80
30		56,90	56,80	55,40	56,37
60		56,00	55,90	54,40	55,43
90		55,20	55,20	53,60	54,67
270		50,50	50,80	48,20	49,83
450		46,40	47,00	43,30	45,57
1440		35,20	36,20	33,40	34,93
2880		23,30	24,80	22,10	23,40
4320		18,00	19,40	17,30	18,23
5760		15,20	16,20	14,50	15,30
7200		12,60	13,50	12,10	12,73
8640		8,80	9,90	9,60	9,43
10080		4,40	5,80	3,70	4,63
11520		1,20	1,30	0,00	1,25

Tabela II (26): Secagem da água absorvida na argamassa 1:1:7 (CHA)

Tempo (min)	Massa inicial (g)	Água retida por unidade de área (Kg/m ²)			
		P1	P2	P3	Média
0	P1 = 495,30 P2 = 496,80 P3 = 499,00	52,80	52,60	54,20	53,20
30		47,70	49,10	48,90	48,57
60		47,00	48,10	47,80	47,63
90		46,60	47,60	47,30	47,17
270		43,50	44,50	43,20	43,73
450		39,80	40,80	38,70	39,77
1440		31,70	32,10	30,20	31,33
2880		22,40	22,20	20,50	21,70
4320		15,90	15,60	14,50	15,33
5760		10,50	10,30	9,70	10,17
7200		7,80	7,90	7,50	7,73
8640		4,80	4,20	3,30	4,10
10080		3,10	0,50	1,60	1,73
11520		1,40	0,00	0,80	1,10

Tabela II (27): Secagem da água absorvida na argamassa 1:1:7 (CHB)

Tempo (min)	Massa inicial (g)	Água retida por unidade de área (Kg/m ²)			
		P1	P2	P3	Média
0	P1 = 503,30 P2 = 499,70 P3 = 525,10	53,00	52,50	53,80	53,10
30		47,60	46,60	48,40	47,53
60		46,80	45,70	47,50	46,67
90		46,30	45,20	46,90	46,13
270		42,70	41,50	42,50	42,23
450		38,90	37,40	38,20	38,17
1440		30,20	28,80	29,80	29,60
2880		18,90	18,60	19,80	19,10
4320		12,90	13,10	14,20	13,40
5760		8,60	9,10	10,00	9,23
7200		6,80	7,40	8,20	7,47
8640		5,30	5,30	5,30	5,30
10080		2,90	2,00	3,20	2,70
11520		0,80	0,00	1,20	1,00

Tabela II (28): Secagem da água absorvida na argamassa 1:1:7 (CV)

Tempo (min)	Massa inicial (g)	Água retida por unidade de área (Kg/m ²)			
		P1	P2	P3	Média
0	P1 = 481,50 P2 = 517,90 P3 = 522,90	56,20	57,60	56,60	56,80
30		52,20	50,90	52,20	51,77
60		51,50	50,10	51,40	51,00
90		50,90	49,20	50,90	50,33
270		47,20	45,40	46,70	46,43
450		44,80	42,70	43,80	43,77
1440		33,40	31,70	32,10	32,40
2880		20,60	20,50	19,90	20,33
4320		11,90	10,60	11,10	11,20
5760		8,00	6,80	7,30	7,37
7200		4,30	3,10	3,70	3,70
8640		1,90	1,80	0,00	1,85
10080		0,40	1,10	0,00	0,75
11520		0,00	0,00	0,00	0,00

Tabela II (29): Secagem da água absorvida na argamassa 1:4:14 (CHA)

Tempo (min)	Massa inicial (g)	Água retida por unidade de área (Kg/m ²)			
		P1	P2	P3	Média
0	P1 = 530,70 P2 = 540,60 P3 = 546,30	66,00	66,90	64,80	65,90
30		62,20	59,30	58,00	59,83
60		61,70	58,70	57,40	59,27
90		61,20	58,20	56,80	58,73
270		57,40	54,40	52,60	54,80
450		54,90	52,00	49,90	52,027
1440		46,70	43,60	41,50	43,93
2880		35,60	31,10	29,00	31,90
4320		23,60	17,00	16,10	18,90
5760		15,30	9,00	9,10	11,13
7200		8,20	3,40	3,90	5,17
8640		5,40	0,00	0,60	3,00
10080		1,50	0,00	0,00	1,50
11520		0,00	0,00	0,00	0,00

Tabela II (30): Secagem da água absorvida na argamassa 1:4:14 (CHB)

Tempo (min)	Massa inicial (g)	Água retida por unidade de área (Kg/m ²)			
		P1	P2	P3	Média
0	P1 = 518,10 P2 = 528,90 P3 = 518,90	63,90	66,70	64,70	65,10
30		58,60	61,00	59,20	59,60
60		57,90	60,10	58,30	58,77
90		57,00	59,40	57,60	58,00
270		52,90	54,70	53,00	53,53
450		49,30	50,60	49,30	49,73
1440		41,00	42,20	40,60	41,27
2880		28,40	28,70	27,70	28,27
4320		16,00	16,40	16,20	16,20
5760		10,90	11,20	11,20	11,10
7200		9,00	9,30	9,40	9,23
8640		6,20	6,70	6,60	6,50
10080		1,50	2,50	2,80	2,27
11520		0,00	0,00	0,30	0,30

Tabela II (31): Secagem da água absorvida na argamassa 1:4:14.(CV)

Tempo (min)	Massa inicial (g)	Água retida por unidade de área (Kg/m ²)			
		P1	P2	P3	Média
0	P1 = 504,10 P2 = 494,10 P3 = 492,50	65,70	67,00	66,80	66,50
30		59,50	59,70	59,70	59,63
60		58,80	58,90	58,90	58,87
90		58,10	58,10	58,10	58,10
270		53,90	53,80	53,60	53,77
450		50,20	50,00	49,50	49,90
1440		41,40	41,40	40,20	41,00
2880		28,70	28,20	27,40	28,10
4320		15,50	14,10	14,00	14,53
5760		8,70	7,40	7,30	7,80
7200		6,10	4,90	4,80	5,27
8640		3,50	3,20	2,70	3,13
10080		1,20	1,00	1,00	1,07
11520		0,00	0,00	0,00	0,00

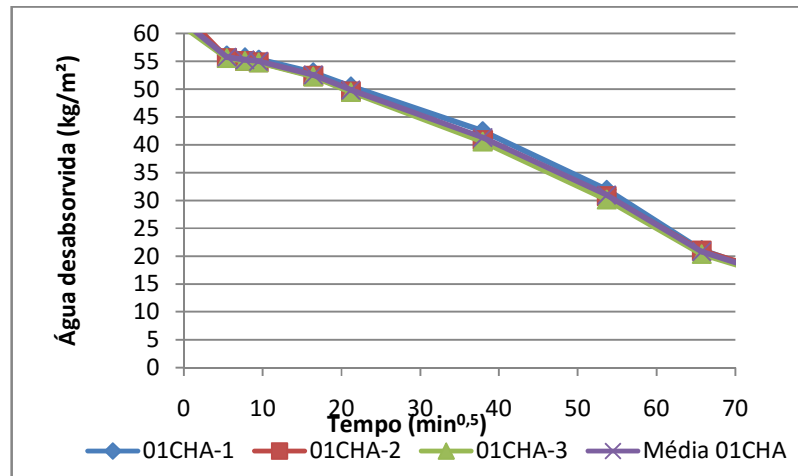


Figura II (17) - Secagem da amostra CHA (1:1:6)

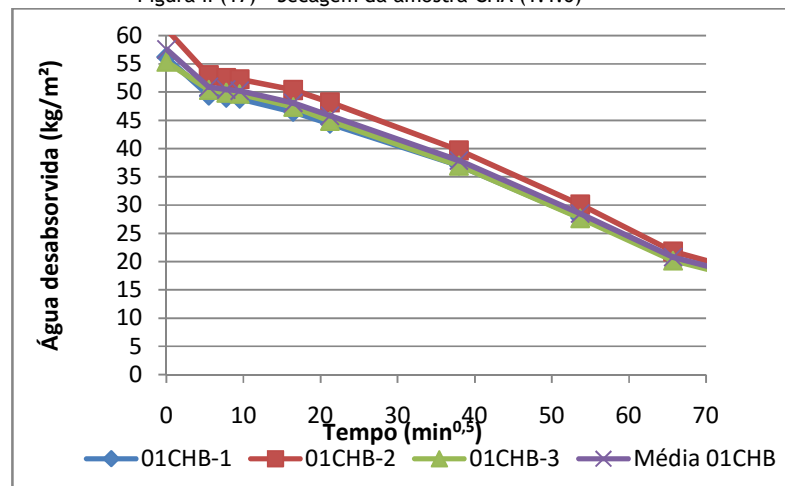


Figura II (18) - Secagem da amostra CHB (1:1:6)

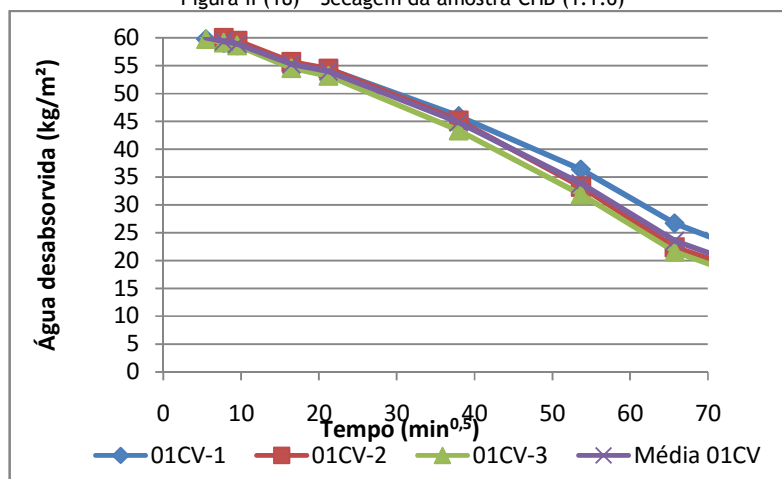


Figura II (19) - Secagem da amostra CV (1:1:6)

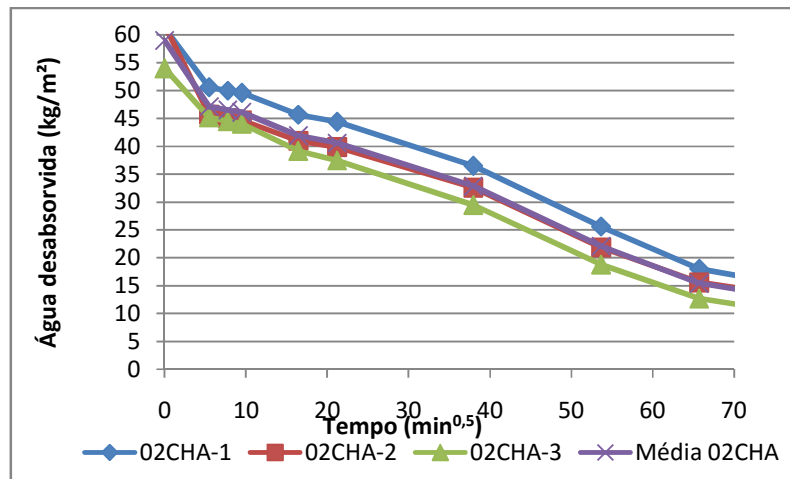


Figura II (20) - Secagem da amostra CHA (1:0,33:3,7)

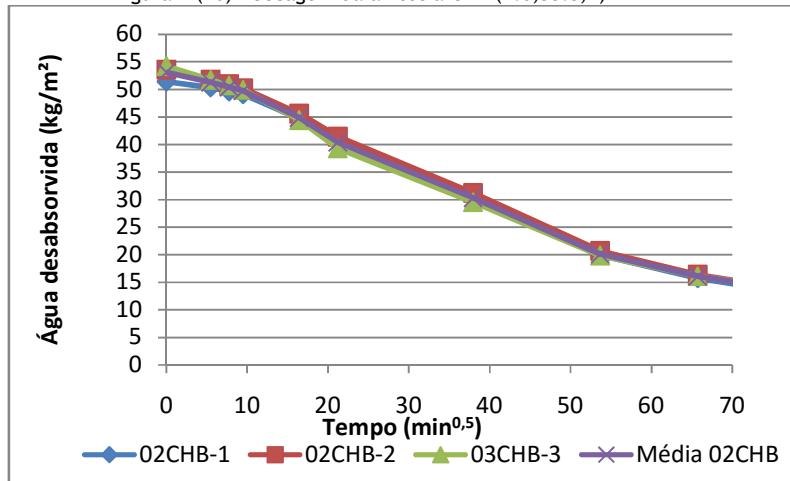


Figura II (21) - Secagem da amostra CHB (1:0,33:3,7)

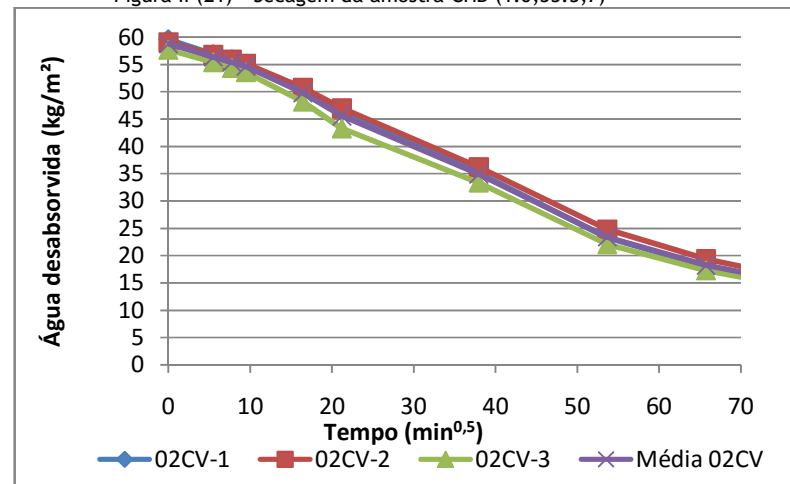


Figura II (22) - Secagem da amostra CV (1:0,33:3,7)

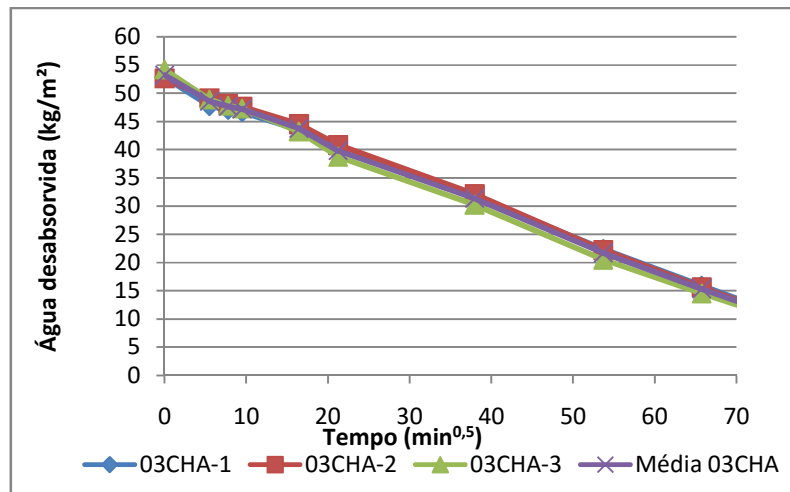


Figura II (23) - Secagem da amostra CHA (1:1:7)

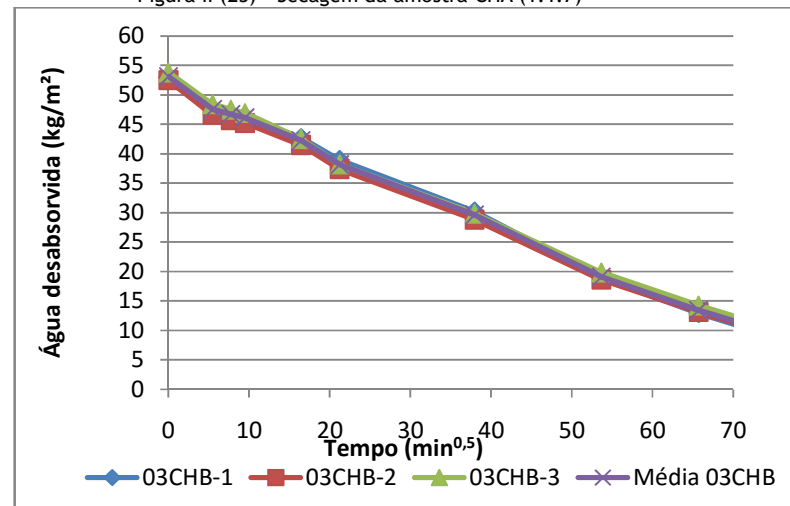


Figura II (24) - Secagem da amostra CHB (1:1:7)

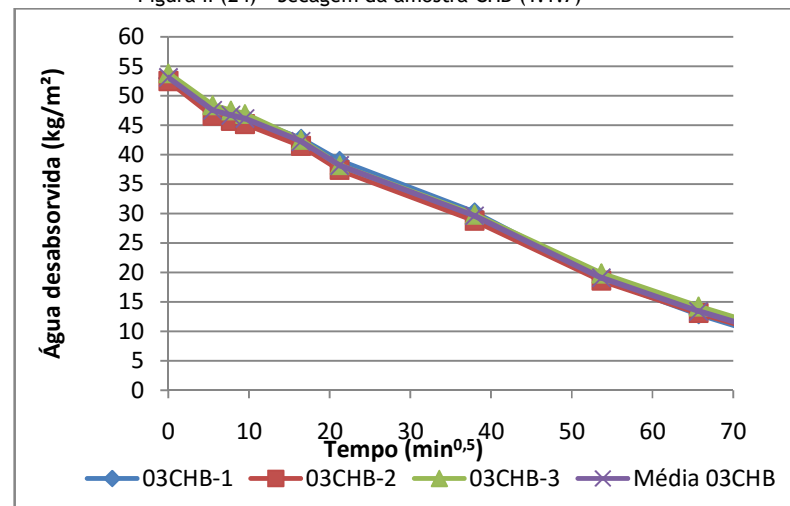


Figura II (25) - Secagem da amostra CV (1:1:7)

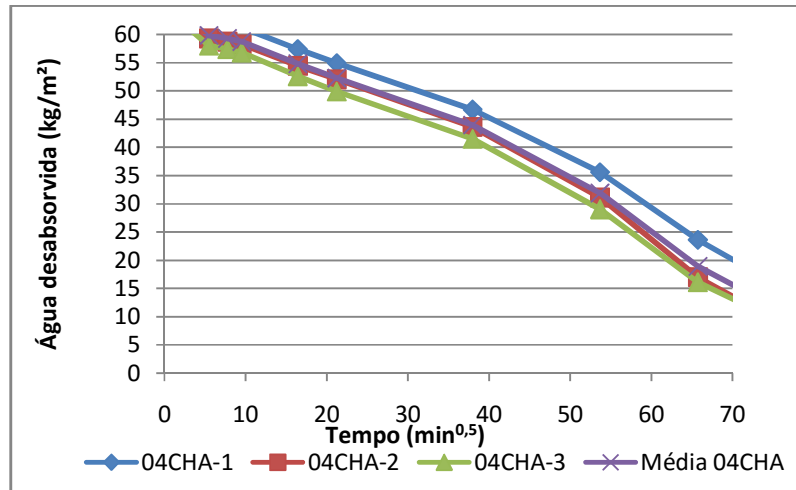


Figura II (26) - Secagem da amostra CHA (1:4:14)

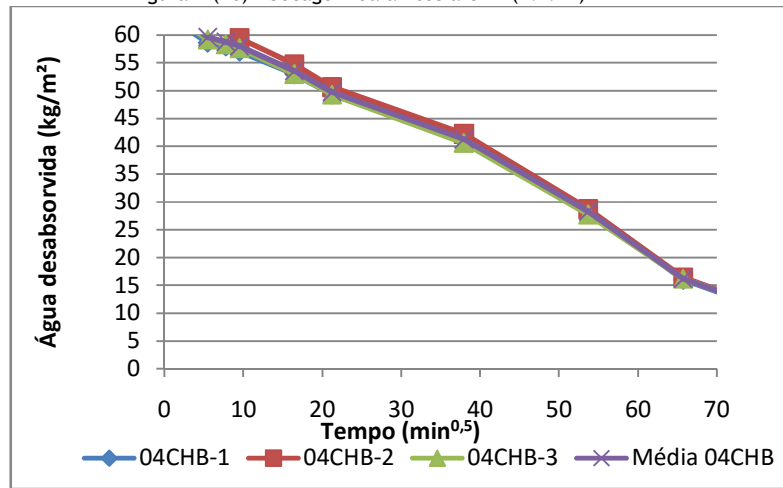


Figura II (27) - Secagem da amostra CHB (1:4:14)

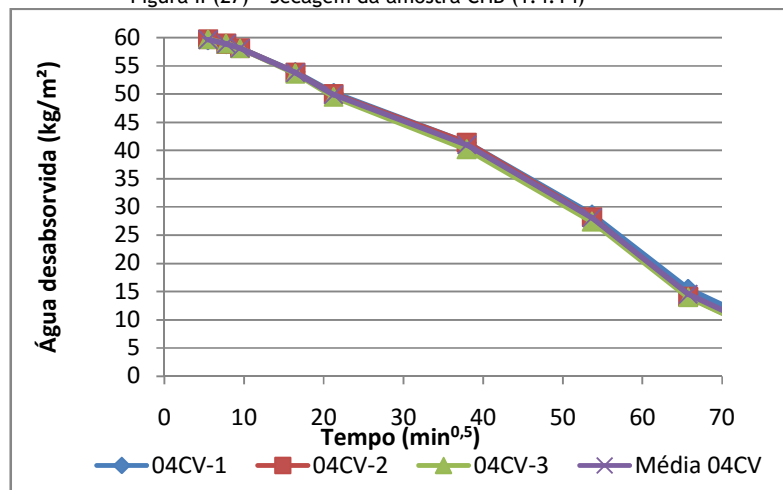


Figura II (28) - Secagem da amostra CV (1:4:14)

b) Ensaio para determinação da massa volúmica e do índice de vazios nos provetes das argamassas trabalhadas

Tabela II (32): Massa volúmica e índice de vazios das argamassas trabalhadas

Argamassa	Massa volúmica da amostra seca (kg/dm ³)	Massa volúmica da amostra saturada (kg/dm ³)	Massa volúmica real (kg/dm ³)	Absorção após saturação (%)	Índice de vazios saturação (%)
1:1:6 CHA	1,8940	2,1023	2,4712	11,02	21,40
1:1:6 CHB	1,8951	2,0928	2,4564	10,43	20,40
1:1:6 CV	1,7954	2,0193	2,4235	12,47	23,20
1:0,33:3,7 CHA	1,8323	2,0415	2,3912	11,41	21,44
1:0,33:3,7 CHB	1,8204	2,0251	2,3492	11,25	20,90
1:0,33:3,7 CV	1,8032	2,0217	2,3760	12,12	22,35
1:1:7 CHA	1,7648	1,9714	2,3799	11,71	21,79
1:1:7 CHB	1,7287	1,9371	2,3366	12,05	21,97
1:1:7 CV	1,6977	1,9046	2,3472	12,19	22,25
1:4:14 CHA	1,8217	2,0569	2,4376	12,91	23,94
1:4:14 CHB	1,7377	1,9640	2,4170	13,02	23,94
1:4:14 CV	1,7412	1,9712	2,4211	13,21	24,23

c) Ensaio de resistência à compressão nos provetes das argamassas trabalhadas

Tabela II (33): Resistência à compressão das argamassas trabalhadas

Resistência à compressão NBR 7215-corpos de prova cilíndricos(Ø = 50mm / h = 100mm / área = 19,63cm ²)						
Amostra	Idade (dias)	Carga ruptura (N)	Limite de resistência (MPa)	Média (MPa)	Desvio padrão	Coefficiente de variação
CHA (1:1:6)	7	2850	14,52	11,89	2,28	19,21
	7	2050	10,44			
	7	2100	10,70			
	28	5000	25,47	24,20	1,27	5,26
	28	4500	22,92			
28	4750	24,20				
CHB (1:1:6)	7	4180	21,29	20,14	2,00	9,93
	7	4180	21,90			
	7	3500	17,83			
	28	7000	35,66	44,15	7,78	17,63
	28	10000	50,94			
28	9000	45,85				
CV(1:1:6)	7	3450	17,58	17,41	1,03	5,91
	7	3200	16,30			
	7	3600	18,34			
	28	7500	38,21	38,04	1,54	4,04
	28	7150	36,42			
28	7750	39,48				
CHA(1:0,33:3,7)	7	8800	44,83	41,09	5,20	12,66
	7	6900	35,15			
	7	8500	43,30			
	28	13500	68,77	76,41	8,20	10,73
	28	16700	85,07			
28	14800	75,39				
CHB(1:0,33:3,7)	7	1200	6,11	7,13	1,76	24,74
	7	1200	6,11			
	7	1800	9,17			
	28	4500	22,92	23,43	1,35	5,75
	28	4900	24,96			
28	4400	22,41				
CV(1:0,33:3,7)	7	7800	39,74	42,28	5,79	13,68
	7	7500	38,21			
	7	9600	48,90			
	28	13900	70,81	77,43	7,50	9,69
	28	16800	85,58			
28	14900	75,90				

Tabela II (34): Resistência à compressão das argamassas trabalhadas

Resistência à compressão NBR 7215-corpos de prova cilíndricos($\varnothing = 50\text{mm} / h = 100\text{mm} / \text{área} = 19,63\text{cm}^2$)						
Amostra	Idade (dias)	Carga ruptura (N)	Limite de resistência (MPa)	Média (MPa)	Desvio padrão	Coefficiente de variação
CHA(1:1:7)	7	1800	9,17	9,59	0,53	5,53
	7	1850	9,42			
	7	2000	10,92			
	28	6000	30,57	29,21	1,56	5,33
	28	5400	27,51			
	28	5800	29,55			
CHB(1:1:7)	7	1800	9,17	9,17	1,02	11,11
	7	2000	10,19			
	7	1600	8,15			
	28	5000	25,47	25,64	0,29	1,15
	28	5100	25,98			
	28	5000	25,47			
CV(1:1:7)	7	1300	6,62	7,81	1,06	13,58
	7	1600	8,15			
	7	1700	8,66			
	28	4800	24,45	25,13	0,78	3,10
	28	5100	25,98			
	28	4900	24,96			
CHA(1:4:14)	7	1000	5,09	5,77	0,59	10,19
	7	1200	6,11			
	7	1200	6,11			
	28	2900	14,77	18,51	3,39	18,33
	28	4200	21,40			
	28	3800	19,36			
CHB(1:4:14)	7	1400	7,13	6,62	0,51	7,69
	7	1200	6,11			
	7	1300	6,62			
	28	5400	27,51	28,19	0,78	2,76
	28	5700	29,04			
	28	5500	28,02			
CV(1:4:14)	7	300	1,53	1,53	0,00	0,00
	7	300	1,53			
	7	700	3,57			
	28	700	3,57	3,57	0,00	0,00
	28	700	3,57			
	28	700	3,57			

d) Ensaio de resistência à tração na flexão nos provetes das argamassas trabalhadas

Tabela II (35): Resistência à tração na flexão das argamassas trabalhadas

Resistência à tração na flexão - NBR 12142 - Corpos-de-prova prismáticos (40x40x160)						
Amostra	Idade (dias)	Carga de Ruptura (N)	Limite de Resistência (Mpa)	Média (Mpa)	Desvio Padrão	Coefficiente de Variação
CHA(1:1:6)	28	250	0,46	0,40	0,07	16,40
	28	250	0,40			
	28	250	0,33			
CHB (1:1:6)	28	250	0,44	0,42	0,03	6,82
	28	250	0,44			
	28	250	0,39			
CV(1:1:6)	28	250	0,46	0,45	0,02	3,42
	28	250	0,45			
	28	250	0,43			
CHA(1:0,33:3,7)	28	600	1,06	1,18	0,20	17,17
	28	600	1,06			
	28	800	1,41			
CHB(1:0,33:3,7)	28	130	0,21	0,23	0,18	8,09
	28	150	0,24			
	28	150	0,24			
CV(1:0,33:3,7)	28	100	0,17	0,34	0,18	50,98
	28	300	0,52			
	28	200	0,34			
CHA(1:1:7)	28	300	0,54	0,54	0,02	2,81
	28	300	0,53			
	28	300	0,56			
CHB(1:1:7)	28	200	0,37	0,36	0,01	3,18
	28	200	0,35			
	28	100	0,18			
CV(1:1:7)	28	100	0,19	0,19	0,01	3,09
	28	100	0,19			
	28	100	0,19			
CHA(1:4:14)	28	100	0,17	0,17	0,00	0,00
	28	100	0,17			
	28	100	0,17			
CHB(1:4:14)	28	200	0,35	0,30	0,09	31,14
	28	200	0,35			
	28	100	0,19			
CV(1:4:14)	28	0	0,00	0,00	0,00	0,00
	28	0	0,00			
	28	0	0,00			

II-2.2-Ensaio nas argamassas de reabilitação aplicadas nos painéis experimentais montados em laboratório

a) Ensaio de aderência ao suporte

Tabela II (36) - Resistência de aderência à tração

Argamassa	1:1:6 CHA	1:1:6 CHB	1:1:6 CV	1:0,33:3,7 CHA	1:0,33:3,7 CHB	1:0,33:3,7 CV	1:1:7 CHA	1:1:7 CHB	1:1:7 CV	1:4:14 CHA	1:4:14 CHB	1:4:14 CV
Cargaskg	22	15	13	8	11	15	14	10	11	5	9	2
	10	14	10	4	6	15	15	9	5	5	7	2
	20	12	14	6	8	5	15	7	9	4	7	2
Média	17,3	13,7	12,3	6,0	8,3	11,7	14,7	8,7	8,3	4,7	7,7	2,0

b) Ensaio de permeabilidade à água nas argamassas aplicadas nos painéis

Tabela II (37) - Ensaio de absorção de água - Método do cachimbo - argamassa CHA (1:1:6)

Painel	Idade	Ensaio n°	Leitura (cm³)		
			5 min.	10 min.	15 min.
CHA (1:1:6)	28 dias	1	0,30	0,40	0,50
		2	0,30	0,40	0,60
		3	0,50	0,80	1,00
		4	0,40	0,60	0,70
		5	0,40	0,60	0,80
		Média	0,38	0,56	0,72
Valor mínimo (cm³)			0,30	0,40	1,00
Média (cm³)			0,38	0,56	0,50
Valor máximo (cm³)			0,50	0,80	0,72
Variância (cm³)			0,007	0,028	0,037
Desvio padrão			0,084	0,167	0,192
Coeficiente de variação (%)			22,02	29,88	26,72

Tabela II (38) - Ensaio de absorção de água - Método do cachimbo - argamassa CHB (1:1:6)

Painel	Idade	Ensaio n°	Leitura (cm³)		
			5 min.	10 min.	15 min.
CHB (1:1:6)	28 dias	1	0,40	0,60	0,80
		2	0,40	0,60	0,70
		3	0,50	0,70	1,00
		4	0,30	0,50	0,60
		5	0,40	0,70	0,90
		Média	0,40	0,62	0,80
Valor mínimo (cm³)			0,30	0,50	0,60
Média (cm³)			0,40	0,62	0,80
Valor máximo (cm³)			0,50	0,70	1,00
Variância (cm³)			0,005	0,007	0,025
Desvio padrão			0,071	0,084	0,158
Coeficiente de variação (%)			17,68	13,49	19,76

Tabela II (39) - Ensaio de absorção de água - Método do cachimbo - argamassa CV (1:1:6)

Painel	Idade	Ensaio n°	Leitura (cm³)		
			5 min.	10 min.	15 min.
CV (1:1:6)	28 dias	1	0,30	0,50	0,70
		2	0,40	0,80	1,00
		3	0,40	0,60	0,80
		4	0,40	0,50	0,70
		5	0,40	0,60	0,90
		Média	0,38	0,60	0,82
Valor mínimo (cm³)			0,30	0,50	0,70
Média (cm³)			0,38	0,60	0,82
Valor máximo (cm³)			0,40	0,80	1,00
Variância (cm³)			0,002	0,015	0,017
Desvio padrão			0,045	0,122	0,130
Coeficiente de variação (%)			11,77	20,41	15,90

Tabela II (40) - Ensaio de absorção de água - Método do cachimbo - argamassa CHA(1:0,33:3,7)

Painel	Idade	Ensaio n°	Leitura (cm³)		
			5 min.	10 min.	15 min.
CHA (1:0,33:3,7)	28 dias	1	0,20	0,30	0,40
		2	0,35	0,45	0,50
		3	0,10	0,20	0,20
		4	0,05	0,10	0,15
		5	0,20	0,25	0,30
		Média	0,18	0,26	0,31
Valor mínimo (cm³)			0,05	0,10	0,15
Média (cm³)			0,18	0,26	0,31
Valor máximo (cm³)			0,35	0,45	0,50
Variância (cm³)			0,01325	0,01675	0,0205
Desvio padrão			0,115	0,129	0,143
Coeficiente de variação (%)			63,95	49,78	46,19
Eficácia (%)				56,94	

Tabela II (41) - Ensaio de absorção de água - Método do cachimbo - argamassa CHB(1:0,33:3,7)

Painel	Idade	Ensaio n°	Leitura (cm³)		
			5 min.	10 min.	15 min.
CHB (1:0,33:3,7)	28 dias	1	1,30	1,70	1,90
		2	0,80	1,00	1,10
		3	0,90	1,10	1,30
		4	1,70	2,10	2,30
		5	2,10	2,80	3,20
		Média	1,36	1,74	1,96
Valor mínimo (cm³)			0,80	1,00	1,10
Media (cm³)			1,36	1,74	1,96
Valor máximo (cm³)			2,10	2,80	3,20
Variância (cm³)			0,298	0,553	0,708
Desvio padrão			0,546	0,744	0,841
Coeficiente de variação (%)			40,14	42,74	42,93
Eficácia (%)			- 145,00		

Tabela II (42) - Ensaio de absorção de água - Método do cachimbo - argamassa CV(1:0,33:3,7)

Painel	Idade	Ensaio n°	Leitura (cm³)		
			5 min.	10 min.	15 min.
CV (1:0,33:3,7)	28 dias	1	0,20	0,30	0,30
		2	0,40	0,40	0,50
		3	0,30	0,40	0,50
		4	0,20	0,30	0,40
		5	0,20	0,30	0,30
		Média	0,26	0,34	0,40
Valor mínimo (cm³)			0,20	0,30	0,30
Media (cm³)			0,26	0,34	0,40
Valor máximo (cm³)			0,40	0,40	0,50
Variância (cm³)			0,008	0,003	0,01
Desvio padrão			0,089	0,055	0,100
Coeficiente de variação (%)			34,40	16,11	25,00
Eficácia (%)			51,22		

Tabela II (43) - Ensaio de absorção de água - Método do cachimbo - argamassa CHA(1:1:7)

Painel	Idade	Ensaio n°	Leitura (cm³)		
			5 min.	10 min.	15 min.
CHA (1:1:7)	28 dias	1	0,60	0,80	0,90
		2	0,50	0,70	0,80
		3	0,40	0,50	0,60
		4	0,50	0,60	0,70
		5	0,30	0,45	0,55
		Média	0,46	0,61	0,71
Valor mínimo (cm³)			0,30	0,45	0,55
Media (cm³)			0,46	0,61	0,71
Valor máximo (cm³)			0,60	0,80	0,90
Variância (cm³)			0,013	0,0205	0,0205
Desvio padrão			0,114	0,143	0,143
Coeficiente de variação (%)			24,79	23,47	20,17
Eficácia (%)			1,39		

Tabela II (44) - Ensaio de absorção de água - Método do cachimbo - argamassa CHB(1:1:7)

Painel	Idade	Ensaio n°	Leitura (cm³)		
			5 min.	10 min.	15 min.
CHB (1:1:7)	28 dias	1	0,60	0,70	0,80
		2	0,15	0,20	0,30
		3	0,70	0,90	1,10
		4	0,30	0,40	0,50
		5	0,40	0,60	0,70
		Média	0,43	0,56	0,68
Valor mínimo (cm³)			0,15	0,20	0,30
Media (cm³)			0,43	0,56	0,68
Valor máximo (cm³)			0,70	0,90	1,10
Variância (cm³)			0,0495	0,073	0,092
Desvio padrão			0,222	0,270	0,303
Coeficiente de variação (%)			51,74	48,25	44,61
Eficácia (%)			15,00		

Tabela II (45) - Ensaios de absorção de água - Método do cachimbo - argamassa CV(1:1:7)

Painel	Idade	Ensaio n°	Leitura (cm³)		
			5 min.	10 min.	15 min.
CV (1:1:7)	28 dias	1	0,90	1,00	1,10
		2	1,20	1,50	1,70
		3	0,70	0,90	1,10
		4	1,00	1,40	1,60
		5	0,80	1,00	1,20
		Média	0,92	1,16	1,34
Valor mínimo (cm³)			0,70	0,90	1,10
Média (cm³)			0,92	1,16	1,34
Valor máximo (cm³)			1,20	1,50	1,70
Variância (cm³)			0,037	0,073	0,083
Desvio padrão			0,192	0,270	0,288
Coeficiente de variação (%)			20,91	23,29	21,50
Eficácia (%)			- 63,41		

Tabela II (46) - Ensaios de absorção de água - Método do cachimbo - argamassa CHA(1:4:14)

Painel	Idade	Ensaio n°	Leitura (cm³)		
			5 min.	10 min.	15 min.
CHA (1:4:14)	28 dias	1	0,70	1,00	1,40
		2	0,30	0,50	0,60
		3	0,40	0,60	0,70
		4	0,30	0,50	0,60
		5	0,40	0,60	0,70
		Média	0,42	0,64	0,80
Valor mínimo (cm³)			0,30	0,50	0,60
Média (cm³)			0,42	0,64	0,80
Valor máximo (cm³)			0,70	1,00	1,40
Variância (cm³)			0,027	0,043	0,115
Desvio padrão			0,164	0,207	0,339
Coeficiente de variação (%)			39,12	32,40	42,39
Eficácia (%)			- 11,11		

Tabela II (47) - Ensaios de absorção de água - Método do cachimbo - argamassa CHB(1:4:14)

Painel	Idade	Ensaio n°	Leitura (cm³)		
			5 min.	10 min.	15 min.
CHB (1:4:14)	28 dias	1	0,80	1,10	1,30
		2	0,40	0,60	0,70
		3	0,60	0,80	1,00
		4	0,60	0,90	1,10
		5	0,60	0,90	1,10
		Média	0,60	0,84	1,04
Valor mínimo (cm³)			0,40	0,60	0,70
Média (cm³)			0,60	0,84	1,04
Valor máximo (cm³)			0,80	1,10	1,30
Variância (cm³)			0,02	0,033	0,048
Desvio padrão			0,141	0,182	0,219
Coeficiente de variação (%)			23,57	21,63	21,07
Eficácia (%)			- 30,00		

Tabela II (48) - Ensaios de absorção de água - Método do cachimbo - argamassa CV(1:4:14)

Painel	Idade	Ensaio n°	Leitura (cm³)		
			5 min.	10 min.	15 min.
CV (1:4:14)	28 dias	1	1,40	2,10	2,70
		2	1,20	1,80	2,30
		3	1,10	1,70	2,10
		4	0,90	1,50	2,00
		5	0,80	1,30	1,70
		Média	1,08	1,68	2,16
Valor mínimo (cm³)			0,80	1,30	1,70
Média (cm³)			1,08	1,68	2,16
Valor máximo (cm³)			1,40	2,10	2,70
Variância (cm³)			0,057	0,092	0,138
Desvio padrão			0,239	0,303	0,371
Coeficiente de variação (%)			22,11	18,05	17,20
Eficácia (%)			- 163,41		

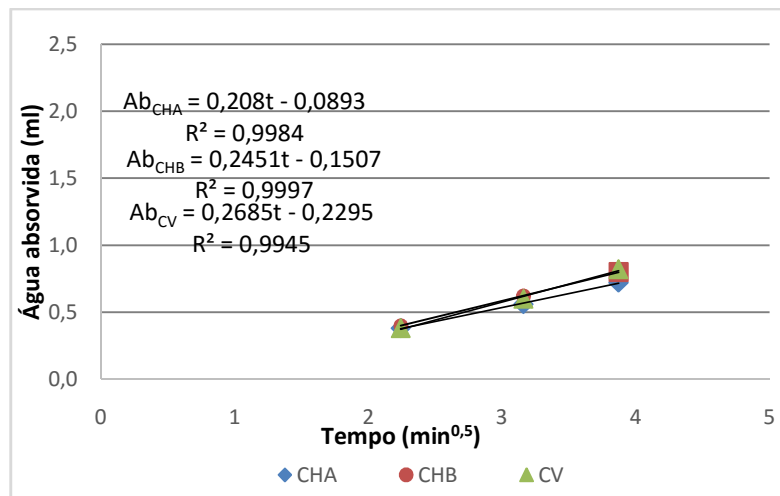


Figura II (29) - Absorção média das argamassas 1:1:6

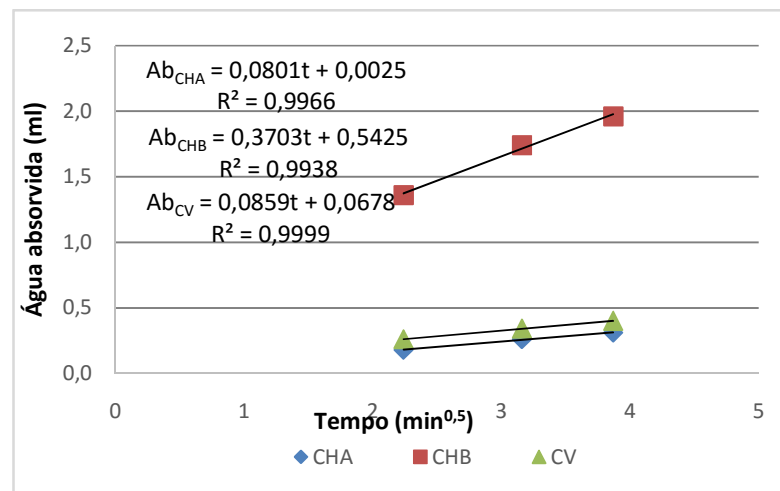


Figura II (30) - Absorção média das argamassas 1:0,33:3,7

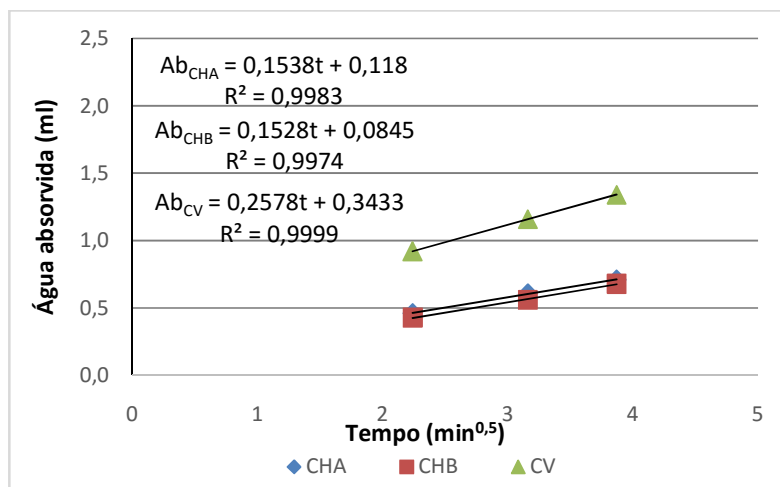


Figura II (31) - Absorção média das argamassas 1:1:7

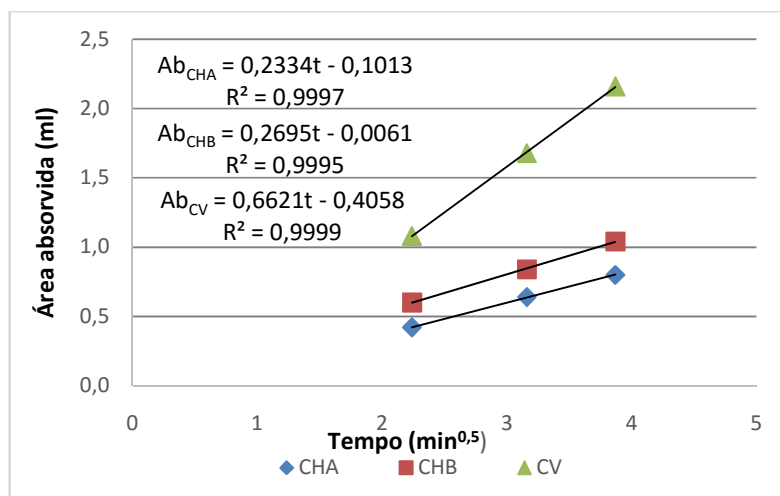


Figura II (32) - Absorção média das argamassas 1:4:14

c) Ensaio para determinação do teor de sais nas amostras extraídas dos painéis experimentais montados em laboratório

Tabela II (49) - Teores de sais solúveis (sulfatos) nas argamassas extraídas dos painéis experimentais

Amostras	Massa original m1(g)	Massa BaSO ₄ (g)	Massa cadinho(g)	BaSO ₄ m2(g)	% SO ₄
CHA (1:1:6)	20,0053	30,1203	29,8766	0,2437	1,2547
CHB(1:1:6)	20,0019	29,0682	28,7682	0,3000	1,5449
CV(1:1:6)	20,0023	30,3636	30,1636	0,2000	1,0299
CHA (1:0,33:3,7)	20,0022	30,5547	30,1122	0,4425	2,2786
CHB (1:0,33:3,7)	20,0027	21,0684	20,8482	0,2202	1,1339
CV (1:0,33:3,7)	20,0026	20,1432	20,1229	0,0203	0,1045
CHA (1:1:7)	20,0018	20,9146	20,7831	0,1315	0,6772
CHB (1:1:7)	20,0023	19,9526	19,8344	0,1182	0,6087
CV (1:1:7)	20,0025	29,4416	29,0085	0,4331	2,2302
CHA (1:4:14)	20,0077	30,9712	30,8002	0,1710	0,8805
CHB (1:4:14)	20,0022	37,7205	37,4165	0,3040	1,5654
CV (1:4:14)	20,0019	36,8588	35,9128	0,9460	4,8714

d) Absorção de água por capilaridade nos painéis revestidos com as argamassas trabalhadas

Tabela II (50) - Absorção de água por capilaridade nos painéis argamassa CHA-1:1:6

\sqrt{t} hrs	área m2	\sqrt{t} min.	Horas
4,899	0,02	37,947	24
6,928	0,05	53,666	48
8,485	0,07	65,727	72
9,798	0,09	75,895	96
10,954	0,1	84,853	120
12,961	0,11	100,399	168
13,856	0,125	107,331	192
18,33	0,15	141,986	336

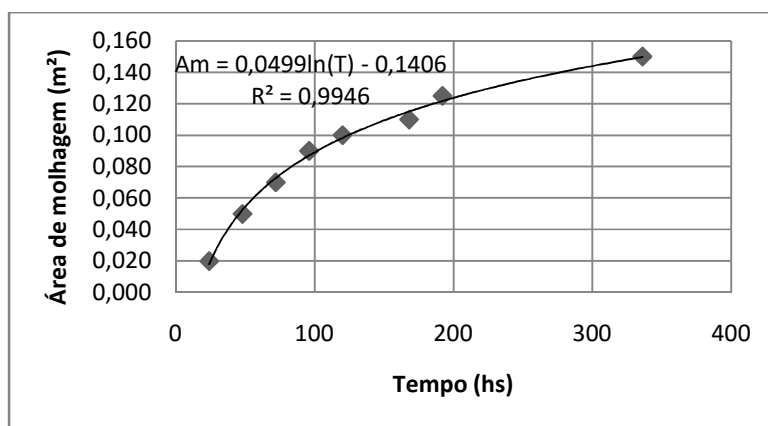


Figura II (33) - Absorção de água por capilaridade- argamassa CHA-1:1:6

Tabela II (51)- Absorção de água por capilaridade nos painéis-argamassa CHB-1:1:6

\sqrt{t} hrs	área m2	\sqrt{t} min.	Horas
4,899	0,015	37,947	24
6,928	0,05	53,666	48
8,485	0,075	65,727	72
9,798	0,1	75,895	96
10,954	0,1	84,853	120
12,961	0,11	100,399	168
13,856	0,115	107,331	192
18,33	0,125	141,986	336

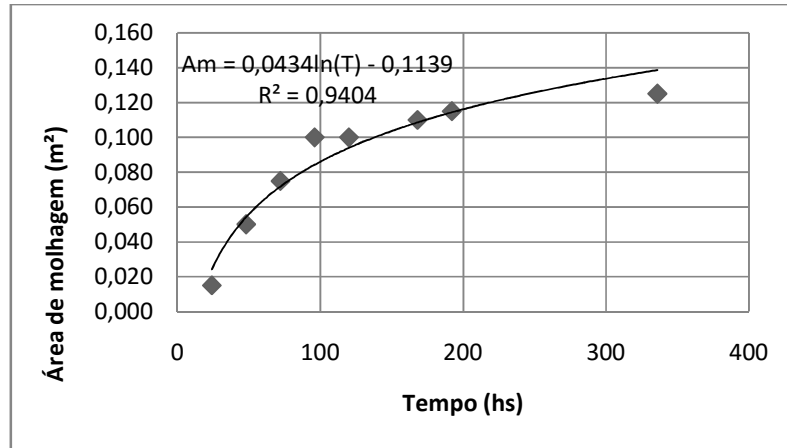


Figura II (34) - Absorção de água por capilaridade- argamassa CHB-1:1:6

Tabela II (52) - Absorção de água por capilaridade nos painéis-argamassa CV 1:1:6

∫ t hrs	área m2	∫ t min.	Horas
4,899	0,025	37,947	24
6,928	0,045	53,666	48
8,485	0,075	65,727	72
9,798	0,085	75,895	96
10,954	0,095	84,853	120
12,961	0,11	100,399	168
13,856	0,11	107,331	192
18,33	0,13	141,986	336

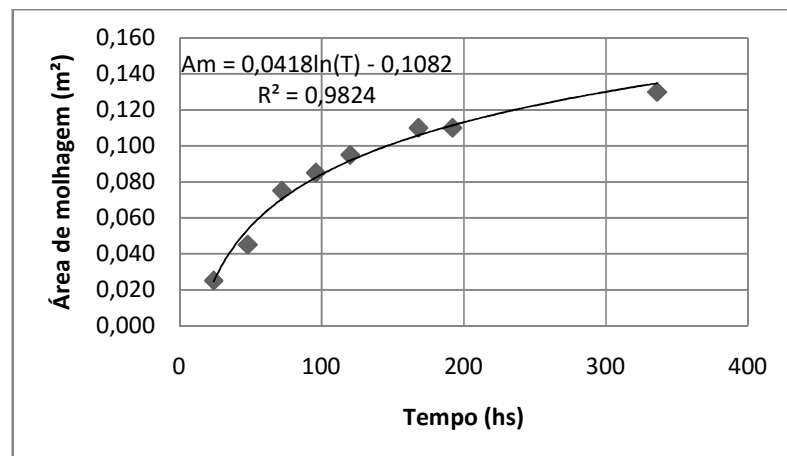


Figura II (35) - Absorção de água por capilaridade- argamassa CV-1:1:6

Tabela II (53) - Absorção de água por capilaridade nos painéis-argamassa CHA-1:0.33:3,7

\sqrt{t} hrs	área m2	\sqrt{t} min.	Horas	
4,899	0	37,947	24	
6,928	0,014	53,666	48	
8,485	0,05	65,727	72	
9,798	0,06	75,895	96	retiradas por repetição/patamar
10,954		84,853	120	0,06
12,961		100,399	168	0,06
13,856		107,331	192	0,075
18,33		141,986	336	0,075

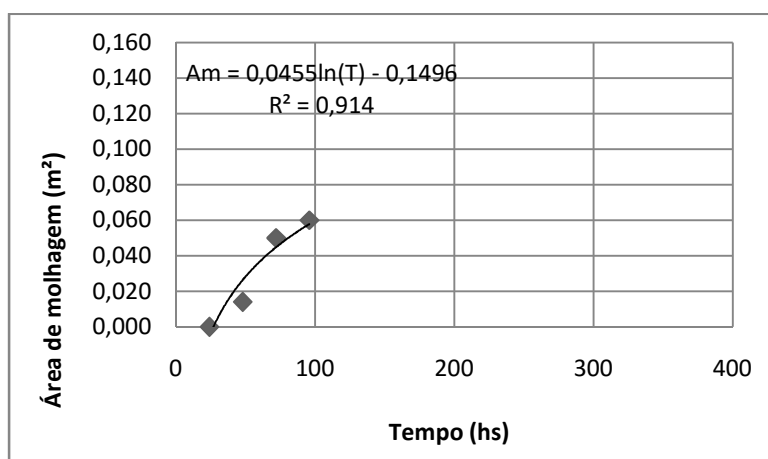


Figura II (36) - Absorção de água por capilaridade- argamassa CHA-1:0,33:3,7

TabelaII (54) - Absorção de água por capilaridade nos painéis-argamassa CHB-1:0.33:3,7

\sqrt{t} hrs	área m2	\sqrt{t} min.	Horas	
4,899	0	37,947	24	
6,928	0	53,666	48	
8,485	0,05	65,727	72	
9,798	0,06	75,895	96	retiradas por repetição/patamar
10,954		84,853	120	0,06
12,961		100,399	168	0,06
13,856		107,331	192	0,06
18,33		141,986	336	0,075

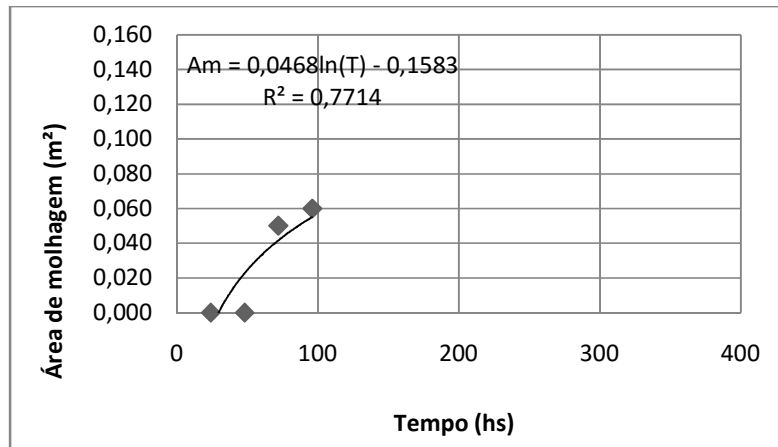


Figura II (37) - Absorção de água por capilaridade- argamassa CHB-1:0,33:3,7

Tabelall (55) - Absorção de água por capilaridade nos painéis-argamassa CV-1:0.33:3,7

√ t hrs	área m2	√ t min.	Horas	
4,899	0	37,947	24	
6,928	0,02	53,666	48	
8,485	0,05	65,727	72	
9,798	0,065	75,895	96	retiradas por repetição/patamar
10,954		84,853	120	0,065
12,961		100,399	168	0,065
13,856		107,331	192	0,065
18,33		141,986	336	0,065

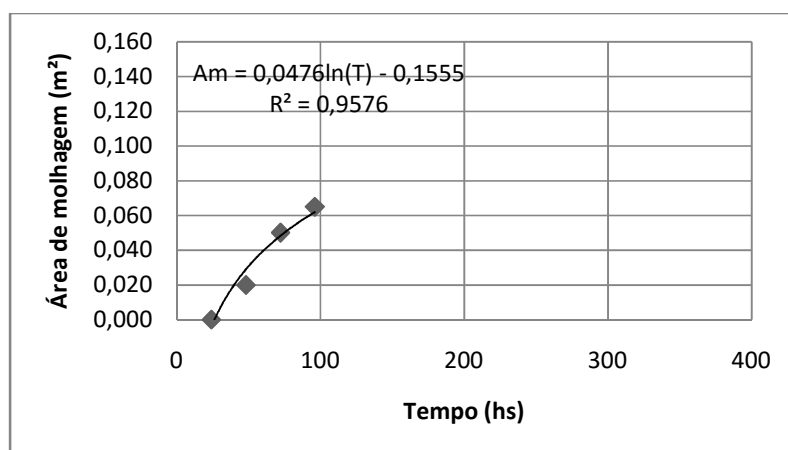


Figura II (38) - Absorção de água por capilaridade- argamassa CV-1:0,33:3,7

TabelaII (56) - Absorção de água por capilaridade nos painéis-argamassa 03 CHA-1:1:7

$\int t$ hrs	área m2	$\int t$ min.	Horas	
4,899	0	37,947	24	
6,928	0	53,666	48	
8,485	0,015	65,727	72	
9,798	0,025	75,895	96	
10,954	0,04	84,853	120	retiradas por repetição/patamar
12,961		100,399	168	0,04
13,856		107,331	192	0,04
18,33		141,986	336	0,04

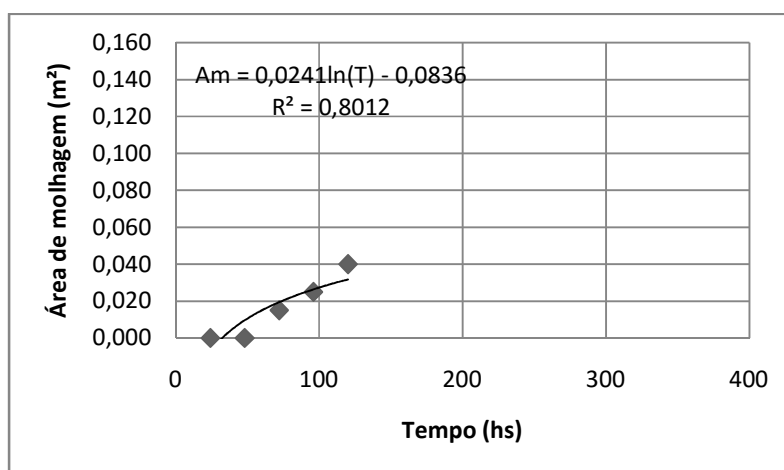


Figura II (39) - Absorção de água por capilaridade- argamassa CHA-1:1:7

TabelaII (57) - Absorção de água por capilaridade nos painéis-argamassa CHB-1:1:7

$\int t$ hrs	área m2	$\int t$ min.	Horas
4,899	0	37,947	24
6,928	0	53,666	48
8,485	0	65,727	72
9,798	0	75,895	96
10,954	0	84,853	120
12,961	0	100,399	168
13,856	0	107,331	192
18,33	0	141,986	336

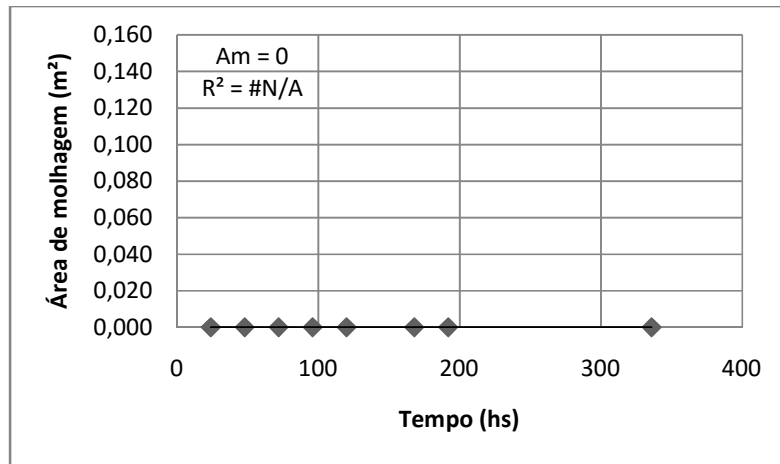


Figura II (40) - Absorção de água por capilaridade- argamassa CHB-1:1:7

Tabelall (58) - Absorção de água por capilaridade nos painéis-argamassa CV-1:1:7

\sqrt{t} hrs	área m2	\sqrt{t} min.	Horas	
4,899	0	37,947	24	
6,928	0,025	53,666	48	
8,485	0,03	65,727	72	
9,798	0,05	75,895	96	retiradas por repetição/patamar
10,954		84,853	120	0,05
12,961		100,399	168	0,05
13,856		107,331	192	0,05
18,33		141,986	336	0,05

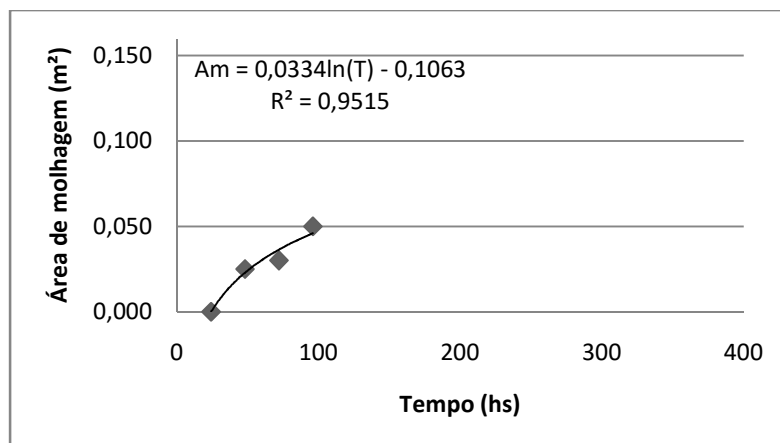


Figura II (41) - Absorção de água por capilaridade- argamassa CV-1:1:7

Tabelall (59) - Absorção de água por capilaridade nos painéis-argamassa CHA-1:4:14

$\int t$ hrs	área m2	$\int t$ min.	Horas	
4,899	0	37,947	24	
6,928	0,005	53,666	48	
8,485	0,025	65,727	72	
9,798	0,05	75,895	96	retiradas por repetição/patamar
10,954		84,853	120	0,05
12,961		100,399	168	0,05
13,856		107,331	192	0,06
18,33		141,986	336	0,07

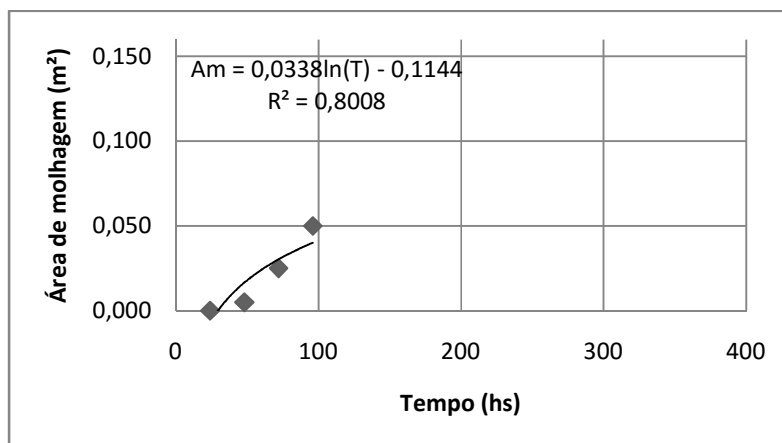


Figura II (42) - Absorção de água por capilaridade-argamassa CHA-1:4:14

Tabelall (60) - Absorção de água por capilaridade nos painéis-argamassa CHB-1:4:14

$\int t$ hrs	área m2	$\int t$ min.	Horas	
4,899	0	37,947	24	
6,928	0,014	53,666	48	
8,485	0,04	65,727	72	
9,798	0,055	75,895	96	retiradas por repetição/patamar
10,954		84,853	120	0,055
12,961		100,399	168	0,055
13,856		107,331	192	0,055
18,33		141,986	336	0,055

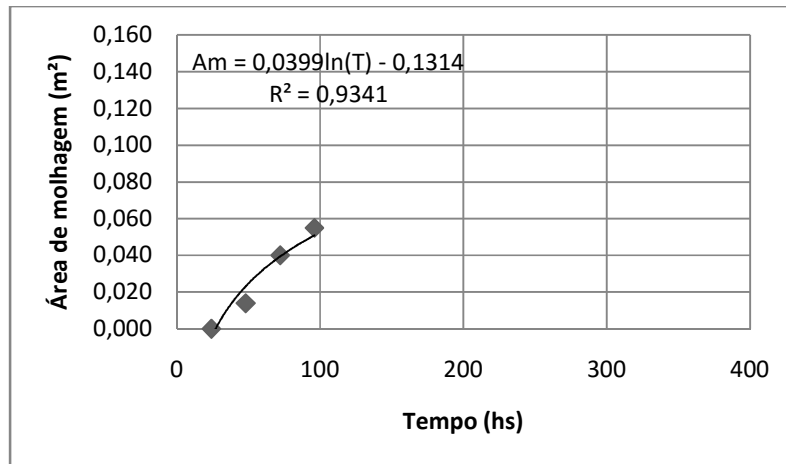


Figura II (43) - Absorção de água por capilaridade-argamassa CHB-1:4:14

Tabelall (61) - Absorção de água por capilaridade nos painéis-argamassa CV-1:4:14

√ t hrs	área m2	√ t min.	Horas	
4,899	0	37,947	24	
6,928	0,0015	53,666	48	
8,485	0,015	65,727	72	
9,798	0,045	75,895	96	retiradas porepetição/patamar
10,954		84,853	120	0,045
12,961		100,399	168	0,045
13,856		107,331	192	0,05
18,33		141,986	336	0,05

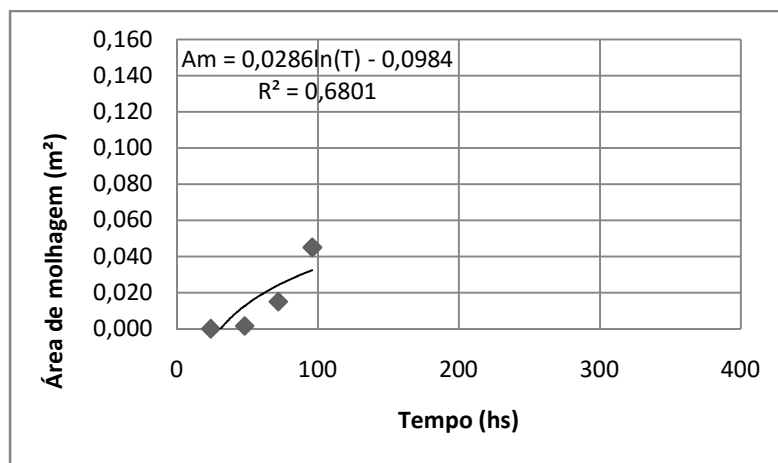


Figura II (44) - Absorção de água por capilaridade-argamassa CV-1:4:14

d) Compilação geral dos ensaios nas argamassas trabalhadas nos painéis experimentais

Tabela II (62) - Tabela geral dos ensaios para análise estatística - spreadsheet - statistic 10 - Anova 11vby 36c

Arg	traço	Ccc	Permeab.	Compres. (7)	Compres. (28)	Tração	Secagem	Ind. vz. nat.	Aderência	Sat. Nat.	Ind. vaz. ferv.
CHA	1:1:6	0,4032	0,38	1,45	2,55	0,46	-0,56	20,8	22	11,04	21,98
CHA	1:1:6	0,5882	0,56	1,45	2,29	0,40	-0,57	21,4	10	11,02	23,96
CHA	1:1:6	0,3731	0,72	1,45	2,42	0,33	-0,56	21,1	20	11,08	22,45
CHB	1:1:6	0,2814	0,40	2,13	3,57	0,44	-0,49	19,9	15	10,56	22,15
CHB	1:1:6	0,5218	0,62	2,13	5,09	0,44	-0,52	20,4	14	10,43	23,54
CHB	1:1:6	0,3378	0,80	1,78	4,59	0,39	-0,46	20,6	12	10,23	23,12
CV	1:1:6	0,5107	0,38	1,76	3,82	0,46	-0,59	22,8	13	12,15	26,86
CV	1:1:6	0,4742	0,6	1,63	3,64	0,45	-0,62	23,2	10	12,47	27,72
CV	1:1:6	0,468	0,82	1,83	3,95	0,43	-0,6	22,9	14	12,63	27,55
CHA	1:0,33:3,7	0,4775	0,18	4,48	6,88	1,06	-0,5	21,2	8	11,55	23,46
CHA	1:0,33:3,7	0,4427	0,26	3,52	8,51	1,06	-0,48	21,44	4	11,41	23,8
CHA	1:0,33:3,7	0,3162	0,31	4,33	7,54	1,41	-0,47	21,33	6	11,51	23,2
CHB	1:0,33:3,7	0,2466	1,36	0,61	2,29	0,21	-0,49	21	11	11,03	22,65
CHB	1:0,33:3,7	0,3162	1,74	0,61	2,5	0,24	-0,5	20,9	6	11,25	22,98
CHB	1:0,33:3,7	0,2846	1,96	0,92	2,24	0,24	-0,5	19,95	8	11,28	22,45
CV	1:0,33:3,7	0,5218	0,26	3,97	7,08	0,17	-0,56	22,15	15	12,44	23,28
CV	1:0,33:3,7	0,3589	0,34	3,82	8,56	0,52	-0,55	22,35	15	12,12	24,61
CV	1:0,33:3,7	0,3842	0,4	4,89	7,59	0,34	-0,54	22,45	5	12,11	24,1
CHA	1:1:7	0,351	0,46	0,92	3,06	0,54	-0,49	21,55	14	11,62	27,12
CHA	1:1:7	0,4253	0,61	0,94	2,75	0,53	-0,52	21,79	15	11,71	27,22
CHA	1:1:7	0,3652	0,71	1,02	2,96	0,56	-0,51	21,3	15	11,43	26,78
CHB	1:1:7	0,4364	0,43	0,92	2,55	0,37	-0,5	22,1	10	11,98	26,92
CHB	1:1:7	0,3399	0,56	1,02	2,6	0,37	-0,49	21,97	9	12,05	26,95
CHB	1:1:7	0,3352	0,68	0,82	2,55	0,35	-0,49	21,47	7	12,15	26,44
CV	1:1:7	0,566	0,92	0,66	2,45	0,18	-0,57	22,2	11	12,03	28,84
CV	1:1:7	0,5613	1,16	0,82	2,6	0,19	-0,56	22,25	5	12,19	29,51
CV	1:1:7	0,5566	1,34	0,87	2,5	0,19	-0,58	22,54	9	12,08	29,12
CHA	1:4:14	0,8206	0,42	0,51	1,48	0,17	-0,66	23,66	5	13,01	25,32
CHA	1:4:14	0,7684	0,64	0,61	2,14	0,17	-0,67	23,94	5	12,91	25,5
CHA	1:4:14	0,7115	0,8	0,61	1,94	0,17	-0,65	22,85	4	12,78	25,2
CHB	1:4:14	0,7036	0,6	0,71	2,75	0,35	-0,62	23,25	9	12,96	29,45
CHB	1:4:14	0,6672	0,84	0,61	2,9	0,35	-0,64	23,94	7	13,02	29,56
CHB	1:4:14	0,721	1,04	0,66	2,8	0,19	-0,92	23,64	7	13,05	28,42
CV	1:4:14	0,5866	1,08	0,15	0,36	0	-0,65	23,95	2	13,34	29,12
CV	1:4:14	0,5961	1,68	0,15	0,36	0	-0,66	24,23	2	13,21	29,36
CV	1:4:14	0,3763	2,16	0,15	0,36	0	-0,66	24,15	2	13,11	29,65

