



LABORATÓRIO NACIONAL  
DE ENGENHARIA CIVIL

# **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**

Outubro de 2009

Tese apresentada para a obtenção do grau de Doutor pela Universidade Federal do Rio de Janeiro e do grau de Especialista pelo Laboratório Nacional de Engenharia Civil, no domínio da Engenharia Civil, no âmbito do convénio celebrado entre as duas instituições

**I&D  
TESE EDIFÍCIOS**



---

## **ARGAMASSAS DE REABILITAÇÃO: ESTUDO DA SUA UTILIZAÇÃO E DO SEU COMPORTAMENTO PARA O TRATAMENTO E RECUPERAÇÃO DE CONSTRUÇÕES AFETADAS POR EFLORESCÊNCIAS**

### **RESUMO**

Ultimamente tem ocorrido, na região de Pelotas, uma maior preocupação com a recuperação do patrimônio histórico ou com construções atuais, que estejam apresentando elevado índice de deterioração, causado por eflorescências, o que muitas vezes torna o uso destes prédios prejudicado e até mesmo impróprio. O presente trabalho visa diagnosticar a patologia de argamassas de revestimento, em construções antigas, afetadas por sais solúveis. A região em estudo é a zona central da cidade de Pelotas, por possuir maior concentração de prédios históricos, do início do século XIX até metade do século XX, que apresentam grandes processos de deterioração ocasionada por esta patologia. O estudo propõe-se estabelecer uma metodologia de abordagem dos problemas relacionados com estas deteriorações e identificar desde as causas até às soluções próprias a cada situação. São aplicadas técnicas experimentais, tanto para os materiais como para os processos construtivos dos revestimentos de saneamento. Procura-se assim, lançar algumas bases que permitirão, com conhecimento de causa, a seleção de argamassas de reabilitação apropriadas à solução dos problemas identificados e especificar os procedimentos de avaliação e aplicação. O estudo tem por objetivo final procurar definir as soluções possíveis em edifícios afetados por eflorescências nas argamassas de revestimento. Procura, então, contribuir para o enriquecimento da nossa bibliografia técnica, sobre um tema pouco abordado até o momento.

Para atingir esse objetivo, o presente trabalho está dividido em nove capítulos; nos dois capítulos iniciais são descritos os aspectos fundamentais para que um revestimento de argamassa apresente um comportamento adequado, principalmente no que se refere aos efeitos causados pela presença de umidade e de sais solúveis. Nos capítulos três e quatro, são levantadas as soluções tradicionais dos revestimentos utilizados nas construções locais e as deteriorações que estas apresentam, causadas pela combinação da umidade e dos sais solúveis,

## **II**

---

além da eleição e caracterização do edifício selecionado para o estudo, com a realização de ensaios “in situ” e a caracterização experimental “in situ”. Já no capítulo cinco, faz-se uma análise geral sobre eflorescências e dos métodos para tratar esta patologia.

O capítulo seis dedica-se ao estudo pormenorizado de argamassas destinadas à recuperação de edifícios afetados por eflorescências. Na fase inicial deste capítulo faz-se um levantamento e uma caracterização dos produtos existentes no mercado, usados para sanear esta patologia; também, e com maior profundidade, são analisados os materiais constituintes das argamassas comercializadas na região de Pelotas. Já no final desse capítulo trata-se especificamente do desenvolvimento de argamassas de reabilitação, onde se define sua composição, caracterização e avaliação do desempenho. Nos restantes três capítulos desenvolve-se toda a fase experimental que serve de base para as conclusões e desenvolvimento futuro da investigação no domínio das eflorescências.

O trabalho está constituído, também, por dois anexos; onde no anexo I encontram-se expressos os resultados dos ensaios realizados no edifício selecionado e no anexo II estão compilados os resultados dos ensaios desenvolvidos nos constituintes e nas argamassas de reabilitação preconizadas.

**PALAVRAS-CHAVE:** Anomalia; Argamassa; Aditivos; Adjuvantes; Composição; Construção; Deterioração; Eflorescências; Impermeabilização; Parede; Patologia; Reabilitação; Reboco; Recuperação; Revestimento; Sais Solúveis; Umidade.

---

**MORTIERS DE RÉHABILITATION: UNE ÉTUDE DE LEUR UTILISATION ET  
COMPORTEMENT POUR LE TRAITEMENT ET LA RÉCUPÉRATION  
DES BÂTIMENTS AFFECTÉS PAR DES EFFLORESCENCES**

**RÉSUMÉ**

Dernièrement, à la région de Pelotas, on s'est préoccupé de la récupération du patrimoine historique ou des bâtiments actuels qui montrent une forte détérioration due aux efflorescences, le plus souvent en leur causant des dommages ou même en empêchant leur usage. Cette étude a pour but diagnostiquer la pathologie des mortiers de revêtement d'anciens bâtiments affectés par des sels solubles. La région étudiée est la zone centrale de la ville de Pelotas, où on trouve la concentration la plus grande d'immeubles historiques bâtis au commencement du siècle XIX jusqu'à la moitié du siècle XX qui souffrent de grands procès d'endommagement à cause de cette pathologie. L'étude cherche à établir une méthodologie d'abordage des problèmes rapportés à ces détériorations et identifiés dès les causes jusqu'aux solutions convenables à chaque situation. Des techniques expérimentales soit pour les matériaux soit pour les procès constitutifs des revêtements d'assainissement sont développés. On cherche ainsi à établir des bases capables de permettre, en connaissance de cause, la sélection des mortiers de réhabilitation propres à denouer les problèmes identifiés et spécifier les procédés d'évaluation et d'application. L'étude cherche, comme objectif final, à définir les solutions possibles appliquées aux bâtiments qui se trouvent dans cette condition. On essaye, alors, d'enrichir notre bibliographie technique avec un thème peu travaillé jusqu'à maintenant.

Cette ouvrage présente neuf chapitres: les deux premiers décrivent les aspects fondamentaux pour arriver à un procédé convenable d'un revêtement en mortier face aux effets de l'humidité et des sels solubles. Les chapitres trois et quatre montrent les solutions traditionnelles des revêtements employés dans les bâtiments locaux et leurs détériorations par la combinaison de l'humidité et des sels solubles; on y trouve aussi la sélection et la caractérisation du bâtiment sélectionné pour l'étude. Le chapitre cinq fait une analyse générale des efflorescences et des méthodes qui s'occupent de cette pathologie. Le chapitre six est dédié à l'étude détaillé des mortiers assignés à la récupération des bâtiments affectés par des

## **IV**

---

efflorescences. On dresse, au début de ce chapitre, une liste et une caractérisation des produits employés dans le marché pour assainir la pathologie; on analyse aussi profondément les matériaux constitutifs des mortiers en usage à notre région. À son finale, on expose spécifiquement le développement des mortiers de récupération et on l'en précise la composition, la caractérisation et l'évaluation de leur performance. Les derniers trois chapitres présentent la phase expérimentale qui sert de base aux conclusions et au futur développement de la recherche dans le domaine des efflorescences.

Le travail est fait, aussi, pour les deux annexes, où à l'annexe I, sont exprimés les résultats des essais effectués en bâtiment choisi et à l'annexe II sont compilés les résultats des tests mis au point dans les constituants des mortiers et de réadaptation.

**MOTS-CLÉS:** Additifs; Adjuvants; Composition; Détérioration; Efflorescences; Enduits; Humidité; Imperméabilisation; Mortier; Mur; Pathologie; Récupération; Réhabilitation; Revêtement; Sels solubles.

---

**REHABILITATION MORTARS: A STUDY ON THEIR USE AND  
BEHAVIOUR FOR TREATMENT AND RECOVERY OF  
BUILDINGS AFFECTED BY EFFLORESCENCES**

**ABSTRACT**

A greater concern has lately occurred in the region of Pelotas about the recovery of the historical heritage or even that of more recent buildings which show a high index of decay caused by efflorescences which jeopardize their use and even render them improper for usage. The present work aims at diagnosing the rendering mortars pathology in old constructions affected by soluble salts. The region in question is located in the central zone of the city of Pelotas because there is in it a great deal of historical buildings - from the beginning of 19<sup>th</sup> century to the middle of the 20<sup>th</sup> century – which present severe decay processes due to this pathology. To establish a methodology for approaching the problems concerning the decay is the aim of this study. In it not only causes but also appropriate solutions for each situation are identified. Experimental techniques are developed for both materials and constructiveng processes of the repairable renders. Consequently, with special knowledge some bases are launched to allow the selection of rehabilitation mortars suitable to solve the identified problems and to specify the procedures of evaluation and application. The study has an ultimate purpose of defining possible solutions for buildings affected by efflorescences in their rendering mortars. The contribution is, then, for the enrichment of the technical bibliography on a little observed theme up to now.

To reach this objective, the present work is divided into nine chapters. In the first two chapters, fundamental aspects are described so that a mortar render presents an adequate behaviour, mainly concerning the effects caused by moisture and soluble salts. The third and the fourth chapters list the traditional render solutions used in local buildings and the decays they present caused by the combination of moisture and soluble salts, besides they point out and characterize the building selected to be studied. The fifth chapter exposes a general analysis about efflorescences and methods to deal with this pathology.

## VI

---

The sixth chapter offers a circumstantial study of mortars used to recover buildings affected by efflorescence. The beginning of this chapter displays a survey and characterization of the existing products in the market used to repair this pathology; moreover, constituent materials of mortars marketed in Pelotas region are analysed with a greater depth. At the end of this chapter the development of recovery mortars is specifically approached, in which their composition, characterization and performance evaluation are defined. The last three chapters deal with all the experimental phase which is the basis for conclusions and the future development of the research in the field of efflorescences.

The work is made, also, for two annexes, where in Annex I, are cast the results of tests carried out in selected building and Annex II are compiled the results of tests developed in the constituents and mortars out of rehabilitation.

**KEY-WORDS:** Additives; Admixture, Anomaly; Building; Composition; Covering, Decay; Efflorescence; Humidity; Mortar; Pathology; Recovery; Rehabilitation; Render, Soluble Salts; Wall; Waterproofing.

---

**ARGAMASSAS DE REABILITAÇÃO: ESTUDO DA SUA UTILIZAÇÃO E DO SEU  
COMPORTAMENTO PARA O TRATAMENTO E RECUPERAÇÃO DE  
CONSTRUÇÕES AFETADAS POR EFLORESCÊNCIAS**

**ÍNDICE GERAL**

	<b>Pág.</b>
Resumo; palavras-chave.....	I
Résumé; mots-clés.....	III
Abstract; key-words.....	V
Índice geral.....	VII
Índice do texto.....	IX
Índice de quadros.....	XIV
Índice de figuras.....	XVI
Agradecimentos.....	XXI
Capítulo 1 – Introdução.....	1
Capítulo 2 – Regras de qualidade para argamassas de revestimento de edifícios.....	9
Capítulo 3 – Umidade nas construções.....	25
Capítulo 4 – Eflorescências nas construções.....	79
Capítulo 5 – Levantamento das soluções construtivas tradicionais na região de Pelotas	99
Capítulo 6 – Caracterização dos revestimentos de paredes antigas em Pelotas.....	121
Capítulo 7 – Organização do trabalho experimental.....	143
Capítulo 8 – Resultado dos ensaios realizados.....	205
Capítulo 9 – Conclusões.....	259
Anexo I - Resultados dos ensaios realizados no edifício selecionado.....	I.1
Anexo II - Resultados dos ensaios realizados nos constituintes e nas argamassas de reabilitação.....	II. 1



**ARGAMASSAS DE REABILITAÇÃO: ESTUDO DA SUA UTILIZAÇÃO E DO SEU  
COMPORTAMENTO PARA O TRATAMENTO E RECUPERAÇÃO DE  
CONSTRUÇÕES AFETADAS POR EFLORESCÊNCIAS**

**ÍNDICE DO TEXTO**

	<b>Pág.</b>
 <b>PARTE I - FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b>	
<b>CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO.....</b>	1
1.1 – INTERESSE E OBJETIVOS DO TRABALHO.....	3
1.2 – ORGANIZAÇÃO DO TEXTO.....	5
 <b>CAPÍTULO 2 – REGRAS DE QUALIDADE PARA ARGAMASSAS COMPORTAMENTO DAS ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO DE EDIFÍCIOS.....</b>	
2.1 – CONSIDERAÇÕES GERAIS.....	11
2.2 – REGRAS DE QUALIDADE QUANTO À TRABALHABILIDADE.....	13
2.3 – REGRAS DE QUALIDADE QUANTO AO DESEMPENHO.....	13
BIBLIOGRAFIA DO CAPÍTULO 2.....	21
 <b>CAPÍTULO 3 – UMIDADE NAS CONSTRUÇÕES.....</b>	
3.1 – GENERALIDADES.....	27
3.2 – ORIGENS E FORMAS DE MANIFESTAÇÃO DA UMIDADE.....	28
3.3 – MÉTODOS E EQUIPAMENTOS PARA O DIAGNÓSTICO DA UMIDADE.....	40
3.4 – MÉTODOS DE TRATAMENTO.....	44
3.4.1 - Levantamento dos produtos utilizados para o combate à umidade.....	44

3.4.2 - Levantamento e descrição de processos.....	46
3.4.3 - Análise crítica.....	73
3.4.4 - Campo de aplicação e limitações.....	74
BIBLIOGRAFIA DO CAPÍTULO 3.....	75
<b>CAPÍTULO 4 – EFLORESCÊNCIAS NAS CONSTRUÇÕES.....</b>	<b>79</b>
4.1 – GENERALIDADES.....	81
4.2 – ORIGENS E FORMAS DE MANIFESTAÇÃO DAS EFLORESCÊNCIAS.....	82
BIBLIOGRAFIA DO CAPÍTULO 4.....	94
 <b>PARTE II - CONSTRUÇÃO TRADICIONAL EM PELOTAS</b>	
 <b>CAPÍTULO 5 – LEVANTAMENTO DAS SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS TRADICIONAIS NA REGIÃO DE PELOTAS E DE SUAS PRINCIPAIS ANOMALIAS.....</b>	
5.1 – GENERALIDADES.....	101
5.2 – LEVANTAMENTO GERAL DE SOLUÇÕES.....	102
5.2.1 - Considerações gerais.....	102
5.2.2 - Das fundações.....	103
5.2.3 - Das paredes.....	104
5.2.4 - Dos revestimentos.....	106
5.3 – LEVANTAMENTO DAS ANOMALIAS NUM CONJUNTO DE EDIFÍCIOS.....	108
5.3.1 - Considerações gerais.....	108
5.3.2 - Caracterização das edificações.....	109
5.3.3 - Tipos dos materiais utilizados nas edificações.....	110
5.3.4 - Estado de conservação dos edifícios analisados.....	111
5.4 – LEVANTAMENTO PORMENORIZADO DAS EFLORESCÊNCIAS.....	116
BIBLIOGRAFIA DO CAPÍTULO 5.....	118

**CAPÍTULO 6 – CARACTERIZAÇÃO DOS REVESTIMENTOS DE PAREDES**

<b>ANTIGAS EM PELOTAS.....</b>	<b>121</b>
6.1 – SELEÇÃO DE EDIFÍCIOS PARA ESTUDO .....	123
6.2 – CARACTERIZAÇÃO DAS TÉCNICAS CONSTRUTIVAS NO EDIFÍCIO SELECIONADO .....	128
BIBLIOGRAFIA DO CAPÍTULO 6.....	141

**PARTE III - DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO EXPERIMENTAL**

**CAPÍTULO 7 – ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO EXPERIMENTAL.....** 143

7.1 – OBJETIVO DO TRABALHO EXPERIMENTAL.....	145
7.2 – SELEÇÃO DOS LOCAIS E DOS MATERIAIS A ENSAIAR.....	150
7.2.1 - Critérios gerais.....	150
7.2.2 - Seleção dos constituintes das argamassas preconizadas.....	150
7.2.3 - Rebocos não-tradicionais.....	153
7.2.4 - Composições das argamassas.....	153
7.2.5 - Parâmetros analisados.....	154
7.3 – ENSAIOS REALIZADOS E EQUIPAMENTOS UTILIZADOS.....	154
7.3.1 - Considerações gerais.....	154
7.3.3 - Ensaios laboratoriais nos materiais constituintes das argamassas preconizadas.....	168
7.3.4 - Ensaio das argamassas de reabilitação.....	178
7.4 – MODELO EXPERIMENTAL ADOTADO.....	195
7.5 – OBSERVAÇÃO E APRECIACÃO DS ARGAMASSAS DE REABILITAÇÕES APLICADAS NOS PAINÉIS EXPERIMENTAIS.....	199
7.5.1 - Nos painéis executados em laboratório.....	199
7.5.2 - Nos painéis executados no edifício selecionado.....	200
BIBLIOGRAFIA DO CAPÍTULO 7.....	202

---

<b>CAPÍTULO 8 – RESULTADO DOS ENSAIOS REALIZADOS.....</b>	<b>205</b>
8.1 – ENSAIOS E APRECIACÃO DOS RESULTADOS NO EDIFÍCIO SELECIONADO.....	207
8.1.1 - Considerações prévias.....	207
8.1.2 - Ensaios “in situ” .....	209
8.1.3 - Ensaios laboratoriais.....	210
8.2 – ENSAIOS E APRECIACÃO DOS RESULTADOS NOS MATERIAIS CONSTITUINTES E NAS ARGAMASSAS DE REABILITAÇÃO.....	215
8.2.1 - Ensaios nos materiais constituintes das argamassas preconizadas.	215
8.2.2 - Ensaios sobre provetes das argamassas de reabilitação preconizadas.....	219
8.2.3 - Ensaios nas argamassas de reabilitação aplicadas nos painéis experimentais montados em laboratório.....	229
8.3 – OBSERVAÇÃO E APRECIACÃO DAS ARGAMASSAS APLICADAS NOS PAINÉIS EXPERIMENTAIS.....	235
8.3.1 - Nos painéis executados em laboratório.....	235
8.3.2 - Nos painéis executados no edificio selecionado.....	248
8.4 – APRECIACÃO GERAL DOS RESULTADOS OBTIDOS.....	250
BIBLIOGRAFIA DO CAPÍTULO 8.....	256
<b>CAPÍTULO 9 – CONCLUSÕES.....</b>	<b>259</b>
9.1 – SÍNTESE CRÍTICA DOS RESULTADOS .....	261
9.2 – DESENVOLVIMENTO FUTURO DA INVESTIGAÇÃO NESTE DOMÍNIO.....	263
9.3 – CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	265
<b>ANEXO I – RESULTADOS DOS ENSAIOS REALIZADOS NO EDIFÍCIO         SELECIONADO.....</b>	<b>I.1</b>

**ANEXO II – RESULTADOS DOS ENSAIOS REALIZADOS  
NOS CONSTITUÍNTES E NAS ARGAMASSAS DE  
REABILITAÇÃO..... II.1**

---

**ARGAMASSAS DE REABILITAÇÃO: ESTUDO DA SUA UTILIZAÇÃO E DO SEU  
COMPORTAMENTO PARA O TRATAMENTO E RECUPERAÇÃO DE  
CONSTRUÇÕES AFETADAS POR EFLORESCÊNCIAS**

**ÍNDICE DE QUADROS**

	<b>Pág.</b>
4.1 - Características mais importantes das eflorescências.....	90
5.1 - Anomalias identificadas em 424 fachadas de 377 edificações da cidade de Pelotas.....	109
5.2 - Distribuição das fachadas por localização do edifício no quarteirão.....	110
5.3 - Idade das 424 fachadas de 153 edificações da cidade de Pelotas.....	110
5.4 - Distribuição das lesões nas fachadas analisadas, por elemento construtivo.....	113
5.5 - Distribuição das lesões nas fachadas analisadas por tipo de material de revestimento.....	114
5.6 - Distribuição das lesões nas fachadas analisadas por condição de exposição.....	114
5.7 - Distribuição das lesões nas fachadas analisadas por incidência.....	115
5.8 - Distribuição das lesões nas fachadas analisadas por piso.....	115
5.9 - Distribuição das lesões nas fachadas analisadas por orientação.....	115
7.1 - Ensaio e caracterização do edifício e sobre os materiais constituintes das paredes.....	155
7.2 - Ensaio sobre as argamassas de reabilitação, sobre os respectivos constituintes e sobre os tijolos dos painéis de ensaio.....	155
7.3 - Características do equipamento para ensaio.....	174
7.4 - Características do cimento.....	175
7.5 - Características químico-física da cal aérea concentrada (virgem).....	177
7.6 - Características químico-física da cal aérea hidratada (extinta).....	177
7.7 - Características químico-física da cal hidráulica.....	178

---

8.1 -	Ensaio e caracterização do edifício e sobre os materiais constituintes das paredes – localização da informação.....	207
8.2 -	Ensaio sobre as argamassas de reabilitação, sobre os respectivos constituintes e sobre os tijolos dos painéis experimentais em laboratório – localização da informação.....	208
8.3 -	Dados climáticos.....	210
8.4 -	Traços encontrados nas cinco amostras analisadas.....	211
8.5 -	Características granulométricas da areia.....	217
8.6 -	Resistência à compressão.....	222
8.7 -	Resistência à tração na flexão.....	225
8.8 -	Absorção de água superficial – Método do Cachimbo.....	232

---

**ARGAMASSAS DE REABILITAÇÃO: ESTUDO DA SUA UTILIZAÇÃO E DO SEU  
COMPORTAMENTO PARA O TRATAMENTO E RECUPERAÇÃO DE  
CONSTRUÇÕES AFETADAS POR EFLORESCÊNCIAS**

**ÍNDICE DE FIGURAS**

	<b>Pág.</b>
3.1 - Representação d uma parede homogênea em corte.....	37
5.1 - Parede divisória em pau-a-pique – Edifício antigo.....	105
5.2 e 5.3 - Manchas de sujidade e fendilhações.....	112
5.4 e 5.5 - Umidade ascensional e de infiltrações, descolamento em placas e eflorescência.....	112
5.6 e 5.7 - Encobrimentos das eflorescências por revestimento em madeira e pedra....	117
5.8 e 5.9 - Agravamento das eflorescências pelo uso inadequado de materiais na construção e/ou recuperação.....	117
6.1 - Casarão 2 .....	123
6.2 - Casarão 6 .....	123
6.3 - Casarão 8 .....	124
6.4 - Castelo Simões Lopes Neto .....	124
6.5 - Catedral São Francisco de Paula .....	124
6.6 - Instituto Menores de Pelotas.....	124
6.7 - Anomalias no interior da Catedral .....	126
6.8 - Erros construtivos no exterior da Catedral .....	126
6.9 e 6.10 - Processo de recuperação da Catedral .....	127
6.11 e 6.12 - Fachada principal do edifício selecionado e detalhe da entrada .....	127
6.13 - Detalhe da fundação do edifício .....	129
6.14 - Detalhe da caixa de ventilação .....	129

---

6.15 e 6.16 - Espaço destinado às caves .....	130
6.17 - Paredes em tijolos de barro .....	131
6.18 - Paredes em estuque .....	131
6.19 - Plantas dos pisos do Casarão 6 .....	132
6.20 e 6.21 - Revestimento em escaiola e azulejos (respectivamente) .....	133
6.22 e 6.23 - Apodrecimento interno das esquadrias .....	133
6.24 e 6.25 - Apodrecimento externo das esquadrias .....	134
6.26 e 6.27 - Perda da massa de fixação dos vidros e apodrecimento dos caixilhos .	134
6.28 - Barrotes de fixação do soalho .....	135
6.29 - Muretas e sustentação dos barrotes .....	135
6.30 - Pavimento em soalho .....	135
6.31 - Teto em madeira .....	135
6.32 - Estuque no teto .....	136
6.33 - Ornatos de gesso sobre estuque .....	136
6.34 e 6.35 - Cobertura em telhas portuguesas .....	137
6.36, 6.37 e 6.38 - Infiltrações nos tetos e paredes .....	137
6.39 - Comparação dimensional entre os tijolos usados no edifício estudado e os tijolos atuais .....	138
6.40 e 6.41 - Paredes de um tijolo e meio e de dois tijolos (respectivamente) .....	139
7.1, 7.2 e 7.3 - Construção dos painéis experimentais em laboratório.....	146
7.4, 7.5 e 7.6 - Execução dos revestimentos experimentais no edifício selecionado (exterior).....	146
7.7, 7.8 e 7.9 - Execução dos revestimentos experimentais no edifício selecionado (interior).....	147
7.10 - Termo-higrômetro utilizado “in situ” nas medições de umidade e temperatura..	149
7.11 e 7.12 - Medições das temperaturas e teor de umidade relativa do ar.....	156
7.13 e 7.14 - Extração de amostras dos revestimentos.....	157
7.15 e 7.16 - Extração dos tijolos a serem ensaiados.....	157
7.17 - Amostras de revestimentos para ensaios de absorção de água e reconstituição do traço.....	158
7.18 e 7.19 - Pesagem e destorroamento.....	160
7.20 e 7.21 - Secagem e imersão em ácido clorídrico.....	160

## **XVIII**

7.22 e 7.23 -	Filtragem e secagem do papel filtro.....	161
7.24 e 7.25 -	Análise granulométrica das amostras.....	161
7.26 a 7.41 -	Registro fotográfico do ensaio para identificação de sais solúveis.....	162
7.42 e 7.43 -	Análise visual de manifestações de eflorescências.....	165
7.44 e 7.45 -	Pesagem e contato dos provetes com a água.....	167
7.46 e 7.47 -	Medição dos provetes.....	167
7.48 e 7.49 -	Ensaio colorimétrico.....	168
7.50 e 7.51 -	Ensaio de inchamento.....	171
7.52 -	Ciclo da cal.....	176
7.53, 7.54 e 7.55 -	Pesagem dos provetes secos, absorção por capilaridade e pesagem umedecida.....	179
7.56 e 7.57 -	Secagem e pesagem dos provetes.....	180
7.58 e 7.59 -	Moldagem dos provetes.....	183
7.60, 7.61 e 7.62 -	Condicionamento termo-higrométrico, cura em cal e capeamento dos provetes.....	184
7.63 e 7.64 -	Ensaio de resistência à compressão.....	184
7.65 e 7.66 -	Moldagem e condicionamento dos provetes prismáticos (mesa vibratória e proteção com lâmina de vidro).....	185
7.67, 7.68 e 7.69 -	Ensaio de resistência a tração na flexão e provetes ensaiados.....	185
7.70 -	Dispositivo de flexão.....	186
7.71 -	Pontos de ruptura.....	187
7.72, 7.73 e 7.74 -	Imersão parcial dos provetes em solução aquosa de sulfato de sódio 5% .....	188
7.75, 7.76, 7.77, 7.78 e 7.79 -	Manifestações de eflorescências nos provetes ensaiados.....	189
7.80 -	Equipamento para ensaio de aderência ao suporte.....	190
7.81, 7.82, 7.83 e 7.84 -	Ensaio de aderência ao suporte.....	191
7.85 -	Equipamento para ensaio de permeabilidade à água.....	192
7.86, 7.87 e 7.88 -	Ensaio de permeabilidade à água.....	192
7.89 -	Painel 1: Face Norte possui como revestimento às argamassas padrão 01CHA, 01CHB e 01CV (usuais na região de Pelotas).....	196

---

7.90 - Painei 1: Face Sul; possui como revestimento às argamassas alemãs 02CHA, 02CHB e 02CV.....	196
7.91 - Painei 2: Face Norte possui como revestimento às argamassas 03CHA, 03CHB e 03CV (propostas).....	197
7.92 - Painei 2: Face Sul possui como revestimento às argamassas 04CHA, 04CHB e 04CV (propostas) .....	197
7.93 e 7.94 - Painei 1, faces Norte e Sul respectivamente.....	200
7.95 e 7.96 - Painei 2, faces Norte e Sul respectivamente.....	200
7.97 e 7.98 - Painéis executados no edificio selecionado, respectivamente exterior e interior.....	201
8.1 e 8.2 - Painei 1 – Face Norte.....	236
8.3 e 8.4 - Painei 1 – Face Sul.....	237
8.5 e 8.6 - Painei 2 – Face Norte.....	239
8.7 e 8.8 - Painei 2 – Face Sul.....	241
8.9, 8.10, 8.11 e 8.12 - Painei 1 – Face Norte.....	243
8.13, 8.14, 8.15 e 8.16 - Painei 1 – Face Sul.....	244
8.17, 8.18, 8.19 e 8.20 - Painei 2 – Face Norte.....	245
8.21 - Reboco 03 CHB - Formação eflorescente no local donde foi extraída amostra do reboco.....	246
8.22, 8.23, 8.24 e 8.25 - Painei 2 – Face Sul.....	247
8.26 - Painei externo executado no edificio selecionado.....	249
8.27 - Painei interno executado no edificio selecionado.....	250



---

## ARGAMASSAS DE REABILITAÇÃO: ESTUDO DA UTILIZAÇÃO E DO SEU COMPORTAMENTO PARA O TRATAMENTO E RECUPERAÇÃO DE CONSTRUÇÕES AFETADAS POR EFLORESCÊNCIAS

### AGRADECIMENTOS

O trabalho aqui apresentado foi desenvolvido no âmbito dos convênios entre a Universidade Federal do Rio de Janeiro e o Laboratório Nacional de Engenharia Civil e entre a Universidade Católica de Pelotas e Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Instituições a quem manifesto o meu profundo agradecimento.

Durante toda a realização do trabalho pude contar com colaborações muito valiosas, as quais agradeço muitíssimo. Dentre elas, sem menosprezo a nenhuma das colaborações recebidas, gostaria de expressar meus agradecimentos àquelas que julgo mais importantes:

- Ao meu orientador científico Eng<sup>o</sup> Jose A. Vasconcelos de Paiva, Diretor do Departamento de Edifícios do LNEC, que com paciência, sabedoria, compreensão e amizade sempre me orientou e apoiou.

- Ao Eng<sup>o</sup> Pedro Pontífice de Sousa, ex-Chefe do Núcleo de Comportamento das Construções e atual Chefe do Núcleo de Homologação e Certificação do LNEC, que sempre propiciou as condições necessárias ao desenvolvimento de meu trabalho durante os períodos que passava no LNEC.

- À Eng<sup>a</sup> Maria do Rosário Veiga, investigadora Auxiliar do Núcleo de Comportamento das Construções, que com incansável e prestimosa colaboração contribuiu para este trabalho.

- Ao Laboratório de Resistência dos Materiais (LRM) do Curso de Engenharia Civil da 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

## **XXII**

---

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.

*À Cristina, ao Tiago e ao Mateus.*



## **PARTE I**

### **FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**



**CAPÍTULO 1**  
**INTRODUÇÃO**

**1.1 – Interesse e Objetivos do Trabalho**

**1.2 – Organização do Texto**



## 1.1 - INTERESSE E OBJETIVOS DO TRABALHO

Nos últimos tempos, nota-se 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 tema, sempre que há necessidade de se trabalhar nesta área, acaba-se por recorrer à bibliografia e técnicas estrangeiras.

Este grande interesse na conservação do patrimônio edificado, que, visivelmente, cresce no Brasil e começa a despertar 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 exterior 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 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 à ocorrência de anomalias mais gravosas, que podem prejudicar o bom uso da edificação.

As construções antigas e de valor histórico, que são a preocupação maior desse trabalho, embora construídas com recurso 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 cuidado construtivo apropriado, com uma mão-de-obra mais qualificada, e com o conhecimento e correto uso de materiais e 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. 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, busca-se 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 patologia.

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 a 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 são desenvolvidas propostas de uso de 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 nove capítulos distribuídos conforme se mostra a seguir: A PARTE I contém os quatro primeiros capítulos. No presente capítulo 1, de Introdução, são relatados o interesse e objetivos do trabalho e a

organização do texto. No capítulo 2 estão contempladas as principais regras de qualidade que uma argamassa de revestimento deve apresentar, salientando-se a importância do bom comportamento no conjunto da obra, e os efeitos anômalos que estes rebocos poderão determinar ao edifício, caso apresentem deficiência funcional.

O capítulo 3 trata do estado atual da arte sobre as origens e formas de manifestação da umidade, contendo um relato com base bibliográfica e também o conhecimento adquirido pelo autor sobre os temas nele apresentados. Inicialmente é feita uma análise sobre os efeitos da presença de umidade nas construções onde, juntamente, se relata a patologia, suas origens, os fatores que a influenciam e as principais formas de contato da água com as construções, identificando como podem se manifestar nos edifícios. O capítulo 4 trata especificamente das eflorescências nas construções, descrevendo as origens e as formas de manifestação das formações de eflorescências; donde se busca organizar os métodos de intervenção utilizados para o tratamento desta patologia, conhecendo e caracterizando os produtos comercializados. Com todos os dados técnicos se buscam analisar, criticamente, os campos onde podem ser aplicados e as limitações de uso.

A PARTE II é constituída pelos capítulos 5 e 6. Nesses capítulos estão desenvolvidos estudos pormenorizados e específicos realizados em vários edifícios construídos na cidade de Pelotas, alvo direto do trabalho. Neles são levantadas as soluções tradicionais dos revestimentos de parede, as anomalias encontradas e as manifestações de eflorescências e, com estes conhecimentos específicos locais, é eleito o edifício para o estudo, o qual é objeto de todo o trabalho.

No capítulo 6, o trabalho parte para o estudo e proposta de uma argamassa de reabilitação, específica para o tratamento das paredes afetadas por eflorescências. Nesse capítulo são feitos o levantamento e a caracterização dos materiais constituintes das argamassas, comercializados na região de Pelotas. Com o conhecimento destes materiais e de suas características de qualidade, pureza e de comportamento físico e químico elegem-se aqueles que melhor se adequam às composições pré-determinadas e propõem-se e desenvolvem-se algumas argamassas de reabilitação. As argamassas desenvolvidas são caracterizadas em função da dosagem experimental e têm o seu comportamento avaliado laboratorialmente, com base nas normas vigentes, nacionais e internacionais, que possibilitem um perfeito conhecimento de seu desempenho, campo de aplicação e limitações. Com base nos resultados observados nos ensaios laboratoriais, escolheu-se a composição que melhor

responde às necessidades pretendidas; a argamassa correspondente foi então aplicada no edifício eleito com vista à avaliação do comportamento “in situ”.

Na PARTE III, constituída pelos restantes capítulos da tese, 7, 8 e 9, compila-se informações sobre o trabalho experimental e apresenta-se uma síntese conclusiva e prospectiva do mesmo. Assim, o capítulo 7 trata da organização do trabalho experimental, onde são definidos os objetivos dos ensaios, as metodologias utilizadas, a seleção dos locais e dos materiais a ensaiar além dos tipos de ensaios realizados e equipamentos utilizados.

No capítulo 8 são analisados e apreciados os resultados dos ensaios realizados no edifício selecionado e sobre os respectivos materiais constituintes e as argamassas de reabilitação preconizadas, bem como os comportamentos destas argamassas aplicadas em painéis experimentais. Por fim, este capítulo contempla uma apreciação geral dos resultados obtidos. Já o capítulo 9, último desta terceira parte, integra as conclusões, onde se apresenta uma síntese crítica dos resultados, além de proposta para o futuro da investigação neste domínio e considerações finais sobre o trabalho desenvolvido.

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



## **CAPÍTULO 2**

### **REGRAS DE QUALIDADE PARA ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO DE EDIFÍCIOS**

**2.1 - Considerações gerais**

**2.2 – Regras de qualidade quanto à trabalhabilidade**

**2.3 – Regras de qualidade quanto ao desempenho**

**Bibliografia do Capítulo 2**



## 2.1 - CONSIDERAÇÕES GERAIS

As argamassas de revestimento, também conhecidas como rebocos, são, na maioria das construções, o principal elemento usado como acabamento interior e exterior das paredes.

O revestimento de argamassa é empregado com grande frequência nas fachadas dos edifícios, atingindo nos grandes centros urbanos ou em regiões com alta concentração de renda, um índice de 37% nas construções verticalizadas (edifícios em altura), chegando a um taxa de 80% nas construções em geral. Esses resultados comprovam a importância de um estudo mais detalhado do comportamento dos revestimentos de argamassa de fachada com acabamento decorativo em pintura. Já em regiões com menor poder econômico, como a cidade de Pelotas, pode-se dizer que o uso deste tipo de acabamento é ainda maior, ficando em torno de 90% das edificações, devido aos custos serem menores e por haver uma tradição quanto a esse tipo de revestimento. O uso frequente dessa proteção nas paredes do edifício não impede as consideráveis incidências de falhas e problemas patológicos, pois os revestimentos, na maioria das construções, são vistos apenas como uma forma de acabamento estético e servem, nalgumas construções, como elemento que corrige e/ou oculta imperfeições construtivas dos paramentos, não sendo consideradas as suas importantes funções de proteger o edifício das ações do ambiente. Portanto, essa falta de cuidado e conhecimento acaba por gerar desperdício de materiais, mão-de-obra e tempo, elevando os custos necessários à sua produção [2.1, 2.34, 2.42].

Estudos comprovam que os revestimentos de argamassa de fachada apresentam com grande frequência manifestações patológicas, destacando-se as manchas de umidade com conseqüentes eflorescências, descolamentos e fissuras.

Não se pode considerar que as argamassas de revestimento sirvam apenas para regularizar as superfícies toscas e propiciar um acabamento estético à construção. Estes revestimentos devem determinar outros fatores que propiciem qualidade e durabilidade ao edifício. No caso dos revestimentos exteriores, é de grande importância a estanquidade à água da chuva. Já os revestimentos de argamassa interiores, embora “preservados” do contato direto das intempéries, podem, em situações específicas, em função da finalidade do compartimento, contatar com água ou vapor, vindo a umedecer a superfície e, por absorção, atingir o interior da camada de recobrimento, transferindo-se por capilaridade à camada de suporte. A

possibilidade da ocorrência destas situações determina que haja uma capacidade impermeabilizante do conjunto tosco-revestimento, essencial à durabilidade do edifício.

As características dos revestimentos de paredes influenciam as condições de durabilidade e, em última análise, a salubridade das habitações, dos locais de trabalho e dos edifícios em geral.

O uso freqüente das argamassas como revestimento final das edificações implica uma especial atenção com os materiais utilizados e a tecnologia empregada na aplicação dos rebocos. A construção do edifício é um somatório de partes que compõem a obra. Essas partes, embora muitas vezes executadas de forma independente, devem atuar em conjunto dentro do contexto global da edificação para que a mesma atenda às funções previstas e às necessidades dos usuários.

Em edifícios antigos, muitas vezes, os revestimentos de argamassa são utilizados como “camadas de sacrifício”, que oferecem uma proteção das faces ou das estruturas das paredes às ações das intempéries e/ou do uso e seus respectivos efeitos; podendo ser refeitos periodicamente.

Os revestimentos de argamassa devem apresentar características bastante definidas, quer na facilidade de aplicação (trabalhabilidade), quer no desempenho durante a vida útil, as quais determinam à construção fatores de qualidade e de uso adequado do edifício. Dentre essas características, as mais relevantes são a trabalhabilidade, a resistência à fendilhação, a capacidade de impermeabilização em zonas não fendilhada, a permeabilidade ao vapor de água, a aderência ao suporte, a resistência aos choques, a compatibilidade com o suporte, o conforto visual e a durabilidade.

Deve-se levar em consideração, também, que os revestimentos de argamassa são aplicados nos paramentos exteriores e interiores das paredes dos edifícios; e que, em função destas localizações, requerem algumas regras de qualidade e não outras. Ou seja, que há regras para revestimentos exteriores, regras para revestimentos interiores e outras que têm aplicação quer nuns quer noutros. Cabe salientar, ainda, as regras de qualidade exigidas aos revestimentos de argamassa utilizados em conservação e reabilitação de edifícios antigos; que aplicadas, tanto nas faces externa e interna dos paramentos das paredes dos edifícios, requerem regras adequadas de qualidade, que garantam a sua conservação e/ou reabilitação.

Dentre estas regras de qualidade, ir-se-á explicitar aquelas mais significativas e que atendam, de maneira conjunta, às exigências funcionais, quer dos revestimentos externos quer

dos revestimentos internos dos paramentos das paredes dos edifícios, bem como às características inerentes aos edifícios antigos.

## **2.2 - REGRAS DE QUALIDADE QUANTO À TRABALHABILIDADE**

Essa característica, embora não muito considerada, é uma regra de qualidade funcional muito importante devendo ser considerada nas argamassas de revestimento. A facilidade de aplicação irá, sem dúvida, determinar uma melhor aderência ao suporte e uma maior compacidade do revestimento, permitindo uma maior resistência aos descolamentos, bem como uma estanquidade mais efetiva e uma melhor estética da superfície.

Sabemos que a composição da argamassa implica diretamente na sua trabalhabilidade, a variação na dosagem dos agregados finos e dos ligantes bem como dos teores de água irá determinar argamassas mais áridas ou mais plásticas e isto implicará uma maior ou menor facilidade de aplicação desse revestimento. Porém, esta adequação quantitativa dos componentes, muitas vezes mediante o aumento do teor de finos das areis usadas, do teor de ligantes e da quantidade de água, para a melhoria da trabalhabilidade, pode ter conseqüências graves nas características comportamentais do revestimento.

## **2.3 - REGRAS DE QUALIDADE QUANTO AO DESEMPENHO**

### **a) Resistência à fendilhação**

As fendilhações que se apresentam em muitos revestimentos de argamassa são uma característica negativa muito importante para a qual se deve dedicar especial atenção. As fendilhações nas alvenarias de construções antigas, alvo do estudo, podem ainda ser devidas aos recalques sofridos pela mudança de comportamento do solo determinadas pela construção de novos edifícios no entorno do prédio avaliado, além de carregamentos excessivos, uso inadequado e movimentações térmicas. O uso de cales de baixa qualidade e/ou mal extintas pode provocar o aparecimento de fendilhações devido ao processo de elevação de temperatura e dilatação que ocorre após a confecção do revestimento. Também, a perda excessivamente rápida da água de amassamento determina um processo de cura parcial, o que implica um reboco menos resistente aos esforços de tração internos, propiciando a descontinuidade do

revestimento. Além desses efeitos, intrínsecos às composições da argamassa, existem fatores externos que determinam o surgimento de fendilhões; esses podem advir de uma má aderência ao suporte, das variações térmicas ou higrotérmicas. A falta de capacidade elástica para acompanhar as variações dimensionais do suporte pode também contribuir para o aparecimento dessa anomalia.

Sabe-se que a fendilhação das argamassas de revestimento produz a descontinuidade das mesmas e, conseqüentemente, a quebra da capacidade de estanquidade. Por essas fendas irá penetrar, principalmente, a água da chuva. Também poeiras, fumos, microorganismos, etc., resultantes da poluição do meio ambiente, alojam-se nessas falhas e acabam por penetrar no interior do revestimento, conduzidos pela água da chuva que consegue infiltrar-se devido à inexistência de impermeabilização nesses pontos, atingindo por vezes o suporte. Dessa forma, começam a surgir manchas de umidade e conseqüentes manifestações de eflorescências, devido às reações químicas da água com os sais contidos nos elementos poluentes e/ou nos materiais constituintes da própria construção.

#### **b) Capacidade de impermeabilização em zona não-fendilhada**

Uma das características que se busca nos revestimentos de argamassa é a constituição de uma camada que, além de dar acabamento aos paramentos, forme uma barreira exterior que impeça ou dificulte ao máximo a penetração da água, principalmente, aquela proveniente da ação da chuva e do vento, que atuam em conjunto e facilitam a penetração da água na superfície, atingindo a camada de suporte e penetrando no interior da construção.

Para evitar tal processo, que além da umidade pode causar descolamentos, manchas, eflorescências, etc, busca-se utilizar uma argamassa de revestimento que resista aos efeitos da água da chuva projetada contra os paramentos pela ação do vento, e que também não absorva esta mesma água que escorre pela superfície dos elementos opacos da construção. As argamassas de revestimento, tal como a maioria dos materiais de construção, possuem um grau de porosidade aberta. A água que entra em contato com este revestimento pode penetrar até à camada de suporte, por permeabilidade ou por capilaridade, conforme as dimensões dos poros e a pressão exercida pela água. Para determinar o grau de permeabilidade do material em contato com a água, pode-se simular a ação da água da chuva batida pelo vento por meio

de um ensaio que mede a absorção de água num revestimento, quando sujeito à pressão de uma coluna de água, que simula os efeitos conjugados da chuva e do vento.

A permeabilidade à água também pode ser avaliada através de ensaios que quantificam a massa de água que penetra num provete da argamassa de revestimento a ser utilizada, sujeito à ação de uma pressão constante.

A capilaridade pode ser medida pela massa de água absorvida por capilaridade num dado intervalo de tempo e por unidade de área do provete em contato com a água dividida pela diferença entre as raízes quadradas dos dois extremos do intervalo de tempo considerado, conhecido como coeficiente de capilaridade:  $C = (M_1 - M_0) / [A \cdot (\sqrt{t_1} - \sqrt{t_0})]$

O conhecimento e a quantificação da água absorvida quer por permeabilidade quer por capilaridade, não é suficiente para se poder avaliar o revestimento analisado. Também é necessário conhecer e quantificar como esta argamassa elimina a água de seu interior. Sabemos que a eliminação da água se dá pela evaporação e que a rapidez e a quantidade de água evaporada estão diretamente ligadas à espessura do provete. O ideal é trabalhar com uma argamassa de revestimento que apresente um baixo coeficiente de capilaridade e um elevado grau de permeabilidade ao vapor de água. Porém, estes fatores em argamassas tradicionais são, em regra, dependentes um do outro, ou seja: quanto menor a permeabilidade à água, menor a capacidade de perda desta água por evaporação, indicando que a água que penetra no revestimento, por permeabilidade ou por capilaridade, encontrará maior ou menor facilidade para ser eliminada pela evaporação, em função do maior ou menor grau de facilidade que obteve para entrar na argamassa de revestimento. Uma argamassa com reduzida permeabilidade à água apresentará, em regra, reduzida permeabilidade ao vapor de água, retendo em seu interior, por um tempo maior, a umidade, o que poderá vir a causar danos internos e superficiais ao revestimento, com o aparecimento de manchas, fungos, eflorescências e descolamentos.

### **c) Permeabilidade ao vapor de água**

A quase totalidade do processo construtivo utiliza água como um componente da construção. Esta água está presente, principalmente, nas argamassas e nos concretos. Também a água proveniente da chuva e da umidade do ar é diretamente incorporada na construção em suas várias etapas; além da água que pode atingir a edificação pelo contato desta com o solo,

por meio de fundações ineficientemente estanques, pelas infiltrações da cobertura, pelas fendilhações, por canalizações rompidas ou pela má vedação de esquadrias. Também existe a água proveniente das condensações superficiais, que são determinadas pelas diferentes trocas térmicas, principalmente no período de inverno, no qual os compartimentos do edifício são aquecidos; buscando assim, atender ao conforto térmico dos utentes. O ar aquecido ao encontrar as faces interiores das paredes, geralmente mais frias, pois a maioria das edificações não possui isolamento térmico eficiente ou nenhum isolamento térmico, acaba por resfriar abruptamente, condensando nessas superfícies. Existem, também, algumas propostas arquitetônicas que apresentam aberturas com dimensões e/ou posições inadequadas, o que pode determinar prejuízos à circulação de ar nos ambientes, fazendo com que haja pontos de condensação em zonas não ventiladas ou de ventilação insuficiente. Caso o revestimento apresente muita porosidade e/ou microfendilhações, o vapor de água pode penetrar nos paramentos podendo vir a condensar no interior dos elementos de construção. Além desta possível água de condensação, pode ocorrer umidade proveniente de outras fontes, contribuindo assim para o acúmulo de água na alvenaria. A constituição das argamassas, a granulometria e as características dos agregados finos e o tipo de aglomerante, tanto o cimento como as cales, podem contribuir para uma maior ou menor absorção de umidade, assim como para um maior ou menor poder em eliminar a água por evaporação.

Estas diferentes formas de manifestação de umidade que atingem os panos verticais da construção devem ser eliminadas de seu interior por meio da evaporação, com a maior brevidade possível, pois o prolongamento do tempo de permanência dentro da estrutura da alvenaria poderá acarretar em efeitos, desde os mais simples, como manchas de umidade, visualmente desagradáveis, até processos de eflorescências e criptoflorescências, que acabam por erodir os revestimentos e, muitas vezes, o próprio corpo da alvenaria. Portanto, a capacidade do revestimento em eliminar, pela permeabilidade ao vapor de água, a umidade contida no interior do conjunto suporte/revestimento é de essencial importância ao bom uso da construção [2.15].

#### **d) Aderência ao suporte**

A durabilidade dos revestimentos de argamassa para as alvenarias, tanto de uso exterior como interior, está diretamente ligada a uma boa aderência ao suporte. Esta aderência,

e também a coesão interna do revestimento, são fundamentais para que se atinja uma boa impermeabilização das paredes, contribuindo para, além da durabilidade, uma distribuição mais homogênea das tensões geradas pelos movimentos diferenciais do conjunto suporte/revestimento. A aderência ao suporte é medida por meio de ensaio de arrancamento do revestimento. Este ensaio acaba por separar a camada de revestimento da base, indicando assim sua resistência ao descolamento e a conseqüente capacidade adesiva. Em suporte com superfícies muito lisas e baixa permeabilidade à água, o revestimento de argamassa apresenta, geralmente, menor aderência, pois não há a penetração da água de amassamento, rica em aglomerante, o qual reage por cristalização, formando a ancoragem à superfície. Por outro lado, em superfícies muito porosas, acontece um efeito oposto: a água de amassamento é absorvida em excesso, levando com ela as partículas finas do cimento e criando uma aderência muito eficaz; mas torna o revestimento enfraquecido, pois, com a perda da água que penetrou na base, não desenvolveu plenamente a hidratação de seus componentes, o que resulta num revestimento que não tem poder de absorver as tensões geradas pelos movimentos internos e pelas dilatações térmicas, e que também apresenta uma elevada porosidade e conseqüente permeabilidade.

Deve-se, portanto, buscar uma superfície de contato com média absorção, onde a água que irá penetrar na base, juntamente com o aglomerante, é suficiente para criar a aderência desejada e não produzirá a baixa hidratação do revestimento. No caso dos suportes com superfícies muito lisas e de baixa absorção, pode-se utilizar uma ancoragem artificial, por meio da apicoagem da mesma ou pelo uso de chapisco ou salpico, que criam rugosidade e facilitam a adesão do revestimento. Quando se tratar de argamassas especiais, podem-se usar adjuvantes que melhorem a aderência pelo aumento da retenção da água, produzindo uma hidratação mais homogênea. Porém, nesse caso, a argamassa torna-se mais plástica, melhorando a capacidade impermeabilizante e reduzindo a perda da água absorvida, por permeabilidade ou capilaridade, pois com o acréscimo da capacidade impermeabilizante há uma correspondente diminuição na capacidade de eliminação da umidade pelo processo da permeabilidade ao vapor de água. Ainda podem ser utilizados adjuvantes hidrófugos e incorporadores de ar com o objetivo de melhorar a capilaridade, a elasticidade e a resistência aos sais solúveis. Porém, o uso desses produtos acaba por diminuir o poder de aderência ao suporte e requer o uso de uma camada de salpico ou chapisco para criar a superfície de ancoragem desejada.

Uma superfície de suporte com baixa ou mesmo sem aderência, determinará, com certeza, em função da retração do reboco e da contração do suporte e pelas tensões causadas pelas variações térmicas, um descolamento do revestimento, além das fissuras que poderão surgir, aumentando assim o processo de deterioração desses revestimentos. Sabe-se que no estado do Rio Grande do Sul o processo patológico do descolamento dos revestimentos está, juntamente com outros fatores menos incidentes, dentro de um percentual de 18% das deteriorações das construções [2.15, 2.41].

#### **e) Resistência aos choques**

Nos casos de alvenaria tradicional, onde são utilizados como componentes construtivos tijolos de barro cozido, blocos de cimento ou de pedra, que naturalmente já apresentam uma boa resistência mecânica a esforços localizados, os revestimentos de argamassa, em composições e espessuras normais, acabam por apresentar, também, uma boa resistência aos choques. Quando se trabalha com alvenarias que utilizam outros elementos construtivos, como blocos de concretos leves, etc., ou que recebam revestimentos de reduzida espessura além de composições especiais, poderá ser importante o conhecimento da resistência desse revestimento ao choque. Para tal, busca-se a determinação da resistência ao choque por meio de ensaios específicos, como o punçoamento dinâmico e a devida observação da zona deteriorada no reboco e ensaios de choque de corpo duro com determinadas energias, os quais fornecem os dados desejados sobre a resistência aos choques do revestimento analisado.

#### **f) Compatibilidade com o suporte**

A argamassa de revestimento deve ter características que a tornem, juntamente com o suporte, um conjunto capaz de atender às necessidades da construção. Para tal, a argamassa deve apresentar compatibilidades geométricas, física, mecânica e química com o suporte onde será aplicada. Quanto à compatibilidade geométrica a argamassa deve poder ser aplicada em espessura suficiente para corrigir ou dissimular as irregularidades aceitáveis da alvenaria de suporte, buscando, além do aspecto estético, a proteção da mesma contra os efeitos das intempéries. Na compatibilidade física a argamassa deve apresentar características de boa trabalhabilidade, permitindo facilidade de aplicação, coesão e aderência ao suporte, ter

coeficiente de condutibilidade térmica equivalente ao do material do suporte, permitindo assim, que as trocas de umidade entre a alvenaria e o ar exterior se procedam normalmente; para que esta troca de umidade ocorra é necessário que haja uma suficiente permeabilidade ao vapor de água. As características entre o suporte e o reboco devem ser bastante equilibradas. Principalmente quando o suporte apresentar baixa resistência mecânica, não deve o revestimento ser muito forte nem muito rígido, para não deteriorar o suporte pela transmissão de tensões elevadas; esta boa adaptação ao suporte determina a compatibilidade mecânica, necessária à argamassa de revestimento. Além das compatibilidades anteriores, o revestimento deve ter uma boa compatibilidade química com o suporte também no que se refere aos ataques dos sais solúveis, eventualmente contidos nos próprios materiais usados na construção do suporte ou por sais, que, transportados por capilaridade para o interior das alvenarias, determinem reações químicas prejudiciais, que acabam contribuindo para a degradação das alvenarias [2.15].

#### **g) Conforto visual**

A característica estética de uma construção, principalmente nos dias atuais, é cada vez mais valorizada e o aspecto exterior dos edifícios deve ser pensado de forma a possibilitar este conforto visual, o que, certamente, valoriza, tanto as construções novas como as já existentes, além de evitarem a poluição urbana, determinada por construções que apresentam aspecto negativo ao meio urbano no qual estão inseridas.

No caso de edifícios que possuam um acabamento final exterior em argamassa de revestimento, este cuidado deve ser mais rigoroso, devido à possibilidade dos possíveis efeitos degenerativos relacionados nos itens anteriores. O revestimento é algo de grande valor estético e funcional. A facilidade de execução e, principalmente, de manutenção deve ser buscada constantemente; assim como a planeza e a regularização das superfícies, de forma localizada e geral, com arestas plenamente verticais e retas, e o envelhecimento uniforme das fachadas, onde as manchas localizadas e as diferenciações de cores sejam inexistentes ou mínimas, devem merecer a mesma atenção. Devem ser conhecidas e determinadas, ainda na fase do projeto, as possíveis incompatibilidades mecânicas e químicas que poderão advir do uso incorreto dos materiais ou da própria construção. As fachadas deverão ter o mínimo de

projeções horizontais e saliências, para evitar o acúmulo de sujidades como poeiras, umidade e materiais orgânicos, que irão provocar nódoas e possíveis erosões das superfícies.

Os materiais utilizados deverão ser de fácil manutenção e, principalmente, de fácil reposição, evitando com isso diferenças estéticas advindas de produtos de qualidades e comportamentos diferentes.

#### **h) Durabilidade**

A durabilidade de um revestimento de argamassa usado como acabamento de uma construção é uma exigência final que se busca atingir. Nas construções atuais, e cada vez mais, esta é uma exigência requerida, em função do alto custo da construção e das intervenções para recuperar um edifício deteriorado. O reboco usado, quando aplicado no exterior do edifício, deve apresentar um bom comportamento de resistência às agressões dos agentes climáticos (chuva, vento, frio, calor e luz), além de resistir aos produtos químicos lançados na atmosfera, que acabam por contatar, com mais intensidade, a parte externa das construções. Já quando constituem o revestimento interior das paredes do edifício, deve resistir às ações de degradação devidas à utilização normal dos compartimentos que a construção. Portanto a durabilidade de um reboco está diretamente ligada aos fatores de qualidade descritos anteriormente, ou seja, resistência à fendilhação e ao ataque de sais solúveis, boas capacidade de impermeabilização e aderência ao suporte, adequada permeabilidade ao vapor de água, compatibilidade com o suporte e resistência as tensões geradas pelo conjunto da alvenaria.

**BIBLIOGRAFIA DO CAPÍTULO 2**

- [2.1] - 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, CPGEC – LEME, 1995.
- [2.2] - ARNOLD, A., ZEHNDER, K. – *Decay of stony materials by salts on humid atmosphere*. Zurich, Switzerland: Institut für Denkmalpflege der Eidgenössischen Technischen Hochschule, s/d.
- [2.3] - ARNOLD, A.- *Behaviour of some soluble salts in stone deterioration*. Zurich, Switzerland: Institute für Denkmalpflege der Eidgenössischen Technischen Hochschule, s/d.
- [2.4] - ASSOCIATION FRANÇAISE DE NORMALISATION – *Produits de carrières. Pierres calcaires. Mésure de l'absorption d'eau par capillarité*. Paris: AFNOR, mai 1980.
- [2.5] - ASSOCIATION POUR L'ÉTUDE DE LA PATHOLOGIE ET L'ENTRETIEN DU BÂTIMENT (APEBAT) – *Les condensations superficielles intérieures sur les murs de façade*. Paris: Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (CSTB), 1980.
- [2.6] - BERRY, Janet; PRICE, Clifford A.- *The movements of salts in consolidated stone*. London: Institute of Archaeology University College London, 1994.
- [2.7] - BUILDING RESEARCH STATION (BRS) – *The control of lichens, moulds and similar growths on building materials*. Garston: BRS, August 1963. Digest 47, first series (revised).
- [2.8] - CENTRE D'ASSISTANCE TECHNIQUE ET DE DOCUMENTATION DU BÂTIMENT ET DES TRAVAUX PUBLICS (CATED) – *Le salpêtre*. Paris: CATED, novembre 1966. N.T. 80.
- [2.9] - CENTRE D'ASSISTANCE TECHNIQUE ET DE DOCUMENTATION DU BÂTIMENT ET DES TRAVAUX PUBLICS (CATED) – *Les efflorescences*. Paris: CATED, juin 1967. N.T. 93.
- [2.10] - CENTRE D'ASSISTANCE TECHNIQUE ET DE DOCUMENTATION DU BÂTIMENT ET DES TRAVAUX PUBLICS (CATED) – *Migrations d'eau* –

---

*notions de base*. Paris: CATED, février 1965. N.T. 70.

- [2.11] - 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.
- [2.12] - 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.
- [2.13] - CENTRE D'ASSISTANCE TECHNIQUE ET DE DOCUMENTATION DU BÂTIMENT ET DES TRAVAUX PUBLICS (CATED) – *Migrations d'eau – porosité et perméabilité dans le bâtiment*. Paris: CATED, janvier 1967. N.T. 84.
- [2.14] - 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
- [2.15] EUROPEAN ORGANISATION FO TECHNICAL APPROVALS (EOTA) – *External thermal insulation – Composite systems with rendering*. Brussels: EOTA, March 2000. ETAG 004.
- [2.16] - FREITAS, Vasco Peixoto de – *Influence of the vapour permeability of paintings and the hygroscopicity of the internal coating on the hygrothermal behaviour of walls*. Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP), 1998.
- [2.17] - FREITAS, Vasco Peixoto de – *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.
- [2.18] - HENRIQUES, F. A. – *A conservação do património histórico edificado*. Lisboa: LNEC, 1991. Memória 775.
- [2.19] - HENRIQUES, F. A. – *Humidade em paredes*. Lisboa: LNEC, 1994. Coleção Edifícios CED 1.
- [2.20] - HENRIQUES, M.A. Fernando – *The effects of soluble salts on a vaulted ceiling*. 7º Congresso Internacional sobre Deterioração e Conservação da Pedra, Lisboa, LNEC, Junho de 1992
- [2.21] - INSTITUT TECHNIQUE DU BÂTIMENT ET DES TRAVAUX PUBLICS-

- SERVICE DE RENSEIGNEMENTS TECHNIQUES (ITBTP) – *Efflorescences de briques*. Paris: ITBTP, mai 1959. N.T. 41.
- [2.22] - INSTITUTO EDUARDO TORROJA – *Deterioro de morteros de cemento producido por la “deposición” seca y húmeda de contaminantes atmosféricos*. MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN – Vol. 48, Nº 250, Madrid, Abril/Mayo/Junio 1998.
- [2.23] - INTERNATIONAL CONGRESS OF ARCHITECTS AND TECHNICIANS OF HISTORIC MONUMENTS (ICATHM) – *Decisions and resolutions*. Veneza: ICATHM, 1964. “Carta de Veneza”.
- [2.24] - LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL (LNEC) .- *Manchas em tijolos de revestimento de paredes*. LNEC: Lisboa, Novembro de 1958. C.I.T. 21.
- [2.25] - LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL (LNEC) - *Manchas de vegetação parasitária em paramentos rebocados de alvenaria*. LNEC: Lisboa, Setembro de 1954. C.I.T. 18
- [2.26] - LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL (LNEC) – *Eflorescências nas paredes do edifício destinado às instalações do Ministério das Finanças*. I Serviço, Secção de Processos de Construção (Relatório Preliminar). Lisboa: LNEC, s/d.
- [2.27] - LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL - *Curso de especialização sobre revestimentos de paredes – 1º Módulo*. Lisboa: LNEC, 1990.
- [2.28] - LUCAS, José A. Carvalho – *Classificação e descrição geral de revestimentos para paredes de alvenaria ou de betão*. Lisboa: LNEC, 1999. ITE 24.
- [2.29] - LUCAS, José A. Carvalho – *Exigências funcionais de revestimentos de paredes*. Lisboa: LNEC, 1990. ITE 25.
- [2.30] - MACIEL, Luciana Leone; MELHADO, Silvio Burratino – *Inserção do projeto dos revestimentos de argamassa de fachada no processo de produção do edifício*. Boletim Técnico da Escola Politécnica de São Paulo, Universidade de São Paulo, Escola Politécnica. São Paulo, 1997, BT/PCC/189.
- [2.31] - GARCIA MORALES M.S; PALOMO A. – *Moisture in heritage buildings. Part I: A new work methodology for diagnosis*. Architectural Science Review, Volume 41, June 1998, p. 51-56.
- [2.32] - GARCIA MORALES M.S; PALOMO A – *Moisture in heritage buildings. Part II: Application of the diagnostic method to the church of “San Salvador”*. Architectural Science Review, Volume 41, June 1998, p. 57-66.

- [2.33] - OLIVEIRA, Carlos R.; FREITAS, Vasco Peixoto de - *Importância da permeabilidade ao vapor de água das pinturas exteriores*. Encontro Materiais de Construção, Lisboa, ISMAG, 1997.
- [2.34] - OLIVEIRA, Mário Mendonça de - *Tecnologia da conservação e da restauração*. Salvador, Mestrado em Arquitetura e Urbanismo da UFBA, PNUD, UNESCO, 1995.
- [2.35] - MORA, Paolo and Laura; PHILIPPOT, Paul - *Conservation of wall paintings*. London, 1984.
- [2.36] - PAIVA, J. V. - *Patologia da Construção*, in “1º Encontro sobre conservação e reabilitação de edifícios de habitação”, Lisboa: LNEC, 1985. Documento introdutório do Tema 3.
- [2.37] - 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.
- [2.38] - SILVA, J. Gomes - *Acidentes patológicos em paredes de edifícios: Origens, formas de manifestações, medidas preventivas, reparações, exemplos de acidentes*. Lisboa: LNEC, 1983. CPP 510.
- [2.39] - TWOREK, Daniel - *The destructive effect of inorganic salts on wall paintings*. Poland, s/d.
- [2.40] - UEMOTO, K.L. - *Patologia: danos causados por eflorescências*, São Paulo: PINI, 1984. Tecnologia de Edificações, IPT/Ded20.
- [2.41] - VEIGA, Maria do Rosário - *Comportamento de argamassas de revestimento de paredes - Contribuição para o estudo da sua resistência à fendilhação*. Lisboa: LNEC, 1998. Tese para obtenção do grau de Doutor em Engenharia Civil pela Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- [2.42] - VERÇOZA, E. J. - *Patologia das edificações*. Porto Alegre: Sagra, 1991.
- [2.43] - WEBER, Joannes; TINZI, Christoph - *Soluble salts in historic buildings and their decay mechanisms*. Rome: ICCROM, ASC, 1998.
- [2.44] - ZEHNDER, K.; ARNOLD, A. - *Stone damage due to formate salts*. Zurich, Switzerland: Institute für Denkmalpflege der Eidgenössischen Technischen Hochschule, 1983.

## **CAPÍTULO 3**

### **UMIDADE NAS CONSTRUÇÕES**

**3.1 – Generalidades**

**3.2 – Origens e formas de manifestação da umidade**

**3.3 – Métodos e equipamentos para o diagnóstico da umidade**

**3.4 – Métodos de tratamento**

**Bibliografia do Capítulo 3**



### 3.1 – GENERALIDADES

A umidade é um dos graves problemas que podem afetar as construções. Portanto, é de essencial importância conhecermos 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, 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 busca-se conhecer e tratar com maior conhecimento técnico a patologia advinda da umidade, garantindo assim, uma boa habitabilidade dos edifícios. As manifestações de umidade, embora muitas vezes sejam desconsideradas as suas importâncias, determinam conseqüências bastante gravosas, principalmente nas áreas social, cultural e econômica. A degradação causada pela presença de 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.

### **3.2 – ORIGENS E FORMAS DE MANIFESTAÇÃO DA UMIDADE**

A água que atinge o edifício pode ter diversas origens, podendo penetrar nas paredes por ascensão capilar e transferir a água contida no solo à edificação. Pode também ser oriunda das chuvas que atingem o exterior do prédio, das condensações do vapor de água existente no interior dos compartimentos e da água utilizada na própria construção. As paredes são diversamente afetadas pelas várias formas de manifestação de umidade, consoante as suas localização e constituição. A cada tipo de causas corresponderão, geralmente, conjuntos bem definidos de sintomas que poderão ser percebidos por uma simples observação visual, por ensaios ou por análise “in situ”.

As formas de contato da umidade com os elementos construtivos, principalmente as alvenarias, podem ocorrer de maneiras bastante distintas. Conhecer estas formas de manifestação facilita a análise e o diagnóstico. Portanto, para facilitar o entendimento, faz-se, a seguir, uma exposição individualizada, a qual procura seguir a ordem do processo construtivo, desde a origem da água livre que pode estar presente nas alvenarias dos edifícios e suas formas mais frequentes de manifestação:

#### **a) Água do solo**

O solo onde é implantada a construção contém água em quantidades variáveis; esta água, havendo deficiências construtivas ou uso inadequado da edificação pode contatar diretamente as alvenarias e, conseqüentemente, pela ação capilar, subir vários decímetros acima do nível do terreno, determinando umidade nos paramentos das edificações, a qual pode ser acompanhada de anomalias de maior ou menor gravidade.

A umidade por ascensão capilar pode ser permanente quando o nível do lençol freático é muito alto e não depende diretamente da chuva para seu reabastecimento; podendo, também,

ser variável, onde o nível da umidade oscila em função das concentrações de chuva, normalmente mais intensas no período de inverno do que no período do verão.

No caso de paredes nos pavimentos térreos das construções, a umidificação do interior dessas e de seus paramentos, devido à água contida no solo, pode atingir alturas variáveis, dependentes de vários fatores. Citem-se, entre outros, a porosidade e a seção dos vasos capilares existentes nos materiais utilizados na construção dessas paredes, a força ascensional da água contida no solo, devido a pressão imposta pela edificação, que altera a estabilidade do terreno induzindo à permanente busca do equilíbrio, o que faz empurrar a água contra as fundações e base das paredes, além das características de permeabilidade à água ao vapor de água dos revestimentos utilizados. Quando não se possui qualquer tipo de barreira que permita a estanquidade ou, se existente, apresenta falhas na sua continuidade, as migrações de água poderão ocorrer tanto na forma horizontal como na vertical e dependerão de fatores que reunidos propiciarão estas migrações [3.15]. Entre estes fatores devem-se observar com atenção as seguintes situações presentes na construção:

- a existência de zonas das paredes em contato com a água do solo;
- a existência de materiais com elevada capilaridade nas paredes;
- a inexistência ou o deficiente posicionamento de barreiras estanques nas paredes.

Em média, a altura máxima de umidade do terreno verificada nas paredes não ultrapassa um metro e meio acima do solo; esta altura é mais elevada nos locais onde a evaporação da água é dificultada, além de depender também diretamente das dimensões dos poros dos materiais, ou seja, quanto menor o diâmetro dos poros, maior a altura teórica que a água poderá atingir.

Pode-se considerar, de forma geral, que o nível da água numa parede está diretamente relacionado com a capacidade de evaporação da água desta, ou seja, quanto mais francas as condições de evaporação, menor a altura atingida pela água absorvida do solo por capilaridade. Portanto, se os revestimentos utilizados apresentam características mais impermeáveis, que dificultam a evaporação, a altura alcançada pela água tenderá a aumentar, até que ocorra novamente um ponto de equilíbrio [3.15].

Além do grau de impermeabilidade dos revestimentos, também a espessura das paredes influencia diretamente no nível de umidificação destas. Ou seja, duas paredes de espessuras

diferentes sujeitas à mesma quantidade de água contida no terreno e às mesmas condições climáticas e ambientais, e executadas com os mesmos materiais e igual técnica construtiva acabam por apresentar diferentes alturas registradas nas manchas de umidade; e será a de maior espessura que apresentará uma maior ascensão capilar. Estas diferentes elevações se devem aos diferentes volumes internos dos materiais absorventes, visto que, externamente, a área superficial é a mesma nas duas paredes comparadas. Enquanto que na parede de menor espessura a água é absorvida por uma menor zona volumétrica, o que facilita a transferência desta para as faces exteriores da parede, naquela de maior espessura, existe uma zona volumetricamente maior, donde a dissipação da umidade será, dentro das mesmas condições, obviamente mais lenta, determinando, portanto, um ponto de equilíbrio mais tardio e, conseqüentemente, elevando a altura capilar da água retida e tornando a mancha da umidade, manifestada na face externa dos paramentos, com maior altura do que aquela registrada na parede menos espessa.

Sabe-se porém, que as condições de ocorrência, tanto da absorção como da evaporação, são bastante variáveis, não ocorrendo dentro de um modelo ideal, devido, principalmente, às características de cada revestimento, às condições de temperatura e ventilação e aos materiais utilizados na construção da alvenaria, bem como à espessura destas. Portanto, a evaporação da umidade absorvida acaba por exigir uma superfície muito maior do que aquela responsável pela absorção, ou seja: em pilares esta superfície de eliminação da umidade é 2 ou 3 vezes maior do que a superfície total de absorção; em paredes exteriores, necessita de 3 a 8 vezes aquela superfície e, em zonas de cunhal, esta área atinge valor 4 a 10 vezes maior que a zona de absorção [3.15].

O fenômeno da umidificação das paredes, por influência da água do solo, pode determinar ao longo de um período a elevação da altura de ascensão capilar. Este acréscimo ocorre devido aos sucessivos ciclos de umidade e secagem donde, a cada ciclo, o volume do material umedecido não consegue eliminar a totalidade da água absorvida e, quando de novo umedecimento, acaba por incorporar aquela parte da umidade retida, acrescentando assim a zona umidificada.

Os sucessivos ciclos de umidade e secagem acabam por gerar contínuas cristalizações dos sais e a conseqüente colmatção dos poros dos materiais, dificultando ou até mesmo impedindo a permeabilidade destas partes das paredes ao vapor de água, e originando assim uma maior retenção da umidade e um acréscimo do nível capilar. A presença destas formações

salinas nas superfícies exteriores das paredes acaba por gerar, também, o fenômeno da higroscopicidade, onde os sais absorvem a umidade do ar e continuam a atuar negativamente nas paredes. Em muitos casos, mesmo que a fonte de umidade do solo tenha sido eliminada, evitando assim a ascensão capilar, verificamos a permanência de reações deteriorativas (eflorescência e/ou criptoflorescência) determinadas pela presença superficial de sais higroscópicos.

A umidificação de uma parede por água proveniente do terreno pode ocorrer de duas formas distintas, ou seja, por águas freáticas ou por águas pluviais. No primeiro caso, a permanência da zona umedecida é praticamente constante, apresentando pequenas variações no seu posicionamento e nas dimensões da zona afetada; neste caso, existe uma mancha de umidade permanente, com oscilações regidas pelas alterações do nível freático, as quais ocorrem de forma sazonal. Esta manifestação apresenta-se com maior intensidade nas paredes interiores dos edifícios visto que, nas exteriores, devido a uma ventilação mais eficiente e à incidência solar, o nível da umidade torna-se menos intenso. Já na umidade devido à ação da água pluvial infiltrada no terreno, mais intensa nos períodos de inverno, verifica-se uma oscilação bastante significativa nas áreas umedecidas e estas são mais intensas nas paredes exteriores do que nas interiores, por estarem aquelas em contato direto com a fonte alimentadora. Esta característica intermitente (umedecimento/secagem) acaba por provocar a cristalização dos sais e o conseqüente aumento de seu volume, o que pode levar a erodir os revestimentos das paredes. A observação desta reação patológica e da sua morfologia pode contribuir como subsídio para a análise e identificação do tipo de umidade que, proveniente do solo, afeta as paredes do edifício: se de origem freática ou pluvial [3.15].

Portanto, para a ocorrência de umidade em paredes de edifícios, oriunda do terreno onde está implantada a construção, é necessário que aquelas estejam em contato com a água do solo, podendo esse contato ocorrer, fundamentalmente, nas seguintes situações: em fundações das paredes executadas abaixo do nível do lençol freático, fazendo com que a água contida no solo contate diretamente as faces das paredes; em fundações de paredes que, embora executadas acima do nível do lençol freático, estão em zonas de solos de elevada capilaridade, os quais permitem a ascensão da água existente a uma cota inferior e a transferência desta água à construção; e em terrenos com baixa permeabilidade e/ou com pendentes direcionadas à construção, sem sistema de drenagem, permitindo que as águas das

chuvas ou de outras fontes se acumulem junto ao edifício e acabem por contatar as suas paredes.

A manifestação deste tipo de anomalia, causada pela presença de umidade do terreno, é caracterizada pelo aparecimento de manchas de umidade nas paredes em zonas junto ao solo e, em muitos casos, acrescidas de áreas erodidas pelas formações eflorescentes e/ou criptoflorescentes, além de manchas de bolor e vegetações parasitárias, estas correntes em áreas de pouca ventilação.

Verifica-se que a presença desta umidade nas paredes afetadas é decrescente, conforme se afasta da base da parede, ou seja; o teor de água é menor na parte superior da mancha, maior na base e é relativamente constante em toda a espessura da parede.

Em termos gerais este tipo de umidade divide-se em duas situações bem distintas, aquelas que afetam as paredes enterradas e aquelas que afetam as paredes não-enterradas. Na primeira, as áreas umedecidas ocupam toda a altura das paredes, quando estas forem totalmente enterradas ou altura equivalente ao nível do terreno, em se tratando de paredes parcialmente enterradas. Já no caso de paredes não-enterradas, as zonas das umidificações dão-se junto ao solo, variando a altura e apresentando alterações consideráveis no acréscimo da mancha de umidade, em zonas específicas da construção, onde exista a influência direta de águas superficiais.

## **b) Água de construção**

Outra fonte de umidade que pode contribuir para a ocorrência de anomalias num edifício é a água que entra no conjunto durante a sua construção. A imprópria proteção da edificação durante o processo construtivo pode contribuir significativamente para problemas futuros. É neste ponto, quando as partes interiores estão expostas e as juntas ainda estão abertas, que a construção fica altamente vulnerável à entrada de consideráveis quantidades de umidade.

A umidade de construção afeta todas as paredes de um edifício, exteriores e interiores, cuja execução tenha exigido o recurso à água e corresponde à quase totalidade das soluções construtivas comumente desenvolvidas. Na prática, quase todas as etapas de uma construção necessitam de água para a sua execução, como por exemplo a execução das alvenarias de

tijolo, as estruturas em concreto e os revestimentos de argamassa. Desta forma, a quantidade de água utilizada na construção de um edifício é, de certa forma, bastante significativa embora, na maioria das vezes, não seja considerada (isto em se tratando apenas da água utilizada e necessária à obra propriamente dita). Sabe-se, porém, que as partes toscas da construção, principalmente as alvenarias de tijolo, permanecerão, por um certo período, expostas à ação das intempéries, recebendo diretamente os efeitos da chuva, o que causará um aumento do volume de água que a construção conterà em seu final.

Pode-se no entanto afirmar, com exceção de casos esporádicos, que, no final de um ano, estas águas estarão praticamente eliminadas, em sua quantidade mais significativa, sem com isto terem agregado ao edifício algum fenômeno patológico. Porém, uma pequena parcela de água permanece incorporada na construção e poderá levar vários anos para ser totalmente eliminada, dependendo sua eliminação diretamente das características do edifício (exposição solar, ventilação, acabamento, uso, etc.).

A evaporação da água de construção dar-se-á basicamente em três etapas bastante diferenciadas. A primeira etapa ocorre de uma forma bastante rápida sendo eliminada a água contida na superfície dos materiais. Na segunda fase da evaporação, as partes da construção perdem, de uma forma mais lenta, a água contida no interior dos materiais e que ocupa os poros de maiores dimensões. Por fim, podendo decorrer num período de vários anos, será eliminada a água que ocupa os menores poros dos materiais constituintes [3.9].

Como mencionado anteriormente, a umidade de construção afeta todas as paredes interiores e exteriores dos edifícios e isto poderá originar a ocorrência de anomalias localizadas ou disseminadas, quer por evaporação da água existente, quer por saturação dos materiais utilizados. No caso de evaporação poderão ocorrer expansões ou descolamentos de alguns materiais. Quando houver um excesso de água no interior das paredes, poderão ocorrer manchas de umidade, manifestadas no exterior dos paramentos. Este excesso de água afeta a resistência térmica das paredes, pois os materiais constituintes estão saturados ou com um elevado teor de água, fazendo com que haja condensações superficiais nos paramentos.

Embora, de uma forma geral, estas anomalias ocorram nas construções, este tipo de umidade irá desaparecer num período relativamente curto de tempo; tal dependerá diretamente do acabamento final empregado na construção e da forma de utilização do edifício associado aos fatores climáticos da região em que se encontra.

Para o diagnóstico da umidade de construção é necessário o conhecimento do período decorrido desde que a obra ou a reparação foi realizada, sabendo-se que esse período não deverá exceder dois anos, pois este é o prazo médio que este tipo de umidade levará para desaparecer. No caso da identificação de umidade após este período, existe a possibilidade da existência de outra fonte umedecedora, a qual poderá estar contribuindo para a permanência ou para o acréscimo da parcela, ainda existente, daquela umidificação.

As construções atingidas por este tipo de umidade, dependendo dos materiais constituintes, apresentam, geralmente, todas as paredes umedecidas, tanto internas como externamente, registrando-se um decréscimo ao longo do tempo, mais acentuado nas paredes exteriores.

### **c) Água da chuva**

Uma das mais importantes formas de manifestação de umidade numa edificação decorre da água da chuva que penetra e fica em contato com a alvenaria. Aquela água irá penetrar nas paredes de alvenaria até um certo grau, especialmente se elas tiverem sido incorretamente projetadas ou pormenorizadas. A qualidade da mão-de-obra empregue na construção de uma parede em alvenaria também vai ter um efeito significativo na quantidade de água que penetra nessa parede.

A má execução da obra e o uso de materiais inadequados podem determinar pontos de infiltração de água da chuva, também, nas esquadrias, principalmente no encontro da caixilharia com a parede.

Alvenarias de tijolo com assentamento caracterizado por juntas parcialmente preenchidas, marcação profunda dessas juntas ou aplicação defeituosa de peças de remate ou de ligação metálicas, estarão mais sujeitas à penetração pela chuva.

A chuva, como um fenômeno natural isolado, não causa uma ação de caráter considerado grave nas paredes de uma construção. Porém, é sabido que as precipitações chuvosas são, na maioria das vezes, acompanhadas por ventos e esta associação determina o direcionamento da chuva e a sua incidência nas fachadas do edifício. Com o afastamento da trajetória da chuva de sua vertical, causado pela ação do vento, o que determina componentes que podem atuar de forma direta sobre as superfícies, pode-se ter o umedecimento dos paramentos exteriores, transferindo para a face interna das alvenarias parte da água penetrada.

A água da chuva, direcionada pela ação do vento, é a principal fonte de umidade de infiltração na envolvente vertical exterior dos edifícios. Embora o uso de materiais inadequados e/ou a má execução do processo construtivo possam determinar as infiltrações nas paredes da construção, estas ocorrerão, com maior freqüência, em pontos especificamente mais vulneráveis, nomeadamente [3.15, 3.16, 3.21]:

- as juntas de argamassa de assentamento das alvenarias de tijolo;
- as partes inferiores de paredes com revestimentos impermeáveis;
- as áreas desagregadas de rebocos exteriores fendilhados;
- as ligações dos panos de alvenaria com elementos da estrutura e com a caixilharia dos vãos.

As anomalias pela ação da chuva manifestam-se com maior intensidade no período posterior a precipitações intensas ou de longa duração e imputam ao interior dos paramentos externos o aparecimento de manchas de umidade de formas e dimensões variáveis. Na maioria das vezes, essas manchas tendem a desaparecer com o término do período chuvoso, quando o tempo se apresenta seco e a face interna, umedecida, possui um bom sistema de ventilação. Porém, existem algumas zonas que, quando umedecidas, apresentam com freqüência a ocorrência de bolores, eflorescências e criptoflorescências.

A proteção contra os efeitos causados pela umidade derivada das chuvas pode ser conseguida, independentemente da tipologia construtiva adotada, por meio de um cuidadoso processo construtivo em conjunto com materiais de construção adequados e compatíveis. O uso de paredes duplas com caixa de ar, embora mais oneroso, constitui uma boa e eficaz forma de evitar este tipo de manifestação de umidade; porém, para sua utilização, devem-se observar os cuidados construtivos acima mencionados, para que este tipo de solução adotada não venha a apresentar problemas de umidade derivados da água da chuva; as principais falhas de execução que ocorrem em paredes duplas são [3.15, 3.16, 3.21]:

- caixa de ar parcialmente obstruída com o desperdício de argamassa ou de outros materiais;
- estribos de amarração dos panos, externo com o interno, com inclinação para o interior;

- dispositivo de recolha das águas de infiltração obstruído, mal dimensionado ou inexistente;
- orifícios de drenagem dos dispositivos de recolha das águas de infiltração obstruídos, mal dimensionados ou inexistentes.

#### **d) Água de condensação**

Além da água do solo, da água da construção e da água da chuva, pode-se acumular água dentro das paredes como resultado da condensação de vapor de água. Frequentemente a patologia que aparece nas paredes de alvenaria protegidas contra a chuva é devida a esta acumulação de água condensada.

Dentro das causas da umidade nas construções, a condensação costuma ser relegada a um plano secundário, porque, no clima do Brasil, este fenômeno não costuma trazer grandes incômodos relativos ao bem estar pessoal, embora, em contrapartida, possa causar grandes prejuízos com o estrago causado nos materiais e nas instalações existentes numa construção.

As condensações do vapor de água sobre os paramentos, chamadas condensações superficiais, ou no interior dos elementos de construção, chamadas condensações internas, constituem uma das causas mais vulgares da existência de umidade nos edifícios [3.5, 3.15].

As condensações verificadas nas superfícies das paredes das edificações (condensações superficiais) podem ocorrer quando existe o esfriamento localizado dos paramentos interiores das paredes exteriores.

No interior das construções o rebaixamento da temperatura ambiente ocorre de uma forma bastante localizada, ou seja, junto à face interna das paredes exteriores. O rebaixamento da temperatura superficial ocorre, também, nas chamadas zonas de pontes térmicas, como nas zonas de contato com as estruturas, com as esquadrias e os elementos delgados; ou nas paredes interiores que divisam compartimentos de uso diferenciado e com grandes variações térmicas entre si.

Este tipo de manifestação de umidade só se verifica, praticamente, nos períodos de inverno, onde a temperatura do ar no interior dos edifícios sofre um acréscimo em relação ao meio externo, enquanto as superfícies internas das paredes externas apresentam temperaturas mais baixas do que a do ambiente com o qual estão em contato. Esta diferença de temperaturas pode acabar por provocar condensações superficiais, pois por apresentar a parede temperatura

superficial menor do que a temperatura do ar existe, junto a estas, um aumento da umidade relativa e esta umidade pode determinar a aparição das condensações.

As condensações que ocorrem num ponto do interior das paredes (condensações internas) são originadas sempre que a pressão parcial do vapor de água que atravessa a parede por difusão atinge nesse ponto a pressão de saturação correspondente à temperatura a que o referido ponto se encontra.

A geometria das paredes e as condutibilidades térmicas dos materiais constituintes condicionam a distribuição da temperatura no seu interior e, conseqüentemente, os valores da pressão de saturação do vapor de água nos seus vários pontos. Por outro lado, a permeabilidade ao vapor de água desses materiais influencia as variações da pressão parcial do vapor de água na parede.

Da conjugação dos vários factores indicados – geometria da parede, e condutibilidade térmica e permeabilidade ao vapor de água dos respectivos materiais – resulta o maior ou menor risco de ocorrência de condensações inrenas numa parede de constituição heterogénea.

Para facilitar a compreensão deste fenômeno, considere-se uma parede com composição homogênea separando dois ambientes caracterizados por diferentes condições de temperatura e de humidade relativa. Represente-se um corte dessa parede num diagrama cartesiano, registando no eixo das abcissas a espessura da parede e no eixo das ordenadas as temperaturas e as pressões parciais do vapor de água. Verifica-se que a variação de temperatura entre as faces interna e externa acontece de forma linear. Com o conhecimento dos valores dos pontos analisados determinam-se com facilidade as pressões de saturação do vapor de água e traça-se a curva de pressões de saturação [Figura 3.1].

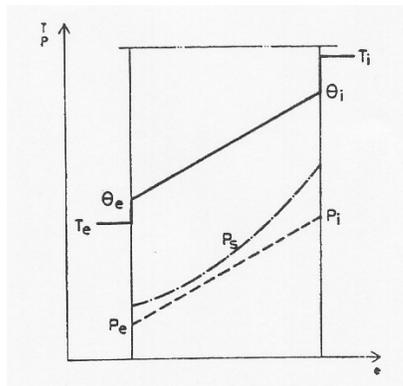


Figura 3.1 – Representação de uma parede homogênea em corte

A variação de pressão no interior da parede é determinada pela união retilínea entre as pressões parciais, obtidas a partir das temperaturas e umidade relativa dos ambientes interno e externo que envolve a parede estudada. Em regra, a pressão de vapor de água é mais elevada dentro dos ambientes aquecidos onde há produção de vapor. No ar a 0°C, saturado de água, esta pressão é aproximadamente a mesma que aquela identificada no ar a 20°C e a 26% de umidade relativa. Isto porque, em geral, o movimento de vapor se faz do ambiente aquecido para o ambiente frio. A quantidade de água que passa através de uma parede é [3.14]:

- proporcional à diferença de pressão de vapor de água entre as duas faces;
- inversamente proporcional à espessura para cada material utilizado;
- inversamente proporcional à resistência dos materiais à difusão do vapor de água.

Os principais condicionantes que determinam o aparecimento de condensações são, geralmente, uma combinação de dois ou mais dos seguintes fatores que atuam no edifício: [3.6, 3.13]

- a - condições de ocupação dos compartimentos, das quais depende a produção de vapor nas edificações<sup>1</sup>;
- b - temperatura ambiente no interior das construções;
- c - condições de ventilação dos ambientes;
- d – características térmicas das paredes;
- e - condições climáticas da localidade.

### **e) Água devido a higroscopicidade**

A higroscopicidade é uma característica própria que alguns materiais apresentam, e que consiste na capacidade de absorver a umidade (água) contida no ar.

---

<sup>1</sup> Dentro das condições de ocupação dos compartimentos temos as seguintes médias de produção de vapor [3.15]: - um indivíduo adulto produz em média 32 a 100 gramas de vapor de água por hora; - um banheiro produz de 500 a 1500 gramas de vapor de água por hora; - uma cozinha produz de 500 a 1000 gramas de vapor de água por hora.

Dentre estes elementos, encontramos alguns tipos de sais que desenvolvem o comportamento higroscópico. Sabe-se que uma grande parte dos materiais de construção apresentam sais solúveis incorporados no seu interior; esses sais podem fazer parte da constituição do material ou terem sido introduzidos no mesmo por contaminação proveniente do contato com outras fontes contaminadoras, como por exemplo, solo contendo sais.

A presença de sais no interior dos paramentos não representa, em primeira instância, um fator de agressão aos constituintes das paredes. Porém se estas sofrerem processos de umedecimento, os sais contidos serão dissolvidos e migrarão juntamente com a água até às superfícies, onde se manifestarão, quando da secagem da água, na forma de eflorescências e/ou criptoflorescências.

Dentre os sais solúveis, mais freqüentes nos materiais de construção, os mais representativos são os cloretos, os nitritos, os nitratos, os sulfatos e os carbonatos, sendo que os três primeiros apresentam a característica de serem higroscópicos, ou seja, absorvem a umidade do ar e, quando esta umidade se encontra acima de 70%, acabam por se solubilizar. Quando a taxa de umidade relativa do ar diminui para valores inferiores àquele limite, o sal volta a formar cristais, ocorrendo um acréscimo considerável do seu volume em relação à fase solúvel.

Portanto, a característica higroscópica de alguns materiais de construção não causa apenas o aparecimento de manchas de umidade localizadas nas zonas de concentração dos sais solúveis, mas também ocorre um processo de deterioração, determinado pelo aumento de volume dos sais pelo efeito da recristalização, provocando tensões internas que acabam por degradar, principalmente, os revestimentos, em especial quando a recristalização ocorre em camadas internas e não à superfície de esses revestimentos. Num curto período de 24 horas, poderão ocorrer vários momentos de umedecimento e secagem dos paramentos das paredes de alvenaria, bastando para isso que haja variações na umidade relativa do ar. Desta forma, pode-se ter, em intervalos bastante reduzidos, vários ciclos de dissolução-cristalização, os quais vão exercendo constantemente ações de deterioração nos revestimentos das paredes e podem originar a formação de processo patológico bastante significativo.

---

**f) Água devido a causas fortuitas**

A água derivada de causas fortuitas é muitas vezes deixada num plano secundário, devido ao fato de seu aparecimento estar na maioria das ocorrências ligado as precipitações pluviométricas e, quando este processo acaba, a mancha de umidade registrada, desaparece com uma certa facilidade. Neste caso as falhas mais determinantes podem ser oriundas de um processo construtivo inadequado, do uso incorreto do edifício e da ausência de manutenção. São mais evidentes nas coberturas, contínuas e descontínuas, que apresentam obstrução das calhas e condutores pluviais, telhas rompidas ou deslocadas, falhas de impermeabilização e platibandas com acabamento da superfície interna ou superior, ineficiente ou inexistente.

Não só as águas derivadas de chuvas caracterizam as causas fortuitas; ainda mais importantes são as águas oriundas da ruptura de canalizações, quer do abastecimento de água quer da drenagem de águas residuais, que geralmente são inseridas no interior das alvenarias, determinando assim um problema de solução mais demorada e onerosa. No caso das canalizações de drenagem de águas residuais, existe ainda a agravante de que estas transportam matérias orgânicas, que penetram na parede juntamente com a água, causando sua contaminação com sais, ou crescendo aos já existentes.

De todos os fatores, que podem determinar a presença de umidade fortuita no edifício, certamente os derivados da ruptura de canalizações são os mais gravosos, por imputarem um contato mais permanente da água com a parede. Porém, não devemos desprezar os efeitos da umidade oriunda das demais fontes, pois pela sucessão de ciclos de umidade e secagem, podem causar, também, patologia de eflorescências e criptoflorescências.

### **3.3 – MÉTODOS E EQUIPAMENTOS PARA O DIAGNÓSTICO DA UMIDADE**

O conhecimento do teor de água contido nas paredes é um dado essencial para a determinação de um diagnóstico para os problemas de umidade. Para a medição dos teores de água das paredes podem-se utilizar métodos não-destrutivos e métodos destrutivos. A opção pelos métodos não-destrutivos, com a utilização de equipamentos especiais, muitas vezes é desconsiderada, devida basicamente ao alto custo dos aparelhos e aos resultados pouco precisos.

### **a) Procedimentos não-destrutivos**

Nas medições pelos métodos não-destrutivos, utilizam-se equipamentos que avaliam a presença de umidade sem ferir as paredes. Em alguns casos, é necessária a realização de pequenos furos nas paredes analisadas, o que poderia ser considerado como um procedimento destrutivo. Porém, como estas intervenções produzem uma destruição mínima, de dimensões reduzidas e de fácil reparação, pode-se considerar em termos práticos, mesmo nesses casos, o método como não-destrutivo.

Dentre estes equipamentos, os mais utilizados são os umidímetros elétricos, compostos por agulhas de superfície ou por sondas de profundidade. Existem outros aparelhos de medição que utilizam princípios elétricos para quantificar a água contida no interior das paredes afetadas pela umidade; dentre eles encontram-se os equipamentos que utilizam a variação da constante dielétrica, os equipamentos que utilizam a variação da impedância de um semicondutor e os equipamentos que utilizam a emissão e recepção de ondas de neutrões ou micro-ondas.

#### **a1) Umidímetros elétricos compostos por agulhas de superfície ou por sondas de profundidade**

Estes aparelhos podem quantificar a água pela variação da resistência elétrica entre os eletrodos (é o método mais corrente). Sabe-se que, quanto maior o teor de água contido num material, menor a resistência elétrica oferecida; portanto, a partir deste conhecimento resistivo, pode-se determinar o valor aproximado do teor de água respectivo. Este tipo de medição apresenta facilidade e rapidez de utilização; no entanto é bastante impreciso e sujeito a erros, devido basicamente ao fato de os materiais de construção apresentarem constituição variada e, muitos deles, sais no seu interior, o que altera sensivelmente os resultados. Esta constituição heterogênea permite a medição mais precisa apenas nos estados extremos, ou seja, em materiais muito secos ou muito úmidos e, nesta última condição, só é válido o resultado obtido se os materiais constituintes estiverem isentos de sais.

---

**a2) Equipamentos que utilizam a variação da constante dielétrica**

Sabe-se que a constante dielétrica da água é cerca de 30 a 40 volts mais elevada que a dos materiais utilizados na construção no estado seco, além de ser específica para cada tipo de material; portanto, necessita-se de tabelas especialmente preparadas, para se poder avaliar e quantificar as medições encontradas. Estes aparelhos possuem dois elétrodos que, colocados sobre o material a ser analisado, medem a constante dielétrica destes materiais onde qualquer teor de água presente é imediatamente identificado pelo considerável aumento dessa constante.

Este tipo de equipamento é recomendado para ser utilizado em superfícies lisas ou com baixa rugosidade e mede apenas as variações superficiais; porém, propicia um trabalho bastante fácil e com rapidez de execução, pois necessita apenas ser apoiado sobre a superfície da parede a ser analisada além de apresentar baixa sensibilidade à presença dos sais que possam estar contidos nos materiais.

**a3) Equipamentos que utilizam para medição a variação da impedância de um semicondutor**

Com a utilização deste equipamento, a água contida na parede é avaliada pelo equilíbrio entre a umidade relativa do ar com o material constituinte da alvenaria. O aparelho possui um semicondutor sensível colocado dentro de um bolbo permeável ao ar e ao vapor de água, no qual a impedância varia em função da umidade relativa do ar.

O simples contato desse dispositivo com o material a ser avaliado produz a variação da umidade relativa do ar no seu interior e, no final de um certo período, registra-se um equilíbrio com o teor de água do material. Com base em diagramas que utilizam as informações referentes à umidade relativa do ar registrada para uma determinada temperatura, pode-se quantificar o teor de água contido no elemento analisado.

A utilização deste equipamento é bastante restrita para materiais de construção, pois, com exceção da madeira, o equilíbrio da quantificação da umidade relativa do ar no material é atingido, rapidamente, em valores equivalentes aos da saturação, mesmo que os teores de água sejam baixos; o que acaba por inviabilizar uma determinação precisa.

#### **a4) Equipamentos que utilizam para medição a emissão e recepção de ondas de neutrões ou micro-ondas**

Estes aparelhos são constituídos por uma fonte emissora de ondas de neutrões ou de micro-ondas e outra fonte receptora dessas ondas. Para seu uso basta colocá-lo sobre a parede a ser avaliada e emitir as ondas. A intensidade dessas ondas será atenuada inversamente à quantidade de água contida no material; ou seja, quanto maior o teor de água, menor será a vibração da onda. Esta ressonância é registrada na fonte receptora e indicará os teores de água contidos.

Este equipamento é bastante caro e oferece alguma dificuldade de leitura em materiais heterogêneos além dos riscos decorrentes das radiações emitidas; porém, possui muita precisão na determinação do teor e na distribuição da água existente nos materiais.

#### **b) Procedimentos destrutivos**

As avaliações dos teores de água pelo uso de métodos destrutivos implicam procedimentos que necessitam da recolha de amostras para posteriores análise e avaliação. Dentre os métodos destrutivos os procedimentos mais utilizados são o método ponderal e a medição da umidade pela pressão de acetileno.

##### **b1) Método ponderal**

É o procedimento mais usual, onde são retiradas amostras da área a ser investigada. Estas amostras deverão ser extraídas com o uso de uma serra-copo acoplada a uma furadeira de baixa rotação, evitando assim o aquecimento e a conseqüente secagem do material retirado, o qual deve ser armazenado em invólucros estanques, que evitem a perda da umidade contida e não acresçam umidade exterior aos corpos de prova.

É um método bastante preciso e possibilita o uso das amostras recolhidas para outros ensaios, como permeabilidade à água, teor de sais e higroscopicidade. O principal inconveniente é a necessidade de extrair pequenas amostras do edifício, no caso a parede, o que, muitas vezes, torna-se impróprio, pois algumas construções antigas foram executadas com técnicas e materiais não mais usados, o que poderá dificultar a recuperação das zonas de

onde foram extraídas as amostras para ensaio. Também apresenta a desvantagem de não poder ser realizado no local, necessitando de laboratório, o que demanda mais tempo.

## **b2) Método de medição da umidade pela pressão do acetileno**

Este é um procedimento que pode ser realizado no próprio local onde são retiradas as amostras, bastando para tal a utilização de uma garrafa metálica estanque, munida de um manômetro. Nesta garrafa coloca-se a amostra juntamente com carboneto de cálcio e aguarda-se a reação entre a água contida na amostra e o carboneto. Esta reação produz acetileno na mesma proporção da água, a qual, registrada no manômetro, indica o teor de água da amostra ensaiada.

Este ensaio apresenta o inconveniente de ter algum perigo, devido à presença do acetileno e de não apresentar muita precisão nos resultados.

## **3.4 – MÉTODOS DE TRATAMENTO**

### **3.4.1 - Levantamento dos produtos utilizados para o combate à umidade**

Pode-se dizer que os produtos empregados para o combate à umidade e das conseqüentes eflorescências e criptoflorescências classificam-se basicamente em dois grupos:

No primeiro grupo encontram-se os produtos impermeabilizantes (aplicados “in situ” e pré-fabricados), que têm por objetivo principal eliminar o contato com as fontes de umidade. Entre estes produtos encontram-se:

#### **a) Para impermeabilização dos paramentos**

- aditivos impermeabilizantes para argamassas, os quais reagem com o cimento durante o processo de hidratação, dando origem a substâncias minerais que bloqueiam a rede capilar e propiciam uma elevada impermeabilização do reboco;

- revestimento por pinturas poliméricas, semiflexíveis, que produzem uma barreira à passagem da umidade, impedindo assim a sua manifestação na superfície da argamassa de revestimento;
- revestimento por pintura com emulsões asfálticas, que podem ser aplicadas na presença da umidade, proporcionando, após a evaporação da água, uma película estável e impermeável de boa aderência e fácil aplicação
- revestimento por pintura com impermeabilizantes flexíveis com base em elastômeros ou em resinas acrílicas, as quais produzem uma camada impermeável, elástica e de grande aderência;
- revestimento por pintura com impermeabilizante mineral de alta aderência para suportar subpressões de águas confinadas;
- revestimento por pinturas acrílicas, utilizados na superfície exposta dos paramentos exteriores das fachadas com o objetivo de tornar o revestimento impermeável a fim de não absorver a umidade da chuva e do ar evitando assim a formação de fungos, mofo, bolores e as possíveis manifestações de sais e esboroamento dos tijolos e revestimentos;

#### **b) Para barreira horizontal**

- impermeabilizante líquido injetável que produz uma barreira, nas paredes e muros, impedindo a ascensão capilar da umidade do terreno que sobe pelo alicerce da construção.

#### **c) Para impermeabilização dos paramentos ou barreira horizontal**

- membranas betuminosas pré-fabricadas armadas (feltro ou tela), pouco recomendadas e pouco usadas;

No segundo grupo, encontram-se os produtos utilizados para limpeza superficial das manifestações salinas. Entre estes produtos destacam-se apenas dois, que são os mais usuais:

- ácido clorídrico diluído (ácido muriático), para limpeza superficial;

- neutralizantes de sais eflorescentes, aplicados superficialmente em paredes rebocadas ou de tijolos à vista, os quais transformam os sais solúveis em cristais de sal insolúveis.

### **3.4.2 - Levantamento e descrição de processos**

Existem muitas técnicas adotadas, desde a simples ocultação das anomalias até aos métodos para a solução do problema, os quais buscam a eliminação das fontes causadoras da patologia.

As soluções de reparação de anomalias causadas pela umidade podem ser executadas de diversas formas, dependendo a escolha do método do tipo de problema detectado, do tipo de construção, dos objetivos da recuperação e das disponibilidades financeiras destinadas a este trabalho.

Basicamente, este tipo de intervenção divide-se em seis grupos:

- eliminação das anomalias;
- substituição de elementos e materiais afetados;
- ocultação das anomalias;
- proteção contra os agentes agressivos;
- eliminação das causas das anomalias;
- reforço das características funcionais.

#### **a) Eliminação das anomalias**

Este é um procedimento bastante usado, principalmente não utilizar materiais e técnicas onerosas, além de proporcionar uma recuperação imediata, porém temporária, da estética da parede afetada. A metodologia empregada neste procedimento é bastante simples e consiste nos seguintes passos:

- secagem das superfícies umedecidas com o reforço da ventilação e a elevação da temperatura;

- lavagem com água e produtos apropriados para a remoção das manchas de mofos, bolores e sais;
- colagem ou fixação de pequenas partículas soltas.

### **b) Substituição de elementos ou materiais afetados**

Quando a anomalia atinge um grau de deterioração maior, com argamassas empoladas, descoladas e/ou esboroadas, no qual a simples secagem e limpeza das superfícies não é suficiente e não permite a recuperação das boas características visuais e de uso da parede, pode recorrer-se à substituição dos elementos ou materiais afetados. Trata-se de uma solução reparadora, muitas vezes definitiva, dependendo das precauções e técnicas adotadas. Neste caso, a solução definitiva só será obtida se, juntamente com o processo de substituição, forem tomadas providências para eliminar ou proteger as paredes das causas que produzem as anomalias, principalmente a umidade.

Os passos a adoptar no processo de substituição das argamassas são os seguintes:

- retirada das argamassas empoladas, descoladas ou erodidas (esboroadas), neste caso devido principalmente à formação de criptoflorescências;
- escovagem da superfície (tijolo) da alvenaria para retirar as partículas soltas;
- aplicação de uma nova argamassa;
- preparação para pintura;
- pintura.

### **c) Ocultação das anomalias**

A ocultação das anomalias consiste num procedimento simples e de baixo custo, que tem por objetivo a imediata solução aparente do problema e, na maioria das vezes, constitui uma opção definitiva. Nesta recuperação não existe preocupação com a resolução das anomalias, mas sim, com a estética. Esta opção recuperadora não impede que a anomalia e as suas causas continuem atuantes e, na maioria das vezes, determina um acréscimo oculto da manifestação patológica, pois com o fechamento da parede afetada, existe uma redução drástica ou total da ventilação e um conseqüente acréscimo do teor de umidade, os quais

provocam um aumento das eflorescências e criptoflorescências e a desagregação mais acentuada do interior e da superfície da parede afetada.

Geralmente, em se tratando do interior do edifício, o paramento é recoberto com uma placa (forro) de madeira ou de gesso cartonado deixando uma caixa de ar (com uma espessura mínima de 0,05m) entre a alvenaria original (deteriorada) e o forro utilizado para a ocultação. No trabalho aplicado às faces exteriores dos paramentos do edifício, devem-se utilizar materiais de construção adequados ao uso externo (placas de fibrocimento, chapas metálicas, etc.), que suportem tanto as intempéries bem como as agressões que possam advir dos utentes. Deve-se observar a execução de zonas de ventilação que permitam alguma circulação de ar por detrás da placa de ocultação, evitando assim, o agravamento rápido da patologia. Outra opção é o uso de revestimentos de parede, aderentes ou desligados que recubram e disfarçam as anomalias. No caso de elementos aderentes (pedras, azulejos), ocorrerá, caso a fonte de umidade não seja isolada e a contaminação dos sais solúveis permaneça, uma possível elevação da altura da mancha de umidade e também a transferência das eflorescências para zonas superiores do paramento das paredes afetadas, acima do novo revestimento. Também podem ocorrer manifestações de eflorescências nas zonas de descontinuidade (juntas) do revestimento utilizado. Optando-se por estes métodos, é preferível recorrer a revestimentos desligados das paredes originais acrescidos de elementos (grades, respiros, detalhes construtivos, etc.), que permitem, através destes elementos, alguma ventilação da caixa de ar, além de impedir a transferência da anomalia da parede original para a placa utilizada. Também, em situações especiais, se pode construir internamente, caso haja espaço físico suficiente e não cause dano arquitetônico ao edifício, uma outra parede de alvenaria, chamada de contra-fachada. Esta nova parede deverá também ser executada com o afastamento mínimo de 0,05m e, preferencialmente, deverão ser impermeabilizadas as paredes antigas, tendo-se o cuidado de não provocar pontos de contato entre as duas paredes, para evitar qualquer ponte que possa gerar a transferência de umidade. Esta técnica de construção, de outra parede interior, apresenta alguns inconvenientes como: a redução do espaço físico interno e a recondução e recolocação dos pontos de abastecimentos elétrico, telefônico e de água, além de alterar e dificultar o remate das esquadrias existentes (marcos e guarnições).

#### **d) Proteção contra os agentes agressivos**

Este tipo de intervenção procura proteger a construção dos agentes que a agridem sem, porém, eliminar as fontes causadoras das agressões. Esta metodologia visa especificamente a proteção dos materiais de construção e do sistema construtivo empregados. Existe uma gama de procedimentos a serem empregados; muitos são utilizados de forma isolada determinando, em algumas situações, reparações incompletas ou o agravamento da patologia. Os procedimentos mais comuns são:

- impermeabilização das faces exteriores do edifício em contato com a umidade do terreno;
- criação de uma zona impermeável às ações da umidade ascendente capilar, mediante o corte da parede e a introdução de materiais impermeabilizantes;
- injeção, por gravidade ou sob pressão, de produtos impermeabilizantes, com o objetivo de criar uma barreira estanque às ações da ascensão capilar da água do terreno;
- retirada da água em excesso das paredes;
- tratamento exterior dos panos verticais externos das construções com materiais capazes de impedir a penetração da água das chuvas;
- tratamento das paredes sujeitas à ação de condensações, com o uso de barreiras pára-vapor.

##### **d1) Impermeabilização das faces exteriores do edifício em contato com a umidade do terreno**

A utilização deste procedimento prevê inicialmente a escavação e retirada do solo que contata externamente as paredes da construção. Após esta etapa, deve-se retirar todo o revestimento afetado e deixar o suporte completamente limpo e adequadamente plano. Sobre este suporte realiza-se a aplicação de uma camada primária, com trincha, pincel ou rolo, obedecendo às recomendações de aplicação e consumo, indicadas pelo produtor, a qual tem por função homogeneizar o suporte e melhorar a aderência do revestimento principal a aplicar. Caso o suporte apresente fendilhações, indiciando uma possível falta de estabilidade da

alvenaria, recomenda-se utilizar entre as demãos, armaduras de fibra de vidro ou poliéster. Também, nesta situação, podemos aplicar acima da camada primária, uma membrana impermeabilizante pré-fabricada (armada). Os revestimentos principais podem ser constituídos por camadas moldadas no local, através de várias demãos de produtos impermeabilizantes (betumes, emulsões asfálticas, etc.) ou pelo uso de membranas pré-fabricadas (armadas). Sobre o tratamento impermeável deve-se aplicar um revestimento protetor, geralmente uma argamassa aditivada por impermeabilizantes líquidos, o que irá reforçar as características funcionais desejadas e protegerá mecanicamente o conjunto.

## **d2) Criação de uma zona impermeável às ações da umidade ascendente capilar, mediante o corte da parede e a introdução de materiais impermeabilizantes**

As soluções destinadas a impedir a ascensão da água nas paredes das construções têm por objetivo criar uma barreira estanque que impossibilite as ascensões capilares. Entre os métodos aplicados, de uma forma geral, podem referir-se os seguintes processos:

### **d2(1) Substituição dos componentes da parede**

Este procedimento prevê a abertura (por demolição) de trechos horizontais das alvenarias. Estas aberturas devem ter uma medida linear que não comprometa a sustentação das cargas da parede que estão acima delas e devem vazar toda a espessura da parede tratada possuindo altura suficiente para permitir a introdução de novos materiais impermeáveis. Estes materiais (que podem ser placas pétreas, placas metálicas, etc.) devem ser assentados e rejuntados com uma argamassa impermeável, preenchendo todo o vão aberto e determinando uma perfeita continuidade da nova camada impermeável sob a alvenaria trabalhada. Quando a primeira etapa está concluída, executa-se mais um trecho de corte (abertura) e assim sucessivamente, sempre com o cuidado de fazer-se com que haja uma sobreposição entre as aberturas produzindo assim uma continuidade da barreira impermeável. Esta técnica apresenta limitações quanto ao custo elevado, ao formato uniforme e a dimensão dos elementos constituintes (tipos e alinhamento dos materiais de construção empregados). Porém, quando as condições de trabalhabilidade forem favoráveis, e o tratamento for bem executado, produz uma resposta bastante positiva.

## **d2(2) Introdução de produtos impermeabilizantes nas alvenarias afetadas pela umidade**

Neste tipo de tratamento de recuperação, pelo bloqueio da umidade ascendente, se podem utilizar quatro procedimentos distintos, os quais empregam materiais próprios a cada intervenção.

### **d2(2)-a - Barreira estanque em corte com serra**

Este método prescreve a realização de um corte horizontal na base acessível da parede afetada. Este corte é feito com o uso de serras de disco de diferentes tipos ou por cordões helicoidais, semelhantes aos utilizados nos cortes das pedreiras e deve ter, independente do equipamento usado, um comprimento máximo de 1,00m. Os equipamentos de corte e os discos existentes no mercado possibilitam cortar paredes de aproximadamente 0,40m de espessura. Em paredes mais espessas, recomenda-se o corte nos dois lados da alvenaria, na mesma direção, desde que a espessura da parede não seja maior do que o diâmetro do disco. Em paredes excessivamente espessas, desde que haja a possibilidade de trabalho nos seus dois lados, pode-se utilizar o cordão helicoidal.

No interior deste corte são introduzidos os materiais impermeabilizantes, geralmente membranas betuminosas, placas de chumbo ou argamassas aditivadas com ligantes sintéticos. Para se obter uma estanquidade garantida deve-se determinar uma continuidade nas impermeabilizações. Os espaços que não forem preenchidos pelo material impermeável utilizado deverão ser completados com argamassa de forma a dar continuidade e garantir a estabilidade da parede tratada.

### **d2(2)-b - Barreira estanque em corte por carotagens sucessivas**

Este processo foi desenvolvido por G. Massari com o objetivo de tratar paredes afetadas pela umidade e que não permitiam serem cortadas, devido à espessura excessiva e a dificuldade de acessibilidade. É um método de fácil aplicação que consiste em uma sucessão de furos alternados realizados por brocas de 35 mm de diâmetro, podendo ser aplicada em qualquer espessura de parede e, até mesmo, naquelas com acesso unilateral.

A intervenção desenvolve-se em troços de aproximadamente 0,42 m. Estes troços estanques são constituídos em duas etapas. Na primeira etapa é realizada uma primeira série de furos donde o espaçamento entre furos deve ser, aproximadamente, igual ao raio nominal da broca, ou seja, 17,5 mm. Após esta etapa, procede-se a segunda série de furos, com o objetivo de retirar o material que permanece entre as primeiras furações e, posteriormente, a uma cuidadosa limpeza seguida do preenchimento do espaço com uma argamassa de ligantes sintéticos, constituída por uma mistura de pó de mármore, areia fina e resina de poliéster com carbonato de cálcio. Esta composição garante uma trabalhabilidade segura para furos até 1,60 m de profundidade, desde que, aplicada em temperaturas acima de 20°C. Com esta condição, após 3 ou 4 horas, o material apresenta boa resistência mecânica e não retrai, e tornando-se assim não fendilhado e estanque à água [3.15].

#### **d2(2)-c - Barreira estanque com a introdução forçada de materiais metálicos**

Neste tipo de proteção contra a ascensão da umidade é introduzida na direção da junta de assentamento dos tijolos ou das pedras uma chapa de aço ondulada. Esta chapa é colocada pela ação do batimento repetitivo (1000 a 1500 vezes por minuto) determinado por martelo pneumático (percussão entre 200 e 400 N). Para que se possa aplicar este procedimento deve-se verificar se as características construtivas e de estabilidade da obra permitem a utilização do processo, pois a metodologia é recomendada para paredes com juntas horizontais contínuas, permitindo assim, a perfeita sobreposição das chapas e estanquidade. Em edifícios muito antigos e/ou que não apresentem estabilidade suficiente para resistir aos esforços desenvolvidos durante a introdução da chapa, não é recomendado à aplicação deste tipo de barreira impermeável.

#### **d3) Injeção, por gravidade ou sob pressão, de produtos impermeabilizantes, com o objetivo de criar uma barreira estanque às ações da ascensão capilar da água do terreno**

A barreira estanque à ação da umidade é conseguida pelo uso de impermeabilizantes na maioria, sintéticos, os quais reagem quimicamente no interior da parede, criando uma zona de impedimento à ascensão da água do solo. A execução do processo consiste em fazer linhas de

furos com uma broca de meia polegada de diâmetro; estes furos deverão estar afastados entre si de uma distância que pode variar de 10 a 20 cm, penetrando em cerca de  $2/3$  da espessura da parede. Os furos poderão ser horizontais ou com uma inclinação descendente de  $45^\circ$ , no caso de injeção por gravidade; quando o produto é injetado sob pressão, geralmente é usada a furação horizontal. No primeiro caso, por gravidade, a absorção do material impermeabilizante dá-se pela própria ação gravitacional e pela capilaridade dos componentes da parede. No caso da injeção sob pressão, tem-se uma maior garantia da total e homogênea saturação da zona tratada. Este procedimento utiliza bombas injetoras que podem atuar em vários furos ao mesmo tempo, e não devem aplicar pressões superiores a 0,4 MPa, pois pressões superiores a estas poderão desagregar parte dos componentes construtivos da parede.

Os materiais de impermeabilização utilizados nesta metodologia são basicamente constituídos por produtos tapa-poros e produtos hidrófugos (disponíveis no mercado), sendo que os materiais do tipo tapa-poros (resinas epoxídicas, silicatos alcalinos e gel colmatador) apresentam dificuldade na aplicação, baixa penetração nos poros dos materiais e reações adversas com alguns componentes utilizados da alvenaria. Dentre estes materiais, as acrilamidas (gel colmatador) são as que apresentam melhor comportamento. Já os produtos de características hidrófugas, encontrados no mercado nacional e regional, por serem solúveis, são de mais fácil aplicação. Entre estes produtos, os principais são os siliconatos, os silicones e os compostos organo-metálicos, que apresentam as seguintes características [3.15, 3.19]:

- Siliconatos: são compostos solúveis em água que reagem com o dióxido de carbono existente no interior das paredes. Esta reação dá origem à formação de produtos hidrófugos, mas em paredes muito espessas pode ser dificultada, devido à escassez ou à ausência do dióxido de carbono nas maiores profundidades da alvenaria. Neste caso, podem injetar-se previamente compostos que liberem a formação deste gás.
- Silicones: são produtos geralmente constituídos por compostos macro-moleculares dissolvidos em solventes hidrófobos, o que determina dificuldades na aplicação. Este óbice pode, no entanto, ser superado pelo aumento do número de furos, tanto na mesma fiada horizontal como na quantidade de fiadas.
- Compostos organo-metálicos: estes produtos mais recentes são geralmente constituídos por compostos orgânicos de titânio e de estearatos de alumínio. Estes

materiais reagem quimicamente com a água presente na parede afetada, transformando-se em polímeros após a evaporação dos solventes.

A utilização dos produtos hidrófugos, em geral, cumpre a função pretendida, pois cria na parede uma zona impermeável horizontal e contínua, condição básica para barrar a ascensão da água. Porém, com alvenarias muito saturadas e com uma forte ascensão capilar, pode ocorrer uma diluição de parte do produto e o seu conseqüente transporte para áreas fora da zona que se pretende impermeabilizar. Neste caso, recomenda-se a secagem prévia da zona dos furos da parede. Também a espessura das paredes, a não homogeneidade de seus componentes e alguns problemas patológicos (fendilhação e vazios internos) podem determinar falhas na aplicação desta técnica e a conseqüente ineficácia da barreira estanque.

#### **d4) Retirada da água em excesso das paredes**

As soluções de intervenção que visam proteger as paredes contra os agentes agressivos pela retirada da água excessiva das mesmas, somente são aplicadas em casos muito especiais e pré-determinados por estudos de viabilidade, onde é recomendado este tipo de intervenção. Basicamente esta solução é aplicada de duas formas distintas:

- retirada da água excedente na parede pelo uso de eletro-osmose
- retirada da água excedente na parede pelo uso de drenos atmosféricos

##### **d4(1) Retirada da água excedente na parede pelo uso de eletro-osmose**

Quando da ascensão capilar da água contida no terreno para a parede da construção acaba por ocorrer, entre o terreno e a parede, uma diferença de potencial elétrico. Os estudos deste fenômeno físico levaram à constatação de que se poderia atuar no fluxo da ascensão da água pela anulação ou inversão desta diferença de potencial, buscando assim a interrupção ou inversão do processo ascensional. É um procedimento bastante simples que consiste na introdução na parede de uma série de sondas condutoras, ligadas entre si e conectadas ao terreno por meio de uma tomada de terra. O conjunto de sondas, introduzido na parede, atua como um ânodo (+), enquanto que a tomada de terra funciona como um cátodo (-). O processo de eletro-osmose, quando as sondas da parede e do terreno são constituídas pelo mesmo

material, chama-se eletro-osmose passiva; o seu objetivo é de apenas anular a diferença de potencial existente e é considerado bastante ineficiente. Quando se utilizam sondas de diferentes materiais, como ânodos de cobre e cátodos de magnésio, introduz-se no sistema uma reação de pilha elétrica, criando uma tensão adicional. Porém os elétrodos acabam por sofrer corrosão, em função da fraca tensão que entre eles é estabelecida. Este método é conhecido como eletro-osmose semipassiva e motiva alguns questionamentos quanto ao seu uso.

Existe um terceiro procedimento chamado de eletro-osmose ativa, que difere dos dois anteriores, por introduzir entre os elétrodos da parede e do terreno uma fonte de corrente contínua de baixa tensão, o que determina uma diferença de potencial, que deve ser menor ou igual a 1,6 Volt para evitar a eletrólise da água. É uma intervenção que gera muitas dúvidas quanto à sua eficiência. Alguns julgam-no ineficiente enquanto outros garantem o seu sucesso.

O processo de eletro-osmose é uma intervenção suscetível de falhas, quer pela secagem parcial da água, o que determina a continuidade da patologia, quer pela interrupção do funcionamento, o qual gera o reaparecimento da umidade.

#### **d4(2) Retirada da água excedente na parede pelo uso de drenos atmosféricos**

A utilização de drenos atmosféricos é bastante reduzida ou quase inexistente em aplicações de tratamento aos efeitos da umidade. Trata-se de um procedimento que visa ventilar zonas específicas das paredes afetadas; de forma a produzir no seu contorno uma área de secagem onde, com somatório destas zonas livres e umidade, acaba por determinar uma barreira que interrompe a continuidade da ascensão de umidade.

Em teoria este processo parece bastante simples e viável, onde o ar úmido da parede penetra no interior do dreno e, por ser mais leve, acaba sendo substituído pelo ar seco, que é mais pesado. Porém, na prática acaba por apresentar deficiências que tornam difícil a real avaliação do sistema; o principal problema parece residir na colmatação dos drenos por sais da construção e/ou da água do solo nas zonas de contato entre os drenos e as paredes, o que dificulta ou impede a passagem do vapor de água, tornando o sistema ineficiente.

#### **d5) Tratamento exterior dos panos verticais externos das construções com materiais capazes de impedir a penetração da água da chuva**

A penetração da água da chuva nas paredes dos edifícios pode ocorrer por muitos fatores. Entre eles, o próprio processo construtivo, o uso de materiais impróprios, a elevada porosidade e irregularidade do revestimento, falência funcional, falta de manutenção, desgaste natural dos componentes e mau uso da edificação. Esta gama de problemas acaba por determinar, individualmente ou em conjunto, muitas anomalias determinadas pela penetração da água da chuva nas paredes exteriores das construções. Porém, considera-se como ação direta da chuva sobre os paramentos aquela água que se infiltra nas paredes pelas duas formas seguintes:

- infiltrações de água devido à permeabilidade dos elementos construtivos, principalmente os revestimentos;
- infiltrações de água em fendilhações nas paredes.

Quando a água da chuva consegue penetrar, quer pela permeabilidade quer por falhas na continuidade do revestimento e/ou da base, nas paredes das edificações, dentro de um tempo variável ocorrerá na face interna da parede atingida a manifestação de uma mancha de umidade com dimensões que são função da quantidade de água infiltrada e da capilaridade dos materiais componentes. Esta manifestação geralmente desaparece tão logo acabe o período da chuva e, portanto, são desconsideradas, na maioria das vezes, as conseqüências patológicas que dela podem advir. Mas, como é sabido, a presença de sais solúveis, em quantidades variáveis, é uma constante em grande parte dos materiais de construção, quer de origem própria, quer por contaminação exterior. Estes sais, dentro do processo umidificação-secagem, acabam por determinar anomalias nos paramentos (vd. 3.3).

As propostas de interferências corretivas estão dirigidas especificamente para as paredes afetadas por umidade que atingem as superfícies externas das edificações e não para as infiltrações nos remates com os elementos envolventes de esquadrias e nos detalhes salientes previstos no projeto arquitetônico, os quais deverão ser tratados especificamente.

Dentro dos tratamentos para combater a penetração de água por falta de estanquidade nas superfícies são propostas as seguintes intervenções:

### **d5(1) Aplicação de hidrófugo de superfície**

Detectada a anomalia de umidade e comprovada a sua origem, no caso, infiltração de água da chuva pela porosidade e capilaridade do revestimento da parede e dos seus constituintes, passa-se à intervenção recuperadora. Neste processo de aplicação, a superfície exposta à ação da chuva é recoberta com uma proteção hidrófuga. Estes produtos são incolores, não interferem no aspecto estético da construção e possuem a propriedade da hidro-repelência; porém, por não fecharem os poros nem formarem uma lâmina contínua sobre a superfície, possibilitam a permeabilidade ao vapor de água, determinando assim a eliminação da água retida dentro da alvenaria. Este comportamento apropriado à intervenção proposta resulta do fato de os hidrófugos formarem superficialmente uma barreira não polar, o que acaba por repelir as moléculas de água [3.1, 3.18, 3.19]. Os grupos de OH (oxigênio e hidrogênio) que constituem a maioria das superfícies dos materiais de construção determinam a polaridade destes materiais o que acaba por atrair fortemente as moléculas polares dos líquidos que contatam estas superfícies. Esta atração deve-se às cargas elétricas positivas (átomos de hidrogênio) e negativas (átomos de oxigênio). Os materiais hidrófugos aplicados na superfície das paredes são constituídos por duas partes básicas, uma parte mineral polar e outra parte orgânica não-polar. No processo de aplicação há uma combinação das partes polares do grupo OH da superfície com a parte polar do hidrófugo, o que permite a perda de vapor de água, e a parte não-polar do material aplicado acaba ficando na superfície externa da película protetora e funciona como repelente à água. Na verdade o processo é bastante simples e é constituído por três zonas distintas (polar, não-polar, polar), onde a zona polar da superfície é impedida de contatar a água, que também é polar, pela formação de uma zona não-polar entre elas. De acordo com os componentes que os constituem tem-se, basicamente, três categorias de materiais hidro-repelentes: os silicones, os siliconatos e os compostos organo-metálicos [vd. 3.4.2.4 (c)]. A aplicação destes produtos sobre as superfícies a tratar é feita com a utilização de pulverizadores, rolos, pincéis ou trinchas e devem obedecer às recomendações indicadas pelo fabricante do produto utilizado.

---

**d5(2) Aplicação de camada de ligantes sintéticos**

Quando o estado do revestimento dos paramentos, quer interiores quer exteriores, está bastante comprometido, não permitindo o tratamento com a aplicação de hidrófugo de superfície, pode-se tratar a parede com o uso de ligantes sintéticos.

O uso deste tipo de intervenção deve ser feito após tratamento prévio do suporte; este deve ser bem limpo, sendo removido todo o material que possa prejudicar a boa aplicação do tratamento. Após esta limpeza, deve-se aplicar uma demão de um primário, recomendado pelo fabricante ou compatível com o produto curativo. O material sintético deve ser aplicado num número de demãos e da forma recomendada pelo fabricante, além de obedecer ao consumo mínimo indicado. No caso de paredes com fendas com dimensões menores que 0,2mm e acima destas dimensões, as quais não se tem garantia da estabilidade da construção, deve-se inserir na camada protetora uma armadura capaz de resistir aos possíveis esforços determinados pelos movimentos da edificação; esta armadura pode ser um feltro ou tela de poliéster ou fibra de vidro e deverá ficar localizada entre a primeira e a segunda demãos. Já no caso específico das fendas com dimensões maiores que 0,2 mm, além da limpeza cuidadosa da superfície a ser tratada, deve-se proceder, com o emprego de um disco de corte, a um alargamento da fenda. Em seguida, limpa-se bem esta zona, aplica-se um produto primário e posteriormente preenche-se a fenda com um cordão de mastique compatível com a camada curativa. Sobre este cordão recomenda-se o uso de uma fita adesiva com malha quadrada com 4 mm de lado para reforçar a resistência aos possíveis movimentos da construção e, também, a perfeita aderência da camada protetora a ser aplicada, recobrando toda a superfície da parede. Esta camada protetora deve ser como a anteriormente descrita, ou seja, obedecendo às recomendações do fabricante e devidamente armada.

**d5(3) Camada protetora exterior com elementos descontínuos**

Nos casos de patologia muito acentuada onde as ações interventoras anteriormente descritas não produzam os resultados pretendidos, pode-se utilizar uma proteção exterior que impeça a penetração da umidade e, ao mesmo tempo, forneça um acabamento mais duradouro à estrutura afetada. Esta proteção é constituída pela aplicação de uma camada exterior de elementos descontínuos. Esta camada é suportada por uma estrutura de madeira ou metal que,

fixada à superfície da parede, serve de base aos elementos de fechamento a serem usados. Podem-se utilizar como elementos descontínuos placas de fibrocimento, de metal, de pedra, de materiais cerâmicos e placas de madeira. No caso de se utilizar a madeira como estrutura de suporte, deve-se ter o cuidado de trabalhar com produto imunizado e de boa resistência à umidade, pois esta estrutura ficará em contato com a umidade da parede e em zona com ventilação reduzida, podendo sofrer deterioração em um tempo bastante curto, o que poderá prejudicar o sistema. Quando a estrutura de suporte é metálica, deve-se optar por materiais de baixa corrosão ou tratados para suportar as reações derivadas das oxidações dos metais, donde os parafusos usados, tanto para as estruturas em madeira, bem como para as estruturas metálicas, devem também resistir às ações corrosivas. Os materiais de revestimento descontínuos devem ser colocados sobre a estrutura de base de forma que haja um não alinhamento vertical entre as juntas formadas por duas fiadas horizontais consecutivas e uma sobreposição entre uma fiada e outra, evitando assim, a possível penetração da água da chuva e permitindo a ventilação do espaço determinado entre a parede e a camada protetora. Esta ventilação acaba por melhorar as condições de secagem, reduz as ações oxidantes e determina uma melhoria das características térmicas, minimizando as condensações. Em praticamente todos os casos em que se utilizar este tipo de tratamento, pode-se complementá-lo com o uso de uma camada de isolante térmico, buscando assim, uma efetiva redução da ação das condensações. Nestes casos, deve-se observar a continuidade da camada isoladora, evitando assim as pontes térmicas e as zonas de manifestação patológica. Deve-se observar também o remate com os elementos projetados horizontalmente, que saem da linha vertical da construção, ou seja, peitoris das esquadrias, platibandas, etc., para que o encontro com estas zonas não comprometa a qualidade da proteção e não interfira negativamente nas características construtivas.

Este tipo de intervenção acaba por determinar novas características estéticas à construção, o que, muitas vezes, compromete a proposta arquitetônica original. Portanto, deve ser bem estudado e projetado de forma a causar a menor descaracterização do edifício. É um tratamento recomendado, geralmente, para prédios industriais e comerciais, onde, de um modo geral, se pode intervir com maior liberdade sem um prejuízo maior da qualidade visual da construção, podendo, em função do acabamento desejado, receber ou não finalização em pintura.

---

**d6) Tratamento das paredes sujeitas à ação de condensações**

Conforme anteriormente descrito, as condensações de vapor de água sobre os paramentos ou no interior das paredes dos edifícios constituem uma das formas mais comuns de manifestação de umidade nas construções. Para se tratarem as construções que apresentam umidade derivada desta manifestação pode-se atuar de forma a criar condições para amenizar as trocas térmicas. Para tal, o condicionamento do ambiente é um procedimento bastante eficaz, pois mantém um melhor equilíbrio entre as faces exterior e interior das paredes, evitando assim o resfriamento no interior e, principalmente, da superfície interna da parede, diminuindo consideravelmente a formação de condensações. Este tipo de tratamento é conseguido com o reforço no isolamento térmico das paredes do edifício, pela face exterior ou interior.

**d6(1) Aplicação de isolante térmico na caixa de ar formada pela parede e o fechamento descontínuo**

O tratamento da face exterior da parede da construção é obtido basicamente da mesma forma que a aplicada para a proteção das paredes contra as infiltrações da chuva, onde é executado um revestimento de elementos descontínuos [vd. d5(3)].

Este tipo de intervenção deve ter uma aplicação bem conduzida para que haja uma boa proteção da parede protegida. Primeiramente se deve limpar a superfície a ser tratada, removendo sujidades, tintas e rebocos soltos. No caso de zonas que apresentem uma acentuada deterioração, esta deverá ser totalmente retirada e reconstituída, ficando assim a superfície plana e contínua. Sobre esta superfície aplica-se, em toda a sua extensão e sem falhas de continuidade, a camada de isolamento térmico, que pode ser constituída, entre outras, por placas de poliestireno expandido moldado (EPS), placas de poliestireno expandido extrudido (XPS) e placas de lã mineral (lã de vidro ou lã de rocha). Esta camada, sendo constituída por EPS, pode ser fixada com cola especial, que não reaja quimicamente com o material isolante; já no caso das lãs minerais, a fixação será obtida pelo uso de fixadores mecânicos (grampos, pregos ou parafusos). Esta última forma de fixação pode determinar pontes térmicas no isolamento, porém, com valores não significativos, os quais podem ser desconsiderados. Portanto, o tipo de fixação será regido, conforme acima descrito, pelo material constituinte da

camada isolante. Após esta etapa, procede-se como na aplicação de uma camada protetora com elementos descontínuos, ou seja: executa-se a estrutura de suporte de madeira ou de metal, donde as madeiras deverão ser devidamente tratadas e os metais protegidos contra a corrosão, e sobre esta, coloca-se o material de fechamento, o qual pode ser de madeira, de fibrocimento ou de metal, podendo ou não ser pintado, conforme o previsto no estudo, de forma a interferir o menos possível nas características originais da arquitetura do edifício. O espaçamento mínimo entre as placas de fechamento e a camada isolante deve ser de 2 cm, o que contribui para uma ventilação do vão e melhora as características térmicas do conjunto.

#### **d6(2) Aplicação de isolante térmico exterior com acabamento superficial por revestimento delgado**

Pode-se tratar externamente o edifício buscando um maior equilíbrio térmico e a conseqüente diminuição das condensações com a utilização de isolante térmico aplicado sobre as paredes, onde a própria camada de isolante constitui a base ao acabamento final da intervenção. Recomenda-se, para esta intervenção, a aplicação da camada isolante em EPS, conforme descrito acima [vd. d6(1)] donde o acabamento superficial será constituído pelas seguintes etapas:

- sobre a camada isolante é aplicada, com desempenadeira metálica, uma demão de base do revestimento, constituída por uma massa que não agrida o isolante térmico empregado;
- enquanto esta demão ainda estiver fresca, aplica-se uma armadura de rede de fibra de vidro, com malha de 4mm, o que fornecerá maior resistência mecânica e homogeneidade ao conjunto. O objetivo desta armadura é propiciar resistência aos esforços de retração, aos movimentos determinados por variações térmicas superficiais. A armadura de fibra de vidro deve ser colocada de forma que haja uma continuidade e, nas emendas, deve ter uma sobreposição mínima de 10 cm e nos cantos da parede, internos e externos, deverá contorná-los e cobri-los com uma extensão mínima de 20 cm. Esta armadura deverá também fazer parte coesa do conjunto; para tal, com a demão de base ainda fresca e a rede (armadura) colocada,

passa-se novamente a desempenadeira metálica sobre a rede, o que acaba por determinar a sua penetração nesta demão;

- sobre a armadura, já solidária à demão de base, aplica-se uma segunda demão, a qual deve cobrir por completo a rede de fibra de vidro, sendo que a massa desta demão tem constituição e aplicação iguais às da demão anterior;
- a camada de base constitui a proteção mecânica do isolamento térmico e deverá ser protegida das intempéries pela aplicação do revestimento de proteção delgado, devendo ser finalizada por pintura de qualidade, preferencialmente de cor clara, refletindo assim os raios solares e amenizando as variações térmicas e, conseqüentemente, as variações dimensionais.
- nos cantos externos das paredes deve-se aplicar uma cantoneira de proteção, para reforço dessas zonas;
- no caso de áreas acessíveis ao contato humano, onde a ocorrência de choques acidentais ou por vandalismo possam afetar o conjunto, recomenda-se utilizar uma proteção mecânica constituída por três demãos de base e duas redes de fibra de vidro, donde a primeira rede é menos resistente e de menor espessura que a segunda e deve ser colocada de forma a garantir a sobreposição e a continuidade da mesma; o que não é possível com a segunda rede, por ser esta mais espessa. Portanto, a continuidade da armadura é assegurada pela primeira rede, de espessura normal. Pode-se ter uma inversão no posicionamento das redes, sendo a de maior espessura e resistência aplicada em primeiro; porém, mesmo com a ordem invertida, a garantia de continuidade será dada pela rede menos espessa e de menor resistência mecânica.

### **d6(3) Reforço das características térmicas do edifício pela utilização de isolante térmico nas faces internas das paredes da construção**

Como citado anteriormente, podem-se reforçar as características térmicas do edifício com o tratamento das faces internas de suas paredes. Este tipo de intervenção permite uma ação recuperadora de dupla função, pois, ao mesmo tempo em que há a melhoria do isolamento térmico do edifício, recuperam-se pela ocultação as paredes afetadas por outras anomalias, como a umidade e as manifestações de sais. Porém, apresenta alguns

inconvenientes, que muitas vezes acabam por inviabilizar a sua utilização. Entre estes, os mais relevantes são:

- dificuldade de execução em prédios habitados, pois causam um transtorno bastante importante na vida dos utentes;
- isolamento térmico incompleto, pois algumas zonas, como a interseção das paredes internas com as paredes externas, ficarão sem tratamento, permitindo nestas áreas a formação de pontes térmicas, o que torna o procedimento passível de falhas;
- dificuldade nos remates com os vãos de esquadrias, tetos, rodapés, instalações elétricas e hidráulicas;
- redução da área dos compartimentos tratados.

Os procedimentos mais utilizados nesta operação de melhoria das características térmicas dos edifícios são a execução de contrafachadas de madeira e gesso cartonado, aplicadas sobre a parede, deixando uma caixa de ar, a qual recebe uma camada de isolante térmico e, caso haja possibilidades de ocupação de uma maior área, sem prejuízo ocupacional do compartimento, se pode, também, construir uma segunda parede de alvenaria, deixando a devida caixa de ar, a qual poderá ser preenchida por material isolante, melhorando, ainda mais, as características térmicas da superfície tratada.

No primeiro procedimento, contrafachadas de madeira ou gesso cartonado, atualmente, o material mais utilizado é o gesso cartonado, por apresentar melhores características de trabalhabilidade, durabilidade e estética. Este tipo de intervenção é bastante semelhante àquele utilizado para a simples ocultação das anomalias, tendo como diferencial a utilização da camada isolante, a qual ocupa a caixa de ar determinada pela contrafachada; donde as etapas deste procedimento são as seguintes:

- limpeza e regularização da superfície da parede;
- fixação (colagem ou mecânica), na superfície interna do paramento, da camada isolante (EPS ou lãs minerais);
- sobre esta camada de isolamento térmico, fixa-se uma estrutura de régua vertical de madeira ou metal, donde as madeiras serão devidamente tratadas contra as ações de deterioração bem como os metais, os quais serão protegidos contra a corrosão.

Dever-se-á deixar um espaçamento entre as réguas, compatível com as dimensões das placas de gesso e a sua espessura deverá permitir um afastamento mínimo de 2 cm entre a camada de isolamento térmico e as placas de gesso cartonado. As placas serão devidamente aparafusadas nos suportes e terão as juntas entre as placas tratadas com o uso de uma tela de bandagem adesiva, a qual será posteriormente revestida com uma massa plástica, assim como as cabeças dos parafusos, de forma a dar uma continuidade visual ao sistema.

No segundo procedimento, donde se podem melhorar as características térmicas da construção pelo uso de uma contrafachada de alvenaria de tijolo, dobra-se a parede de fachada pelo lado interior e deixa-se igualmente uma caixa de ar que permita a colocação da camada isolante e mantenha um espaçamento de no mínimo 3 cm entre a nova parede e o isolante térmico. O procedimento desta intervenção é semelhante ao anterior e obedece às seguintes etapas:

- limpeza e regularização da superfície da parede;
- fixação (colagem ou mecânica), na superfície interna do paramento, da camada isolante (EPS ou lãs minerais);
- execução de uma parede de contrafachada de tijolo furado; a qual, no piso térreo, deverá ter a base devidamente impermeabilizada, evitando assim as ascensões capilares da umidade do solo. O afastamento entre a parede de contrafachada e a camada isolante, assim como no primeiro procedimento, deverá ser mantido numa distância mínima de 3 cm e dever-se-á ter o cuidado de não deixar argamassa de assentamento saliente, de forma a não contactar a superfície isolante e evitar pontes térmicas. Na base entre os dois panos deve-se deixar um coletor capaz de recolher e conduzir para o exterior as eventuais águas de condensações que podem se manifestar entre eles. Deve-se ter um cuidado especial nos remates com as esquadrias, as redes de eletricidade e hidráulica. O acabamento final da contrafachada será dado com o uso de revestimento de argamassa de reboco e posteriormente tratada com tintas adequadas ao uso.

### e) **Eliminação das causas das anomalias**

Este tipo de atitude interventora é, com certeza, o procedimento mais indicado e de melhor eficácia quando a intenção recuperadora é a aplicação de uma solução definitiva. Porém, esta atitude requer uma investigação detalhada do problema, onde se deve buscar conhecer profundamente as suas causas, seus efeitos e o tratamento mais adequado. Muitas vezes, se fica impedido de atuar dentro desta perspectiva, quer por fatores técnicos, quer por fatores financeiros.

Os procedimentos mais significativos dentro deste tipo de intervenção são:

- quando a umidade é proveniente da ascensão capilar da água do solo, em paredes térreas ou enterradas, busca-se a eliminação das fontes de água;
- nos ambientes sujeitos a condensações superficiais, quer pela função pré-determinada em projeto, quer pelo uso inadequado da edificação, deve buscar-se a melhoria das condições termo-higrométricas, evitando ou minimizando assim a formação destas condensações. Este tratamento pode ser obtido pela melhoria da ventilação dos ambientes afetados (vd.3.2.d), pelo aumento da temperatura ambiente e pelo reforço do isolamento térmico dos elementos da envolvente exterior em cujos paramentos ocorrem as referidas condensações;
- proteção do exterior do edifício contra a água que pode atingir seus paramentos, quer pela ação direta da chuva e do vento sobre as faces das paredes, quer por falhas nas coberturas, tubulações ou erros construtivos (vd. 3.2.b), 3.2.c) e 3.2.f)).

Conforme indicado acima, neste item apresentam-se apenas as intervenções que visam eliminar as fontes de umidade, visto que o reforço da ventilação dos ambientes será apresentado no item a seguir, enquanto a melhoria das condições térmicas e a proteção dos paramentos exteriores contra a ação da chuva já foram desenvolvidas no item 3.2.c).

Dentre os procedimentos para eliminação das causas das anomalias, os mais importantes são:

- secagem da fonte de alimentação da água;
- tratamento superficial do terreno;

- rebaixamento do nível do lençol freático;
- drenagem do terreno.

### **e1) Secagem da fonte de alimentação da água**

A secagem da fonte de água, em não se tratando de lençol freático, é um procedimento eficaz e, na maioria das vezes, de fácil identificação e solução. Os problemas encontrados são provenientes de pequenos erros de projeto, construtivos e de uso, e que acabam por contaminar gravosamente as paredes do edifício.

Entre as falhas mais comuns tem-se a inexistência de coletores e condutores pluviais incorporados à edificação, o que acaba por largar livremente a água da chuva sobre o solo, contribuindo para a sua saturação, donde parte dessa água poderá contatar e umedecer a construção. Outros problemas freqüentes são causados por jardins mal posicionados (localizados juntos a edificação), os quais acabam por atuarem como áreas absorventes, bem como por tubulações rompidas, de água e esgoto. A simples identificação destas anomalias e as suas soluções acabam por eliminar ou minimizar a fonte de contribuição da água que prejudica a edificação, solucionando o problema instalado.

### **e2) Tratamento superficial do terreno**

Muitas vezes por um descuido construtivo, pelo próprio assentamento do solo ou pela implantação de edifícios em terrenos com natural declive, acaba-se por ter o terreno que envolve a construção com caimentos direcionados às paredes do edifício, fazendo com que as águas que contatem a superfície do solo caminhem na direção da construção e encontrem, como barreira contentora, as próprias paredes, transferindo a estas paredes quantidades de água suficientes para causar umidade e outras anomalias.

Por outro lado, o uso inadequado das áreas exteriores, principalmente a complementação de aterros em jardins, acaba por modificar a superfície do terreno e pode, de muitas maneiras, reter a água superficial junto a base dos paramentos, contribuindo de forma danosa para a instalação ou acréscimo de anomalias geradas pela presença de umidade.

Após a identificação prévia do problema instalado, pode-se atuar na sua correção. Nos casos de descuido construtivo e/ou assentamento do solo, pode-se atuar na sua correção, quer

pela retirada de solo que esteja acima do nível previsto quer por compactação do terreno e/ou reaterro (havendo altura viável). No caso específico edifícios construídos em terrenos com desnível natural, devem-se planejar, ainda na fase do projeto, em procedimentos de proteção, quer por impermeabilização e/ou drenagem superficial do terreno quer pela adoção de valas drenantes em zonas pré-determinadas.

### **e3) Rebaixamento do nível do lençol freático**

O rebaixamento do nível do lençol freático é um procedimento que requer o perfeito conhecimento da fonte de água, ficando sua utilização restrita a apenas este tipo de manifestação, pois a presença de água superficial não condiz com esta intervenção. É uma alternativa dispendiosa e que leva a alterações no solo, podendo, em função da acomodação deste, determinar outras anomalias como a instabilidade estrutural do edifício, gerando o aparecimento de fendilhações. Para se conseguir reduzir o nível freático para valores que não mais interfiram na construção, precisa-se chegar ao lençol pelo uso de perfurações e poços e captar parte da água contida por meio de drenos ou pontos de aspiração, geralmente mecânicos, e conduzi-la a um esgoto que libere o local da presença desta água indesejada.

### **e4) Drenagem do terreno**

Em se tratando de solos muito impermeáveis, donde a água superficial acabe por ficar retida por mais tempo junto às paredes e/ou as fundações da construção; o que pode determinar anomalias derivadas da ação da água (umidade), se pode utilizar, para afastar ou minimizar as águas retidas, a construção de drenos, que tem por objetivo a recolha e a condução destas águas, evitando assim a contaminação do edifício. Os drenos podem ser constituídos por uma rede de tubulações horizontais, colocadas abaixo da superfície do solo. Estas tubulações podem ser providas de vários furos que captam a água que vai saturando o solo e, em função de um declive previamente determinado, a conduz para longe da edificação. Também se podem utilizar tubos com paredes muito porosas, que permitem a penetração da água que satura o solo e a conduz para zonas pré-determinadas, além de drenos constituídos por troços de tubulações que mantenham as juntas abertas, por onde a água penetra e, devido à declividade projetada, é afastada da zona desejada.

Pode-se, também, recolher a água que fica retida na superfície em valas periféricas, que impedem, no caso da profundidade da água que penetra no solo ser inferior à profundidade mínima das fundações, principalmente, o contato da água com as paredes eliminando-a num sistema de esgotos. Existem casos em que parte da água percola e parte fica retida na superfície; nesta situação é recomendada a utilização de declividades na superfície do terreno, as quais irão conduzir, mais eficientemente, as águas da superfície até as valas periféricas; produzindo assim, em conjunto um sistema mais eficiente de tratamento.

A execução da drenagem por valas periféricas exteriores às paredes dos edifícios é uma intervenção que resulta bastante positiva, podendo ser executadas junto às faces da construção ou, havendo necessidade e possibilidade de espaços físicos, afastados alguns metros destas zonas. Constitui-se basicamente em dois tipos de execução: Valas periféricas com e sem enchimento.

#### **e4(1) Valas periféricas sem enchimento**

As valas periféricas sem enchimento são recomendadas para as situações em que a intervenção para eliminar o contato da água com a construção fica situada junto à parede e à respectiva fundação, permitindo assim uma zona de ventilação e secagem mais eficiente, pois, não havendo material de enchimento da vala, que dificultaria a eliminação da água que contata a parede e a sua fundação, não há retenção de umidade junto às paredes da vala. Para tal, estas superfícies devem ficar descobertas ou revestidas com materiais que permitam a eliminação do vapor de água.

Deve-se ter o cuidado de executar valas com largura suficiente, no mínimo 0,30 m, para permitir a ventilação. As paredes da vala devem ser portantes e a profundidade deve condizer com a altura da zona afetada, nunca ultrapassando a cota da fundação para não afetar a estabilidade da construção. A parte superior da vala deve ser protegida de forma a permitir a ventilação e impedir o seu soterramento; para tal, utilizam-se grades de proteção. Estas grades propiciam uma eficiente ventilação e, dependendo da posição solar da zona tratada, uma insolação no interior da vala; o que, efetivamente, contribui para a renovação do ar e secagem mais eficiente da água retida na vala. Existem casos que não é possível aproveitar as radiações solares e/ou não existe espaço físico que possibilite o dimensionamento adequado da vala; nestas situações, recomenda-se a construção de pontos de tiragem do ar contido na vala, por

meio da construção estratégica de dutos de ventilação (chaminés), que não agridam esteticamente a construção, ou do aproveitamento de algum duto existente e que sirva à solução do problema.

No fundo da vala deve-se ter um pavimento que recolha a água eliminada da construção e, também, a água da chuva que penetra pelas grades de ventilação. Este pavimento deve ser devidamente impermeabilizado e com declive suficiente para o escoamento, evitando assim a retenção e percolação da água, e o seu prejudicial retorno à construção.

#### **e4(2) Valas periféricas com enchimento**

Este tipo de vala é construído de forma semelhante às valas sem enchimento e pode ser executado junto à construção ou afastado dela, sabendo-se que o enchimento da vala, quando esta for executada junto à construção e, conseqüentemente, junto à zona afetada, pode determinar os problemas anteriormente mencionados em e4(1); ou seja, dificultaria a eliminação da água retida e manteria a face de contato com a parede por mais tempo umedecida, o que poderia ocasionar prováveis anomalias na edificação. O enchimento utilizado deve ser incoerente e dividido em camadas, variando e diminuindo a sua granulometria de baixo para cima. O acabamento superior da vala é obtido, na maioria das vezes, pela última camada de material de enchimento, geralmente uma areia grossa ou pedregulho (pedras soltas). Em alguns casos, verifica-se que acima desta última camada é colocado um leito de terra vegetal com relvado; porém esta não é uma solução recomendável pelo fato de esconder a posição da vala e dificultar a recolha da água superficial.

No fundo da vala podem-se utilizar tubulações com as características mencionadas anteriormente (vd. e4), devidamente dimensionadas e com declividades que permitam a captura e a condução da água retida na vala para um sistema de esgoto. O piso da vala deve ter uma característica impermeável e uma inclinação dirigida aos locais de recolha e escoamento; o que, muitas vezes (quando não são empregadas tubulações no fundo da vala), constitui a única forma de eliminação da água retida, proveniente da chuva e/ou eliminada pela construção.

A profundidade da vala deve ser compatível com a zona afetada e, no caso de valas afastadas da edificação, é variável em função do tipo de solo onde está implantada a edificação. Para solos argilosos, geralmente bastante impermeáveis, recomenda-se uma

profundidade máxima que seja determinada por uma reta que una a base da fundação da construção com o fundo da vala a ser construída, não devendo a pendente dessa reta exceder 30°. Para valas construídas em terrenos arenosos, esta pendente deve ser de, no máximo, 15°.

O espaçamento entre a construção e a vala é variável, dependendo do espaço físico existente, mas não deve ser maior do que 1,50 m a 2,00 m. Recomenda-se, por outro lado, tratar a superfície do terreno nessa zona, de modo a não reter nem absorver água; para tal, deve ser inclinada em direção à vala e devidamente vedada à penetração da água superficial.

#### **f) Reforço das características funcionais**

Esta intervenção tem por objetivo a melhoria do funcionamento das características do edifício, como, por exemplo, a melhoria do isolamento térmico dos elementos da respectiva envolvente exteriores, bem como das condições de ventilação e da temperatura dos ambientes, reduzindo assim o risco de condensações superficiais e internas nesses elementos.

Pode-se atuar também na proteção exterior dos paramentos externos da construção; permitindo assim uma maior resistência à penetração das águas que podem atingir o edifício, principalmente, a ação da água da chuva.

Os procedimentos acima mencionados são constituídos por soluções apropriadas a cada tipo de fonte provocadora da manifestação de umidade. Estas soluções devem ser avaliadas e aplicadas em função do pleno conhecimento dos fatores que contribuem para a ocorrência das umidades. Muitas vezes, a metodologia de reparação aplicada a um tipo de causa, acaba por tornar-se ineficiente e, até mesmo, agravante da patologia, devido ao fato do não conhecimento pleno das fontes umedecedoras. Como exemplo, pode-se mencionar uma parede afetada por umidade ascendente do solo e ao mesmo tempo por umidade proveniente de fendilhação, da porosidade do reboco, de esquadrias mal vedadas, de infiltrações na cobertura ou do rompimento de canalizações. Ao se conhecer um ou mais destes fatores, parte-se, de imediato, para a solução do problema; geralmente utilizando como metodologia de recuperação os procedimentos relacionados às causas de mais fácil identificação. Se o caso é, como exemplo, a infiltração da chuva pelo revestimento poroso, devem-se melhorar as características protetoras deste revestimento e aplicar técnicas e materiais que aumentem a sua impermeabilidade, impedindo assim a penetração da água. Se o fator gerador da umidade é apenas este, o problema estará solucionado. Porém, no caso de haver também a ascensão

capilar da água do solo, a manifestação de umidade detectada na parede é, na verdade, um somatório destas duas fontes influentes (águas da chuva e do solo), as quais acabam por manifestar na base do paramento, ao nível do pavimento térreo, uma mancha de umidade que leva a uma investigação do problema. O simples tratamento de eliminação da penetração da chuva por impermeabilização do paramento exterior da parede acaba por impedir que a água do solo, ascendendo por capilaridade, possa chegar à superfície da alvenaria, onde ocorreria a sua secagem. Esta contenção da evaporação da água ascendente faz com que aumente a altura da manifestação de umidade, além da possibilidade de crescer na face interna das paredes externamente tratadas a manifestação de umidade.

Portanto, a investigação e o conhecimento das possíveis fontes de umidade é de real valor para uma intervenção apropriada e que responda positivamente a plena recuperação do edifício afetado por esta patologia.

O reforço das características funcionais do edifício pode ser obtido conforme se segue:

- reforço da ventilação dos ambientes da edificação;
- elevação da temperatura do ar interior dos ambientes, determinando uma secagem mais eficiente das superfícies, antes destas receberem o acabamento final; evitando assim, o possível aprisionamento de umidade ainda existente;
- diminuição da taxa de umidade relativa do ar dos ambientes.

### **f1) Reforço da ventilação dos ambientes**

A aplicação deste procedimento em condições climáticas favoráveis, ou seja, com baixa umidade relativa do ar, constitui método bastante eficaz, simples e econômico. A simples manutenção de esquadrias abertas permite a formação de canais de circulação de ar seco que irão contactar as superfícies umedecidas determinando a sua secagem. Devem-se observar as mudanças climáticas, pois com a diminuição da temperatura no exterior do edifício, tem-se a redução da quantidade de umidade no ar, o que é importante para eliminar a umidade relativa do interior dos compartimentos. Porém, em condições de inverno, por uma questão de conforto térmico, as aberturas são mantidas quase sempre fechadas, impedindo assim a renovação do ar e o conseqüente aumento da umidade interna da edificação. Em obras inacabadas, para facilitar a secagem externa das paredes exteriores, deve-se ter o cuidado em

mantê-las desobstruídas, ou seja, não deixá-las cobertas por entulhos, chapas de madeira ou metal, que impeçam a ventilação e a insolação de suas faces, e dificultem a eliminação da umidade da parede, principalmente nos paramentos voltados à orientação sul, mais prejudicados na região sul do Brasil e, em função da elevada taxa de umidade relativa do ar, na cidade de Pelotas.

## **f2) Elevação da temperatura interior dos ambientes da edificação**

Quando a fase final da construção, principalmente a da aplicação dos revestimentos por pintura, coincidir com períodos de elevada umidade relativa do ar, donde a simples ventilação dos ambientes (compartimentos) é insuficiente para produzir a eliminação da água retida nos paramentos e, conseqüentemente, a secagem das superfícies a serem acabadas, necessita-se reforçar este processo; para tal, pode-se valer do uso de equipamentos de aquecimento que produzam uma elevação da temperatura no interior do compartimento e esta temperatura mais elevada deverá ser conjugada com uma eficiente ventilação do local, permitindo assim a renovação e o varrimento do ar sobre as superfícies a serem secadas. Preferencialmente, devem-se utilizar equipamentos elétricos para o processo de secagem, por não liberarem resíduos de combustão, principalmente vapor de água, que se liberta na queima da maioria dos combustíveis; muitos prejudiciais à própria secagem, podendo agregar mais umidade, no caso de equipamentos que utilizam o gás butano, ou partículas sólidas, quando é feita no local a queima de carvão mineral ou vegetal; pode-se, portanto, estar introduzindo, pelo contato superficial, elementos que irão reagir com a umidade e gerar formações salinas.

## **f3) Diminuição da taxa de umidade relativa do ar do interior dos ambientes da edificação**

Este procedimento exige a utilização de equipamentos específicos para a desumidificação do ar. Os aparelhos desumidificadores possuem custo elevado e precisam ser acompanhados de aquecedores para que haja a elevação da temperatura do ambiente tratado, o que torna o processo oneroso e pouco utilizado. Para se utilizar este método de secagem é necessário ser aplicado o binômio, aumento da temperatura-redução da taxa de umidade do ar, e mantem-se os ambientes tratados fechados para o exterior e comunicáveis entre si, até que haja o equilíbrio térmico dos compartimentos. Existem no mercado alguns equipamentos

desumidificadores que são ao mesmo tempo aquecedores; porém, o seu alto custo, torna-os inviáveis para o uso para esta finalidade.

### 3.4.3 – Análise crítica

Os produtos e as técnicas de reparação, inventariados e descritos, caracterizam-se basicamente por indicar soluções bastante direcionadas; algumas são específicas para a resolução pontual da anomalia identificada. Desta forma, estes procedimentos de reparação acabam por tornarem-se mais eficientes, pois se direcionam para os problemas diagnosticados numa dada construção.

Verifica-se que os fabricantes, embora cumpram todas as recomendações técnicas de aplicação e consumo, indicam uma garantia máxima de cinco anos no produto utilizado. Isto demonstra que o material vai, ao longo do tempo, perdendo as características funcionais protetoras, quer por envelhecimento dos constituintes, quer por agressão da umidade, dos sais ou das reações conjuntas que afetam as áreas recuperadas. Portanto, esta reduzida durabilidade acaba por intervir diretamente na efetivação da recuperação do edifício afetado pelas anomalias de umidade e/ou eflorescências e criptoflorescências. Sabe-se que este tipo de intervenção determina, muitas vezes, um período de desconforto aos utentes ou, até mesmo, a interdição da edificação; pois, trata-se de um processo que pode dificultar por um tempo mais ou menos longo o bom uso dos espaços utilizados, além, é claro, do custo elevado de muitas destas intervenções.

Verifica-se também que, na maioria das vezes, o tratamento aplicado visa a imediata solução do aspecto estético, deixando de lado a busca das causas, dos efeitos e, principalmente, das técnicas mais adequadas de recuperação, devido, em grande parte, à falta de conhecimento e à inexistência de normas técnicas sobre o assunto, às formas tradicionais e equivocadas de tratar este tipo de patologia e aos altos custos que alguns processos determinam, pois utilizam procedimentos, materiais e equipamentos que inviabilizam economicamente a sua aplicação, não garantindo, na maioria das recuperações, uma solução definitiva à anomalia identificada.

Como visto anteriormente, a patologia dos edifícios, determinada pela presença de umidade e sais, é quase sempre a reação da construção a um somatório de causas; raramente é oriunda de uma única fonte. Portanto, tanto os materiais disponíveis como as técnicas de

recuperação, em sua grande maioria, acabam por efetivar um procedimento direcionado a causas e reações pontuais, deixando assim que outras manifestações continuem atuantes, o que gera, muitas vezes, um tratamento ineficiente e oneroso.

#### **3.4.4 – Campo de aplicação e limitações**

Conforme mencionado em 3.4.1 e 3.4.2, onde são levantados, descritos e analisados os produtos e os processos utilizados para o tratamento de edifícios afetados pela umidade e por sais, o campo de aplicação dos métodos de tratamento é restrito às características destas manifestações e aos produtos e técnicas disponíveis. Há no entanto fatores determinantes que condicionam ou dificultam a escolha dos métodos mais apropriados: a falta de conhecimento técnico e científico, a adoção de métodos tradicionais de recuperação de reduzida eficiência, e a busca de soluções rápidas, de baixo custo e que sejam compatíveis com a manutenção do edifício em funcionamento.

A aplicação de procedimentos que visem a identificação correta do problema, com o pleno conhecimento das causas e dos efeitos e que indiquem as melhores soluções de intervenção, acaba, muitas vezes por se tornar inviável. Com efeito, pois a grande maioria das construções afetadas pela manifestação patológica determinada pela presença de umidade e sais possui características próprias, como o espaço físico ocupado pelo edifício no terreno, a sua compartimentação, os materiais e técnicas construtivas utilizadas e as características arquitetônicas. Estas características, a que se somam fatores de ordem econômica, entre outros, contribuem para a tomada de decisões que, muitas vezes, impedem a indicação de um processo de recuperação adequado e levam a soluções impróprias à plena recuperação das zonas afetadas do edifício.

**BIBLIOGRAFIA DO CAPÍTULO 3**

- [3.1] - 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, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, CPGEC – LEME, Porto Alegre, 1995.
- [3.2] - ARNOLD, A., ZEHNDER, K. – *Decay of stony materials by salts on humid atmosphere*. Zurich, Switzerland: Institut für Denkmalpflege der Eidgenössischen Technischen Ochschole, s/d.
- [3.3] - ARNOLD, A. - *Behaviour of some soluble salts in stone deterioration*. Zurich, Switzerland: Institute für Denkmalpflege der Eidgenössischen Technischen Ochschole, s/d.
- [3.4] - ASSOCIATION FRANÇAISE DE NORMALISATION – *Produits de carrières. Pierres calcaires. Mésure de l'absorption d'eau par capillarité*. Paris: AFNOR, Mai 1980.
- [3.5] - ASSOCIATION POUR L'ÉTUDE DE LA PATHOLOGIE ET L'ENTRETIEN DU BÂTIMENT (APEBAT) – *Les condensations superficielles intérieures sur les murs de façade*. Paris: Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (CSTB), 1980.
- [3.6] - CENTRE D'ASSISTANCE TECHNIQUE ET DE DOCUMENTATION DU BÂTIMENT ET DES TRAVAUX PUBLICS (CATED) – *Les efflorescences*. Paris: CATED, juin 1967. Note Technique 93.
- [3.7] - CENTRE D'ASSISTANCE TECHNIQUE ET DE DOCUMENTATION DU BÂTIMENT ET DES TRAVAUX PUBLICS (CATED) – *Migrations d'eau – notions de base*. Paris: CATED, février 1965. Note Technique 70.
- [3.8] - 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. Note Technique 88.
- [3.9] - CENTRE D'ASSISTANCE TECHNIQUE ET DE DOCUMENTATION DU BÂTIMENT ET DES TRAVAUX PUBLICS (CATED) – *Migrations d'eau – condensations*. Paris: CATED, novembre 1965. Note Technique 73.

- [3.10] - CENTRE D'ASSISTANCE TECHNIQUE ET DE DOCUMENTATION DU BÂTIMENT ET DES TRAVAUX PUBLICS (CATED) – *Migrations d'eau – porosité et perméabilité dans le bâtiment*. Paris: CATED, janvier 1967, Note Technique 84.
- [3.11] - 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.
- [3.12] - FREITAS, Vasco Peixoto de – *Influence of the vapour permeability of paintings and the hygroscopicity of the internal coating on the hygrothermal behaviour of walls*. Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 1998.
- [3.13] - FREITAS, Vasco Peixoto de – *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.
- [3.14] - HENRIQUES, F. A. – *A conservação do património histórico edificado*. Lisboa: LNEC, 1991. Memória 775.
- [3.15] - HENRIQUES, F.A. – *Humidade em paredes*. Lisboa: LNEC, 1994. Coleção Edifícios CED 1.
- [3.16] - LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL - *Curso de especialização sobre revestimentos de paredes - 1º Módulo*. Lisboa: LNEC, 1990.
- [3.17] - OLIVEIRA, Carlos R.; FREITAS, Vasco Peixoto de - *Importância da permeabilidade ao vapor de água das pinturas exteriores*. Encontro Materiais de Construção, Lisboa, ISMAG, 1997.
- [3.18] - OLIVEIRA, Mário Mendonça de – *Tecnologia da conservação e da restauração*. Salvador..... Mestrado em Arquitetura e Urbanismo da UFBA, PNUD, UNESCO, 1995.
- [3.19] - MORA, Paolo and Laura; PHILIPPOT, Paul – *Conservation of wall paintings*. London, 1984.
- [3.20] - PAIVA, J. V; CARVALHO, E. Consuelo; SILVA, A.Cavaleiro – *Patologia da Construção*, in “1º ENCONTRO sobre conservação e reabilitação de edifícios de habitação”, Lisboa, LNEC, 1985. Documento introdutório do Tema 3.

- [3.21] - PAIVA, J. V. – *Humidade nas edificações*. Lisboa, LNEC, 1969. Tese para obtenção do grau de especialista do LNEC.
- [3.22] - SILVA, J. Gomes – *Acidentes patológicos em paredes de edifícios: Origens, formas de manifestações, medidas preventivas, reparações, exemplos de acidentes*. Lisboa: LNEC, 1983. CPP 510.
- [3.23] - VERÇOZA, E. J. - *Patologia das edificações*. Porto Alegre: Sagra, 1991.



## **CAPÍTULO 4**

### **EFLORESCÊNCIAS NAS CONSTRUÇÕES**

**4.1 – Generalidades**

**4.2 – Origens e formas de manifestação das eflorescências**

**Bibliografia do Capítulo 4**



## 4.1 – GENERALIDADES

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 patologia 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 umidificação das paredes e conduzindo, provavelmente, ao surgimento de alguma manifestação patológica no edifício.

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 se debilitando e começa a degradar-se, erodindo e/ou provocando o desprendimento de camadas completas dos revestimentos.

As características apresentadas pela eflorescência, como cor e corrosividade 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 oxido de ferro, manganês e material orgânico.

#### **4.2 – 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 freqüentemente 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.

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 permita 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. Conseqüentemente, 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 conseqüentes 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 [4.12]

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 porosa, 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 certo 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 as formações esbranquiçadas, a eflorescência. Em paredes de pedra as manifestações de eflorescências são identificadas pelo aparecimento de manchas escurecidas 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 [4.1].

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 [vide 3.2].

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, freqüentemente 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, 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, *Standard Methods of Sampling and Testing Brick and Structural Clay Tile*, de 1966.

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.

Em estudo desenvolvido por YOUNG, 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 freqüentemente 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:

“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” [4.8, 4.9].

“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. Em estudos observou-se que nalguns cimentos Portland utilizados em alvenarias, o teor de álcalis atingiu de 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 (T.J. Minnick, “Effect of lime on characteristics of mortar construction”, Bulletin, American Ceramic Society, 38 (5)), 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 pode 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 “gatos” ou presença de 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, 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 certo 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 reacções

químicas de sais de metais alcalinos, como o sódio e o potássio, e de de sais de alcalinos terrosos, como o cálcio e o magnésio, que são total ou parcialmente solúveis na água.

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 grama 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 mofos e fungos nas superfícies expostas. Sob estas superfícies, a ação de degradação se exerce em profundidade e de modo não perceptível.

Freqüentemente, 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.

Um outro tipo de bactéria usa o enxofre, poucas vezes atuante, no qual o resíduo é o sulfato de cálcio que, por ser de 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.

No quadro 4.1 estão indicados os sais que podem contaminar as construções, os de maior frequência, seu grau de solubilidade bem como as origens mais prováveis [4.8]:

**Quadro 4.1 – Características mais importantes das eflorescências**

NATUREZA QUÍMICA DAS EFLORESCÊNCIAS			
Composição Química	Fórmula Química	Solubilidade em Água	Provável Fonte
Carbonato de Cálcio	CaCO <sub>3</sub>	Pouco Solúvel	Carbonatação da cal lixiviada da argamassa e de argamassa de cal não carbonatada
Carbonato de Magnésio	MgCO <sub>3</sub>		
Carbonato de Potássio	K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	Muito Solúvel	Carbonatação dos hidróxidos alcalinos de cimento de elevado teor de álcalis
Carbonato de Sódio	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>		
Hidróxido de Cálcio	Ca(OH) <sub>2</sub>	Solúvel	Cal liberada na hidratação do cimento
Sulfato de Cálcio desidratado	CaSO <sub>4</sub> .2H <sub>2</sub> O	Parcialmente Solúvel	Hidratação do sulfato de cálcio do tijolo
Sulfato de Magnésio	MgSO <sub>4</sub>	Solúvel	Tijolo e água de amassamento
Sulfato de Cálcio	CaSO <sub>4</sub>	Parcialmente Solúvel	
Sulfato de Potássio	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Muito Solúvel	Reação tijolo-cimento-agregados Água de amassamento
Sulfato de Sódio	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>		
Cloreto de Cálcio	CaCl <sub>2</sub>		Água de amassamento
Cloreto de Magnésio	MgCl <sub>2</sub>		
Nitrato de potássio	KNO <sub>3</sub>		Solo adubado e/ou contaminado
Nitrato de Sódio	KaNO <sub>3</sub>		
Nitrato de Amônia	NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>		

Obs.: 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 certo 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
- não exista uma barreira de estanquidade 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 freqüentemente 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 patologia 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 [4.12].

A cristalização dos sais, tanto na superfície como no interior dos materiais constituintes, é a maior ameaça à existência dos revestimentos de paredes pintadas [4.37].

A relação existente entre a cristalização dos sais e as características do clima são estudadas e consideradas como um fator de grande importância. As mensurações 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 baixa a valores inferiores a 60%, 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 potenciador 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 conseqüentes 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 noutros 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 [4.2].

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 [4.2].

A formação das eflorescências é determinada pela solubilidade dos sais, e este fenômeno é favorecido por alguns fatores externos. Sabe-se, com efeito, que [4.42]:

- 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.

---

**BIBLIOGRAFIA DO CAPÍTULO 4**

- [4.1] - 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. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, CPGEC – LEME. Porto Alegre, 1995.
- [4.2] - ARNOLD, A., ZEHNDER, K. – *Decay of Stony Materials by Salts on Humid Atmosphere* – Zurich: Institut für Denkmalpflege der Eidgenössischen Technischen Hochschule, s/d.
- [4.3] - ARNOLD, A.- *Behaviour of Some Soluble Salts in Stone Deterioration*, Zurich: Institute für Denkmalpflege der Eidgenössischen Technischen Hochschule, s/d.
- [4.4] - ASSOCIATION FRANÇAISE DE NORMALISATION (AFNOR) – *Produits de carrières. Pierres calcaires. Mésure de l'absorption d'eau par capillarité*. Paris: AFNOR, Mai 1980.
- [4.5] - ASSOCIATION POUR L'ÉTUDE DE LA PATHOLOGIE ET L'ENTRETIEN DU BÂTIMENT (EPEBAT) – *Les condensations superficielles intérieures sur les murs de façade*. Paris: Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (CSTB), 1980.
- [4.6] - ASSOCIATION POUR L'ÉTUDE DE LA PATHOLOGIE ET L'ENTRETIEN DU BÂTIMENT (EPEBAT) – *Les condensations superficielles intérieures sur les murs de façades*. Paris: Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (CSTB), Avril 1980.
- [4.7] - BERRY, Janet; PRICE, Clifford A.- *The movements of Salts in Consolidated Stone*. London: Institute of Archaeology University College London, 1994.
- [4.8] - BRICK INDUSTRY ASSOCIATION – *Notas Técnicas para a Construção em Tijolo. Parte II: Eflorescências: Prevenção e Controlo*, Revista 23 A, Virginia, USA, Junho de 1985.
- [4.9] - BRICK INDUSTRY ASSOCIATION – *Notas Técnicas para a Construção em Tijolo Parte I: Eflorescências: Causas e Mecanismos*. Revista 23 A, Virginia, USA, Fevereiro de 1997.
- [4.10] - BUILDING RESEARCH STATION (BRS) – *The control of lichens, moulds and similar growths on building materials*. BRS Digest 47, first series. Revised August, 1963.

- [4.11] - CENTRE D'ASSISTANCE TECHNIQUE ET DE DOCUMENTATION DU BÂTIMENT ET DES TRAVAUX PUBLICS (CATED) – *Le salpêtre*. Paris: CATED, novembre 1966. Note Technique 80.
- [4.12] - CENTRE D'ASSISTANCE TECHNIQUE ET DE DOCUMENTATION DU BÂTIMENT ET DES TRAVAUX PUBLICS (CATED) – *Les efflorescences*. Paris: CATED, juin 1967. Note Technique 93.
- [4.13] - CENTRE D'ASSISTANCE TECHNIQUE ET DE DOCUMENTATION DU BÂTIMENT ET DES TRAVAUX PUBLICS (CATED) – *Migrations d'eau – notions de base*. Paris: CATED, février 1965. Note Technique 70.
- [4.14] - 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. Note Technique 88.
- [4.15] - CENTRE D'ASSISTANCE TECHNIQUE ET DE DOCUMENTATION DU BÂTIMENT ET DES TRAVAUX PUBLICS (CATED) – *Migrations d'eau – condensations*. Paris: CATED, novembre 1965. Note Technique 73.
- [4.16] - CENTRE D'ASSISTANCE TECHNIQUE ET DE DOCUMENTATION DU BÂTIMENT ET DES TRAVAUX PUBLICS (CATED) – *Migrations d'eau – porosité et perméabilité dans le bâtiment*. Paris: CATED, janvier 1967. Note Technique 84.
- [4.17] - 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.
- [4.18] - FREITAS, Vasco Peixoto de – *Influence of the vapour permeability of paintings and the hygroscopicity of the internal coating on the hygrothermal behaviour of walls*. Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 1998.
- [4.19] - FREITAS, Vasco Peixoto de – *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.
- [4.20] - HENRIQUES, F. A. – *A conservação do património histórico edificado*. Lisboa: LNEC, 1991. Memória 775.
- [4.21] - HENRIQUES, F.A. – *Humidade em paredes* Lisboa: LNEC, 1994. Coleção Edifícios CED 1.
- [4.22] - HENRIQUES, M.A. Fernando - *The effects of soluble salts on a vaulted ceiling*. 7º Congresso Internacional sobre Deterioração e Conservação da Pedra, Lisboa, LNEC, Junho de 1992

- [4.23] - INSTITUT TECHNIQUE DU BÂTIMENT ET DES TRAVAUX PUBLICS (ITBTP) - *Efflorescences de briques*. Paris: ITBTP, Mai 1959 Note Technique 41.
- [4.24] - INSTITUTO EDUARDO TORROJA - *Deterioro de morteros de cemento producido por la "deposición" seca y húmeda de contaminantes atmosféricos*. Materiales de Construcción, Vol. 48, n.º 250, Abril/Mayo/Junio 1998.
- [4.25] - INTERNATIONAL CONGRESS OF ARCHITECTS AND TECHNICIANS OF HISTORIC MONUMENTS (ICATHM) – *Decisions and resolutions*. Veneza, ICATHM, 1964. "Carta de Veneza".
- [4.26] - J.E. Young – "*Backup materials as a source of efflorescence*". Journal American Ceramic Society, 40 (7), 1957.
- [4.27] - LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL (LNEC) - *Manchas em tijolos de revestimento de paredes*. LNEC: Lisboa, Novembro de 1958. C.I.T. n.º 21.
- [4.28] - LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL (LNEC) - *Manchas de vegetação parasitária em paramentos rebocados de alvenaria*. LNEC: Lisboa, Setembro de 1954. C.I.T. n.º 18.
- [4.29] - LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL (LNEC) - *Eflorescências nas paredes do edifício destinado às instalações do Ministério das Finanças*. 1.º serviço – Secção de Processos de Construção – (Relatório Preliminar). Lisboa: LNEC, s/d.
- [4.30] - LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL - LNEC- *Curso de Especialização sobre Revestimentos de Paredes – 1.º Módulo*. Lisboa: LNEC, 1990.
- [4.31] - LUCAS, José A.. Carvalho – *Classificação e descrição geral de revestimentos para paredes de alvenaria ou de betão*. Lisboa: LNEC, 1999. ITE 24.
- [4.32] - LUCAS, José A. Carvalho – *Exigências funcionais de revestimentos de paredes*. Lisboa: LNEC, 1990. ITE 25.
- [4.33] - MACIEL, Luciana Leone; MELHADO, Silvio Burratino – Inserção do projeto dos revestimentos de argamassa de fachada no processo de produção do edifício. Boletim Técnico da Escola Politécnica de São Paulo, Universidade de São Paulo, Escola Politécnica. São Paulo, 1997. BT/PCC/189
- [4.34] - GARCIA MORALES M.S.; PALOMO A. – *Moisture in Heritage Buildings. Part I: A New Work Methodology for Diagnosis*. Architectural Science Review – Volume 41, p. 51-56, June 1998.
- [4.35] - GARCIA MORALES M.S.; PALOMO A. – *Moisture in Heritage Buildings. Part II: Application of the Diagnostic Method to the Church of "San Salvador"*. Architectural Science Review, Volume 41, June 1998, p. 57-66.

- [4.36] - OLIVEIRA, Carlos R.; FREITAS, Vasco Peixoto de - *Importância da Permeabilidade ao Vapor de Água das Pinturas Exteriores*. Encontro Materiais de Construção, Lisboa, ISMAG,1997.
- [4.37] - OLIVEIRA, Mário Mendonça de - *Tecnologia da Conservação e da Restauração*. Salvador, Mestrado em Arquitetura e Urbanismo da UFBA, PNUD, UNESCO, 1995.
- [4.38] - MORA, Paolo and Laura; PHILIPPOT, Paul - *Conservation of Wall Paintings*. London, 1984.
- [4.39] - PAIVA, J. V. - *Patologia da Construção, in “ 1º ENCONTRO sobre conservação e reabilitação de edifícios de habitação”*, Lisboa, LNEC, 1985. Documento introdutório do Tema 3.
- [4.40] - 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.
- [4.41] - SILVA, J. Gomes - *Acidentes patológicos em paredes de edifícios: Origens, formas de manifestações, medidas preventivas, reparações, exemplos de acidentes*. Lisboa: LNEC, 1983. CPP 510.
- [4.42] - TORRACA, Giorgio - *Matériaux de construction poreux, science des matériaux pour la conservation architecturale*. Roma, ICCROM,1986.
- [4.43] - TWOREK, Daniel - *The destructive Effect of Inorganic Salts on Wall Paintings*, Poland, s/d.
- [4.44] - UEMOTO, K.L. - *Patologia: danos causados por eflorescências..* São Paulo: PINI.1984. Tecnologia de Edificações, IPT/Ded20
- [4.45] - VERÇOZA, E.J. - *Patologia das edificações*. Porto Alegre: Sagra, 1991.
- [4.46] - WEBER, Joannes, TINZI, Christoph - *Soluble Salts in Historic Buildings and their Decay Mechanisms* . ICCROM. ASC 1998.
- [4.47] - W.E. Brownell - *The causes and control of efflorescence on brickwork*. Structural Clay Products Institut, 1969. Research Report 15.
- [4.48] - ZEHNDER, K.; ARNOLD, A. - *Stone Damage due to Formate Salts*. Zurich: Institute für Denkmalpflege der Eidgenössischen Technischen Hochschule, s/d.



## **PARTE II**

### **CONSTRUÇÃO TRADICIONAL EM PELOTAS**



**CAPÍTULO 5**  
**LEVANTAMENTO DAS SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS**  
**TRADICIONAIS NA REGIÃO DE PELOTAS E DAS SUAS PRINCIPAIS**  
**ANOMALIAS**

**5.1 – Generalidades**

**5.2 – Levantamento geral de soluções**

**5.3 – Levantamento das anomalias**

**5.4 – Levantamento pormenorizado das eflorescências**

**Bibliografia do Capítulo 5**



## 5.1 – GENERALIDADES

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, fizeram com que, pouco a pouco, a aparência das construções urbanas se fosse modificando, embora não ocorressem transformações significativas da técnica construtiva.

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 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.

## **5.2 – LEVANTAMENTO GERAL DE SOLUÇÕES**

### **5.2.1 – Considerações gerais**

As soluções construtivas empregadas na cidade de Pelotas e na região Sul do estado do Rio Grande do Sul 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 bastante 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.

### 5.2.2 - 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, assentes sobre colchão de areia grossa e 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 (Figura 5.1). 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 0,50 m, 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 0,80 m, sem nenhum tratamento de impermeabilização identificável.

Sabe-se que a barreira estanque era obtida pelo uso de uma camada de betume natural liqüefeito 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 empregadas estacas ou micro-estacas. Independentemente da modalidade aplicada, o alicerce é encimado por uma viga em concreto armado, cujas faces laterais 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 situe 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 ascender 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 2,40 m enquanto que, após 24 horas, quando ocorre o reequilíbrio das cargas atuantes, este nível atinge uma média de 1,20 m de profundidade.

### **5.2.2 - 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 de 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 paus-a-pique ou os tabiques, geralmente revestidos com estuque (Figura 5.1). 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 freqüentemente roliços mantendo as cascas e possuem seção compatível com a espessura pretendida para as paredes que irão compor, em geral com afastamento de 0,15 m a 0,20 m, condicionados a um diâmetro de 0,10 m a 0,15 m. 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 com 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.



Figuras 5.1 – Parede divisória em pau-a-pique – Edifício antigo

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, tapona 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.

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 0,25 m para paredes exteriores e 0,15 m 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 destas paredes são utilizadas, geralmente, argamassas de cimento, cal e areia média com o traço 1:1:6, tanto para o assentamento como para o revestimento.

### 5.2.3 - 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 salientada 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 seraja 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 ladrilho”.

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 freqüente), 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 barcaças 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 existentes na cidade e o segundo, pela proximidade do porto da cidade vizinha.

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 fendilhação 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 15 mm a 20 mm, não devendo ser usada com espessuras muito diferentes daquelas para evitar retrações elevadas e os conseqüentes 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.

### **5.3 – LEVANTAMENTO DE ANOMALIAS NUM CONJUNTO DE EDIFÍCIOS**

#### **5.3.1 – 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 poder-se-á 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 fendilhações, 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 [5.1, 5.4, 5.6 e 5.24].

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 [5.24]. 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 (Quadro 5.1).

### **5.3.2 – Caracterização das edificações**

Em função das características urbanas da cidade de Pelotas as 424 fachadas estão homogeneamente 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% (Quadro 5.2). 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 um piso, 96 fachadas (22,6%) estão distribuídas em prédios com até dois pisos e os restantes 6,2% compreendem construções de 3 a 6 pisos.

Quadro 5.1- Anomalias identificadas em 424 fachadas de 377 edificações da cidade de Pelotas

<b>Tipo de lesão</b>	<b>N.º de anomalias</b>	<b>% sobre o total de lesões</b>
Manchas	304	19,3
Umidade ascensional	271	17,2
Descolamento em placas	168	10,7
Descoloração	144	9,1
Fendilhações tipo mapeamento	102	6,5
Fendilhações horizontais	85	5,4
Fendilhações verticais	84	5,3
Eflorescências	68	4,3
Fendilhações 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
<b>Total</b>	<b>1575</b>	<b>100,0</b>

A idade das 424 fachadas pôde ser identificada em 314 fachadas 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 (Quadro 5.3). Consta-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%) e as restantes 33 fachadas (7,8%) estão distribuídas em edifícios de uso misto, edifícios escolares, edifícios públicos e outras utilizações.

Quadro 5.2 - Distribuição das fachadas por localização do edifício no quarteirão

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

Quadro 5.3 - Idade das 424 fachadas de 153 edificações da cidade de Pelotas

<b>Ano</b>	<b>Fachadas</b>	<b>%</b>
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
<b>Total</b>	<b>424</b>	<b>100,0</b>

### 5.3.3 – 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%) – são constituídas 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%) a coberturas 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 betão.

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 empregado 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.

### 5.3.4 – 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 [5.24].

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. Das lesões 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 as fendilhações do tipo mapeamento com 6,5% das lesões, as fendilhações horizontais com 5,4% das lesões e as fendilhações 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 graves à construção (Figuras 5.2, 5.3, 5.4 e 5.5 e Quadro 5.4).



Figuras 5.2 e 5.3 – Manchas de sujeira e fendilhações



Figuras 5.4 e 5.5 – Umidade ascensional e de infiltrações, descolamento em placas e eflorescências

As 1575 lesões identificadas no Quadro 5.1 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 (Quadro 5.4).

O fato de o soco ser a zona das fachadas com maior concentração de lesões deve-se, talvez ao fato de não estar recebendo 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.

Quadro 5.4 - Distribuição das lesões nas fachadas analisadas, por elemento construtivo

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

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 (Quadro 5.5) e que 1041 lesões foram localizadas neste material, chegamos a uma média de 2,75 lesões por fachada revestida em reboco.

Quadro 5.5 - Distribuição das lesões nas fachadas analisadas por tipo de material de revestimento

<b>Material de revestimento</b>	<b>Lesões</b>	<b>% dos materiais com lesões</b>
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
<b>Total</b>	<b>1608</b>	<b>100,0</b>

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 (Quadro 5.6).

Quadro 5.6 - Distribuição das lesões nas fachadas analisadas por condição de exposição

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

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 (Quadro 5.7). 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 metros, de 3 a 6 metros e de mais de 6 metros, totalizando, de acordo com este último parâmetro, 424 lesões (74,1%) para uma altura até 3 metros, 112 lesões (21,3%) de 3 a 6 metros e 26 lesões (4,5%) (Quadro 5.8).

Quadro 5.7 - Distribuição das lesões nas fachadas analisadas por incidência

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

Quadro 5.8 - Distribuição das lesões nas fachadas analisadas por piso

<b>Pisos</b>	<b>Lesões</b>	<b>%</b>
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 (Quadro 5.9).

Quadro 5.9 - Distribuição das lesões nas fachadas analisadas por orientação

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

## 5.4 – 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 conseqüências aos interiores daquelas construções; porém, como o objetivo primeiro do presente trabalho é a avaliação das anomalias interiores que afetam os paramentos das construções, o estudo dirige-se então à análise e avaliação do interior 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 patologia 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 5.6, 5.7, 5.8 e 5.9). 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 conseqüente 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 patologia mas que, num tempo relativamente curto, acabam por agravar as manifestações de eflorescências.



Figuras 5.6 e 5.7 – Encobrimentos das eflorescências por revestimento em madeira e pedra



Figuras 5.8 e 5.9 – Agravamento das eflorescências pelo uso inadequado de materiais na construção e/ou recuperação

---

**BIBLIOGRAFIA DO CAPÍTULO 5**

- [5.1] - 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, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, CPGEC – LEME, Porto Alegre, 1995.
- [5.2] - BAUER, L. A. F. - *Materiais de Construção*. 5ª ed. Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora, 1994.
- [5.3] - BAUER, E. - *Recomendações para prevenção da penetração da chuva em fachadas com o objetivo de aumentar a vida útil de seus componentes*. In: Seminário sobre manutenção de edifícios. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, CPGEC, Porto Alegre, 1998.
- [5.4] - BAUER, F. - *Patologia em revestimentos de argamassa inorgânica*. In: *Congresso iberoamericano de patologia das construções*. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, CPGEC, Porto Alegre, 1997.
- [5.5] - CORONA, E.; LEMOS, C.A.C. – *Dicionário da arquitetura brasileira*. São Paulo: EDARTT - São Paulo Livraria e Editora Ltda, 1972.
- [5.6] - 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
- [5.7] - FREUN, J.E. - *Modern elementary statistics*. 7th ed. New Jersey: Prentice-Hall International, 1988.
- [5.8] - GOMES, A. M. - *Caracterização de argamassas tradicionais utilizadas nos revestimentos exteriores dos edifícios*. Tese de doutorado em engenharia. Universidade Técnica de Lisboa, Instituto Superior Técnico - Lisboa, 1995.
- [5.9] - 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.
- [5.10] - HENRIQUES, F. A. – *A conservação do património histórico edificado*. Lisboa: LNEC, 1991. Memória 775.

- [5.11] - HENRIQUES, F. A. – *Humidade em paredes*. Lisboa: LNEC, 1994. Coleção Edifícios 1.
- [5.12] - LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL (LNEC) - *Curso de Especialização sobre Revestimentos de Paredes - 1º Módulo*. Lisboa: LNEC, 1990.
- [5.13] - LUCAS, José A.. Carvalho – *Classificação e descrição geral de revestimentos para paredes de alvenaria ou de betão*. Lisboa: LNEC, 1999. ITE 24.
- [5.14] - LUCAS, José A. Carvalho – *Exigências funcionais de revestimentos de paredes*. Lisboa: LNEC, 1990. ITE 25.
- [5.15] - MACIEL, Luciana Leone; MELHADO, Silvio Burratino – *Inserção do projeto dos revestimentos de argamassa de fachada no processo de produção do edifício*. Boletim Técnico da Escola Politécnica de São Paulo, Universidade de São Paulo, BT/PCC/189, 1997.
- [5.16] - MIRSHAWKA, V. - *Estatística*. São Paulo: Distribuição da Livraria Nobel s.a., 1987. v 1, 33.
- [5.17] - PALADINI, E.P. - *Controle de qualidade; uma abordagem abrangente*. São Paulo: Atlas, 1995.
- [5.18] - PAIVA, J. V; CARVALHO, E. Consuelo; SILVA, A. Cavaleiro – *Patologia da Construção*, in “1º ENCONTRO sobre conservação e reabilitação de edifícios de habitação”, Lisboa, LNEC, 1985. Documento introdutório do Tema 3.
- [5.19] - MORA, Paolo; MORA, Laura; PHILIPPOT, Paul – *Conservation of wall paintings*. London, 1984.
- [5.20] - MOURA, Rosa Maria Garcia Rolin; SCHLEE, Andrey Rosenthal – *100 Imagens da Arquitetura Pelotense*. Pelotas: Pallotti, 1998.
- [5.21] - OLIVEIRA, Mário Mendonça de – *Tecnologia da conservação e da restauração*. Salvador, Mestrado em Arquitetura e Urbanismo da UFBA, PNUD, UNESCO, 1995.
- [5.22] - REIS FILHO, Nestor Goulart - *Quadro da Arquitetura no Brasil*. São Paulo: Editora Perspectiva, 1968. Coleção Debates.
- [5.23] - SILVA, J. Gomes – *Acidentes patológicos em paredes de edifícios: Origens, formas de manifestações, medidas preventivas, reparações, exemplos de acidentes*. Lisboa: LNEC, 1983. CPP 510.

- 
- [5.24] TERRA, Ricardo Curi – *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.
- [5.25] - UEMOTO, K.L. - *Patologia: danos causados por eflorescências*. São Paulo: PINI, 1984. Tecnologia de Edificações. IPT/Ded20.
- [5.26] - VASCONCELLOS, Silvio de – *Arquitetura no Brasil – Sistemas Construtivos*. USP, FAU, 729, V441A, E.13, 1961.
- [5.27] - VEIGA, Maria do Rosário – *Comportamento de Argamassas de Revestimento de Paredes – Contribuição para o estudo da sua resistência à fendilhação*. Lisboa, LNEC, 1998. Tese para obtenção do grau de Doutor em Engenharia Civil pela Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- [5.28] - VERÇOZA, E.J. - *Patologia das edificações*. Porto Alegre: Sagra, 1991.
- [5.29] - WEIMER, Günter – *Urbanismo no Rio Grande do Sul*. Porto Alegre: Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) - Prefeitura Municipal de Porto Alegre, 1992.

**CAPÍTULO 6**  
**CARACTERIZAÇÃO DOS REVESTIMENTOS DE PAREDES**  
**ANTIGAS EM PELOTAS**

**6.1 – Seleção de edifícios para estudo**

**6.2 – Caracterização das técnicas construtivas do edifício selecionado**

**Bibliografia do Capítulo 6**



## 6.1 – SELEÇÃO DE EDIFÍCIOS PARA ESTUDO

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 6.1); o chamado Casarão 6, que foi construído em 1879 para o segundo Barão de São Luís, Leopoldo Antunes Maciel (Figura 6.2) e o chamado Casarão 8, construído em 1878 para o Conselheiro Francisco Antunes Maciel (Figura 6.3). Também foram analisados 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 a 1922 (Figura 6.4); 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 6.5); e o edifício do Instituto Dom Antônio Zatera (Instituto de Menores de Pelotas), construído em 1850, localizado no final da Avenida Domingos de Almeida (Figura 6.6).



Figura 6.1- Casarão 2

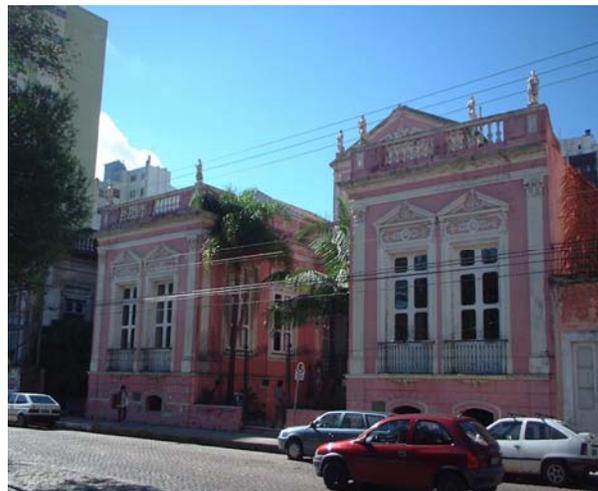


Figura 6.2- Casarão 6



Figura 6.3- Casarão 8



Figura 6.4- Castelo Simões Lopes Neto

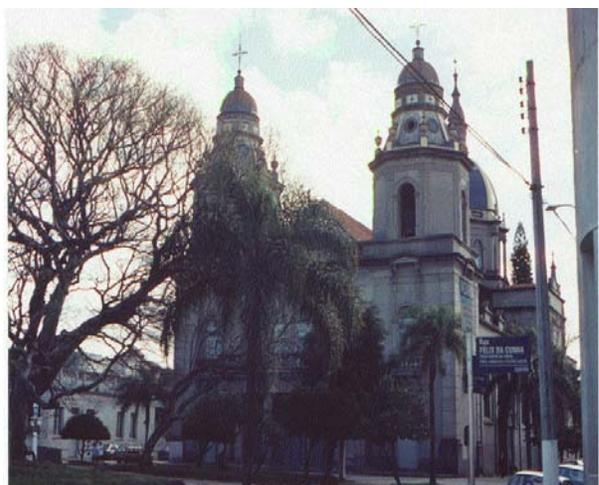


Figura 6.5- Catedral São Francisco de Paula



Figura 6.6- 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 constatada 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) 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 fendilhações nas paredes e nos detalhes arquitetônicos exteriores (saliências

horizontais nos rebocos, que retêm parte da água pluvial e a conduz, através das fendilhações, para o interior da construção). O edifício possui nas duas fachadas laterais a 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 6.7 e 6.8).

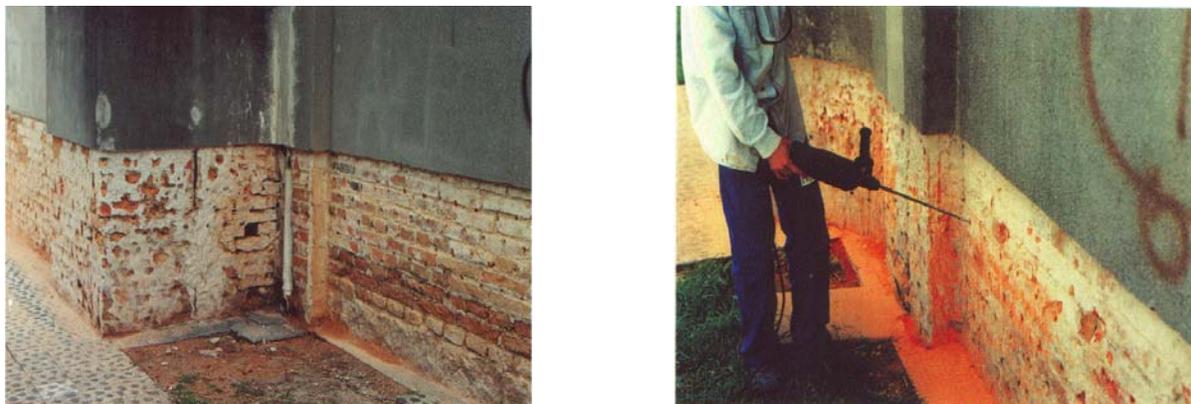


Figura 6.7- Anomalias no interior da Catedral



Figura 6.8- Erros construtivos no exterior da Catedral

Além destes fatores, o referido edifício encontra-se em processo de restauração, 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 adjuvantes. 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 conseqüente 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 (Figuras 6.9 e 6.10).



Figuras 6.9 e 6.10 – 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 é conhecido como Casa Barão de São Luís, sendo seu projeto atribuído ao 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 (Figuras 6.11 e 6.12).



Figuras 6.11 e 6.12 – 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.

## **6.2 – 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 assentadas 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 6.13). Esta

presença pode indicar que terá sido utilizada cal proveniente da calcinação 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 assentados com argamassa de cal e areia e apresenta uma maior espessura junto aos alinhamentos do terreno, formando um ressalto médio de aproximadamente 0,10 m apenas nas paredes exteriores. Esta etapa da construção acaba por constituir, na maior área do edifício, as paredes da caixa de ventilação (Figura 6.14) e, na região do pátio interno e do fundo ao leste, a cave da edificação (Figuras 6.15 e 6.16). Durante o processo de análise das características construtivas da construção não foi identificada 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 empregado 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 6.13 – Detalhe da fundação do edifício



Figuras 6.14 – Detalhe da caixa de ventilação



Figuras 6.15 e 616 – Espaço destinado às caves

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 0,70 m 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 0,40 m 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 0,40 m 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 6.17 e 6.18).



Figura 6.17 – Paredes em tijolos de barro



Figura 6.18 – Paredes em estuque

As paredes com 0,70 m 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 6.19).

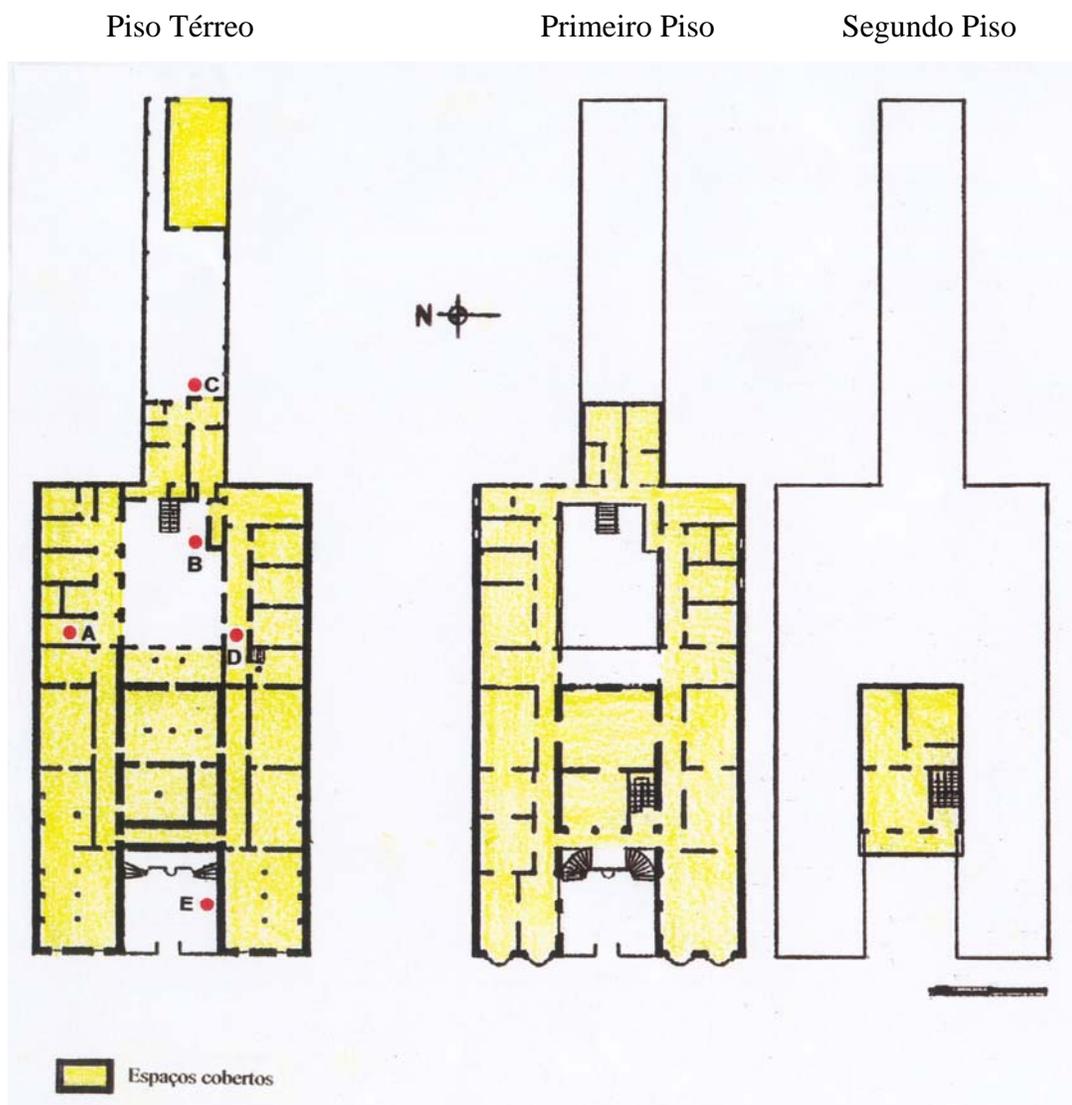


Figura 6.19 – Plantas dos pisos do Casarão 6

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 (Figuras 6.20 e 6.21).



Figuras 6.20 e 6.21 – 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 os quadros das esquadrias, acabam ocorrendo, nestes pontos, muita infiltração de umidade, quer pelas falhas das argamassas (fendilhações), quer pelo apodrecimento das madeiras (Figuras 6.22, 6.23, 6.24 e 6.25).



Figuras 6.22 e 6.23 – Apodrecimento interno das esquadrias



Figuras 6.24 e 6.25 – 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 (Figuras 6.26 e 6.27).



Figuras 6.26 e 6.27 – Perda da massa de fixação dos vidros e apodrecimento dos caixilhos

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

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 6.28) No piso térreo, os vãos abaixo do barroamento constituem as caixas de ventilação e as caves (Figura 6.29) 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 6.30, 6.31, 6.32 e 6.33).



Figura 6.28 – Barrotes de fixação do soalho



Figura 6.29 - Murete e sustentação dos barrotes



Figura 6.30 – Pavimento em soalho



Figura 6.31 – Teto em madeira



Figura 6.32 – Estuque no teto



Figura 6.33 – Ornatos de gesso sobre estuque

A cobertura do prédio é constituída por telhas coloniais portuguesas apoiadas sobre estrutura de madeira (Figuras 6.34 e 6.35). A estrutura de sustentação do telhado é formada por tesouras, caibros, terças e ripas. Verifica-se visualmente que as peças de madeira usadas são bastante toscas, apresentando em alguns pontos um elevado estágio de deterioração, determinado por cupins e/ou apodrecimento. Algumas zonas de encontro 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 conseqüente penetração de água das chuvas, o que acaba por contribuir para o aparecimento de anomalias nos tetos e paredes (Figuras 6.36, 6.37 e 6.38). 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 quebradas ou deslocadas), contribuem negativamente para as manifestações de umidade e eflorescências identificadas na construção.



Figuras 6.34 e 6.35 - Cobertura em telhas portuguesas



Figuras 6.36, 6.37 e 6.38 – 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 8.1 e 8.2, 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 0,30 m de comprimento, 0,15 m de largura e 0,07 m 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, 0,22 m de comprimento, 0,10 m de largura e 0,05 m de altura (Figuras 6.39, 6.40 e 6.41).

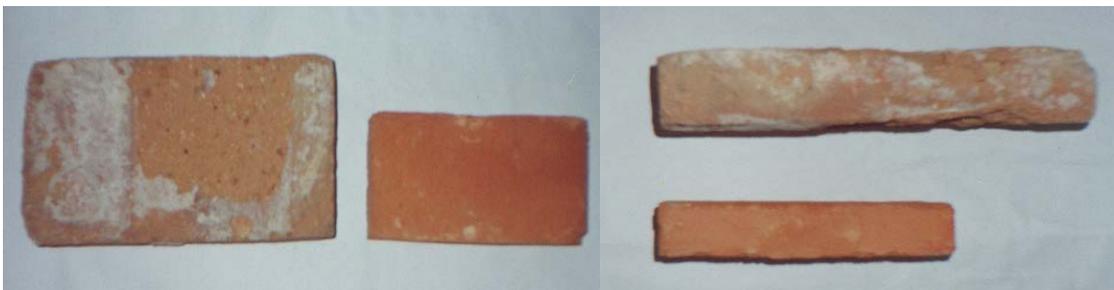
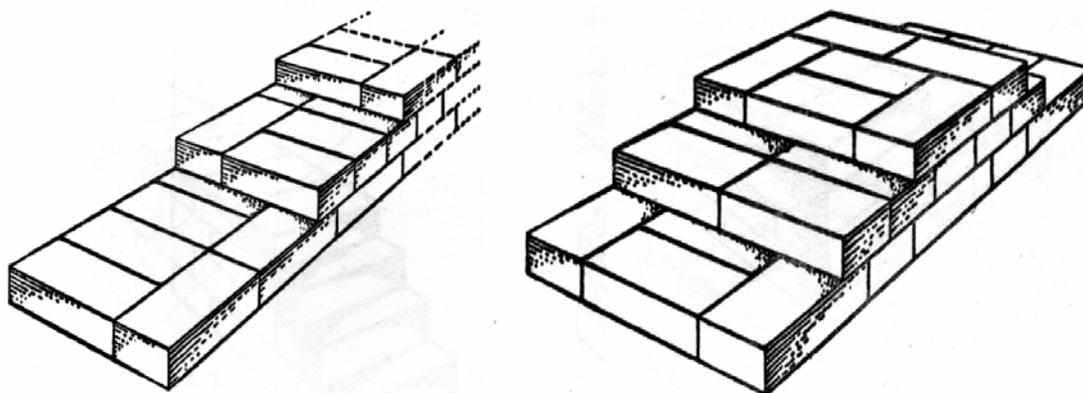


Figura 6.39 – Comparação dimensional entre os tijolos usados no edifício estudado e os tijolos atuais



Figuras 6.40 e 6.41 – 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, a 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 fendilhações, o que fatalmente contribui 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 uma 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 2,38 mm e 4,76 mm, 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, eram provenientes 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 aérea da cal originadas pelo reinício posterior daquela reação em obra na presença de uma fonte de umidade. A continuidade desta reação 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.

**BIBLIOGRAFIA DO CAPÍTULO 6**

- [6.1] - 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, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, CPGEC – LEME, Porto Alegre 1995.
- [6.2] - BAUER, L. A. F. - *Materiais de Construção*, 5ª ed. Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora, 1994.
- [6.3] - BAUER, E. - *Recomendações para prevenção da penetração da chuva em fachadas com o objetivo de aumentar a vida útil de seus componentes*. In: Seminário sobre manutenção de edifícios. Anais... Universidade Federal do Rio Grande do Sul, CPGEC, Porto Alegre, 1998.
- [6.4] - BAUER, F. - *Patologia em revestimentos de argamassa inorgânica*. In: Congresso iberoamericano de patologia das construções. Anais... Universidade Federal do Rio Grande do Sul, CPGEC, Porto Alegre, 1997.
- [6.5] - CORONA, E.; LEMOS, C.A.C. – *Dicionário da arquitetura brasileira*. São Paulo: EDARTT - São Paulo Livraria e Editora Ltda, 1972.
- [6.6] - 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.
- [6.7] - HENRIQUES, F. A. – *A conservação do património histórico edificado*. Lisboa: LNEC, 1991. Memória 775.
- [6.8] - HENRIQUES, F.A. – *Humidade em paredes*. Lisboa: LNEC, 1994. Coleção Edifícios 1.
- [6.9] - LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL (LNEC) – *Curso de Especialização sobre Revestimentos de Paredes - 1º Módulo*. Lisboa: LNEC, 1990.
- [6.10] - PAIVA, J. V; CARVALHO, E. Consuelo; SILVA, A.Cavaleiro – *Patologia da Construção*, in “1º ENCONTRO sobre conservação e reabilitação de edifícios de habitação”, Lisboa, LNEC, 1985. Documento introdutório do Tema 3.

- [6.11] - MORA, Paolo; MORA, Laura; PHILIPPOT, Paul – *Conservation of wall paintings*. London, 1984.
- [6.12] - MOURA, Rosa Maria Garcia Rolin; SCHLEE, Andrey Rosenthal – *100 Imagens da Arquitetura Pelotense*. Pelotas: Pallotti, 1998.
- [6.13] - OLIVEIRA, Mário Mendonça de – *Tecnologia da conservação e da restauração*. Salvador: Mestrado em Arquitetura e Urbanismo da UFBA, PNUD, UNESCO, 1995.
- [6.14] - REIS FILHO, Nestor Goulart - *Quadro da Arquitetura no Brasil* - São Paulo: Editora Perspectiva, 1968. Coleção Debates.
- [6.15] - SILVA, J. Gomes – *Acidentes patológicos em paredes de edifícios: Origens, formas de manifestações, medidas preventivas, reparações, exemplos de acidentes*. Lisboa: LNEC, 1983. CPP 510.
- [6.16] - UEMOTO, K.L. - *Patologia: danos causados por eflorescências*. São Paulo: PINI, 1984. Tecnologia de Edificações. IPT/Ded20
- [6.17] - VASCONCELLOS, Silvio de – *Arquitetura no Brasil – Sistemas Construtivos*. USP, FAU, 729, V441A, E.13, 1961.
- [6.18] - VEIGA, Maria do Rosário – *Comportamento de Argamassas de Revestimento de Paredes – Contribuição para o estudo da sua resistência à fendilhação*. Lisboa, LNEC, 1998 . Tese para obtenção do grau de Doutor em Engenharia Civil pela Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- [6.19] - VERÇOZA, E.J. - *Patologia das edificações*. Porto Alegre: Sagra, 1991.
- [6.20] - WEIMER, Günter – *Urbanismo no Rio Grande do Sul – Universidade Federal do Rio Grande do Sul* - UFRGS, Porto Alegre: Editora da UFRGS/Prefeitura Municipal de Porto Alegre, 1992.

## **PARTE III**

### **DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO EXPERIMENTAL**



**CAPÍTULO 7**  
**ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO EXPERIMENTAL**

**7.1 – Objetivo do trabalho experimental**

**7.2 – Seleção dos locais e dos materiais a ensaiar**

**7.3 – Ensaio realizados e equipamentos utilizados**

**7.4 – Modelo experimental adaptado**

**7.5 – Observação e apreciação das argamassas de reabilitação aplicadas nos  
painéis experimentais**

**Bibliografia do Capítulo 7**



## 7.1 - OBJETIVO DO TRABALHO EXPERIMENTAL

O trabalho experimental objetivou o conhecimento das características qualitativas, construtivas e de desempenho dos revestimentos existentes no edifício eleito e, também, das caracterizações técnica e de desempenho dos materiais constituintes das argamassas contemporâneas, além da observação dos revestimentos propostos e aplicados, nas painéis experimentais (painéis montados em laboratório e zonas selecionadas para a aplicação no edifício antigo) e nos provetes 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.

As argamassas de reabilitação propostas para o estudo – as argamassas de assentamento e revestimento tradicionalmente empregadas na região de Pelotas e uma argamassa de reabilitação empregada nalguns países da Europa, em particular na Alemanha, que se passa a designar por “argamassa de reabilitação alemã”<sup>2</sup> – foram submetidas a um programa de ensaios desenvolvidos em provetes e em painéis experimentais, executados em laboratório e em obra. No caso dos painéis executados em laboratório, as argamassas foram aplicadas em muretes de alvenaria de tijolos maciços com dimensões de 1,10 m de altura, 1,50 m de largura e 0,15 m de espessura, construídos no interior do LRM (Laboratório de Resistência dos Materiais) do curso de Engenharia Civil da UCPel (Universidade Católica de Pelotas); no caso dos painéis executados em obra, as argamassas foram aplicadas em troços de paredes do edifício eleito, após a remoção dos rebocos originais (Figuras 7.1, 7.2, 7.3, 7.4, 7.5,

<sup>2</sup> Traço obtido no Seminário sobre recuperação de obras históricas de engenharia e arquitetura, fornecido pelo Dr. ng. Claus Arendt do IGS (Institut für Gebäudeanalyse und Sanierungsplanung), sediado em Munique, Alemanha [6.1].



Figuras 7.1, 7.2 e 7.3 – Construção dos painéis experimentais em laboratório



Figuras 7.4, 7.5 e 7.6 – Execução dos revestimentos experimentais no edifício selecionado (exterior)



Figuras 7.7, 7.8 e 7.9 – Execução dos revestimentos experimentais no edifício selecionado (interior)

Todas as argamassas utilizaram na sua composição materiais disponíveis na região de Pelotas e compreenderam um conjunto de doze traços, conforme abaixo descritos:

- 01-Traço padrão - 1:1:6 (ci: ca: ar)

a – 01 CHA -1:1:6 – (ci: cha: ar)

b – 01 CHB -1:1:6 – (ci: chb: ar)

c – 01 CV - 1:1:6 – (ci: cv: ar)

- 02-Traço alemão – 1:0,33:3,7 (ci: ca: ar)+ 5% cz + 0,05% ia + 0,2% hd

a – 02 CHA -1:0,33:3,7 – (ci: cha: ar) + 5% cz + 0,05% ia + 0,2% hd

b – 02 CHB -1:0,33:3,7 – (ci: chb: ar) + 5% cz + 0,05% ia + 0,2% hd

c – 02 CV - 1:0,33:3,7 – (ci: cv: ar) + 5% cz + 0,05% ia + 0,2% hd

- 03-Traço proposto A – 1:1:7 (ci: ca: ar) + 10% cz + 0,05% ia + 0,2% hd

a – 03 CHA -1:1:7 – (ci: cha: ar) + 10% cz + 0,05% ia + 0,2% hd

b – 03 CHB -1:1:7 – (ci: chb: ar) + 10% cz + 0,05% ia + 0,2% hd

c – 03 CV - 1:1:7 – (ci: cv: ar) + 10% cz + 0,05% ia + 0,2% hd

- 04-Traço proposto B – 1:4:14 (ci: ca: ar) + 5% cz + 0,05% ia + 0,2% hd

a – 04 CHA -1:4:14 – (ci: cha: ar) + 5% cz + 0,05% ia + 0,2% hd

b – 04 CHB -1:4:14 – (ci: chb: ar) + 5% cz + 0,05% ia + 0,2% hd

c – 04 CV - 1:4:14 – (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 cinzas adicionada na indústria (em média de 24% em relação a quantidade de clínquer).

Nessa etapa as argamassas foram analisadas desde a caracterização de seus constituintes até ao comportamento de cada uma quanto à permeabilidade à água, porosidade, ascensão de água capilar, resistência à compressão, resistência à tração na flexão, aderência ao suporte, tempo e teor de absorção, tempo e teor de secagem e resistência ao ataque de sais. Este conjunto de ensaios de caracterização e comportamento teve por objetivo principal a avaliação dos revestimentos quanto a susceptibilidade de serem agredidos por umidade e sais. Para as medições “in situ“, foi utilizado um termo-higrômetro, equipamento eletrônico de medição de umidade e temperatura (Figura 7.10).

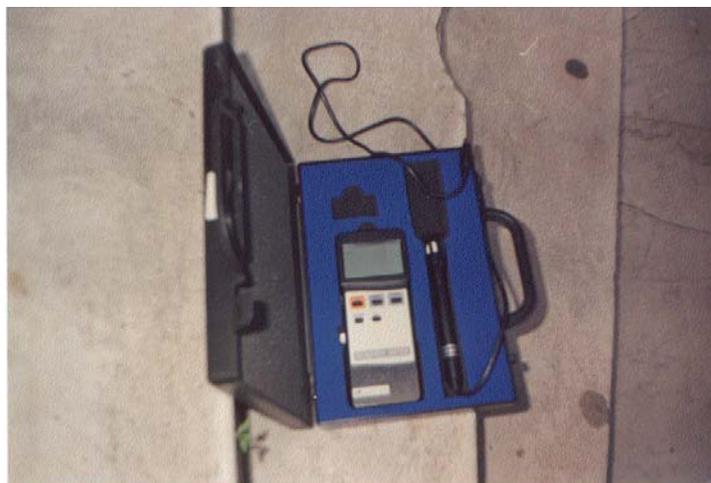


Figura 7.10 – Termo-higrômetro utilizado “in situ” nas medições de umidade e temperatura

As medições e avaliações foram realizadas mediante um lote de provetes cilíndricos e prismáticos, moldados segundo a NBR 5738. Os provetes passaram por um período de cura de 7 dias em ambiente controlado, com temperatura de  $23\pm 2$  °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 de 2000, 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 eleito. Estas áreas compreenderam duas zonas bem definidas: uma exterior, sujeita a insolação e ventilação e outra interior, com pouca ventilação e nenhuma incidência solar (Figuras 7.4 a 7.9). Os revestimentos com aquela argamassa foram executados no mês de Fevereiro de 2001, 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.

---

## **7.2 – SELEÇÃO DOS LOCAIS E DOS MATERIAIS A ENSAIAR**

### **7.2.1 – Critérios gerais**

Os locais a serem analisados no edifício eleito foram definidos com base nas características dos revestimentos existentes (originais à época da construção) e das manifestações de patologia apresentadas. Foram selecionados locais para a investigação, exteriores e interiores, afetados por anomalias causadas pela presença de umidade e sais ou situados muito próximo a essas manifestações. Estas localizações caracterizam áreas bem distintas e de uso diferenciado, que abrangem a construção na sua totalidade (vd. Figura 6.19, onde se apresentam as plantas dos pisos do edifício selecionado).

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.

### **7.2.2 – Seleção dos constituintes das argamassas preconizadas**

#### **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 areis 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 e inchamento.

A areia selecionada foi a proveniente de extração no arroio Pelotas, a qual chamamos de Areia 4, 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, materiais pulverulentos, materiais friáveis, materiais carbonosos e 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 Hidráulica, a Cal Hidráulica 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 100 km 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° 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 [7.12, 7.13, 7.14, 7.19, 7.20, 7.22 e 7.23].

A água utilizada na confecção das argamassas, segundo ASTM C270/1989, 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 micropartículas de ar, uniformemente distribuídas na argamassa. O segundo adjuvante é um hidrofugante (hd), impermeabilizante de pega normal para argamassas com massa volúmica de  $1,05 \text{ g/cm}^3$  a temperatura de  $25^\circ \text{ C}$ .

### 7.2.3 – Rebocos não-tradicionais

As composições das argamassas empregadas no estudo se basearam, 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 Sänierungsplanung) de Munique: argamassas destinadas à recuperação de edifícios históricos afetados por eflorescências [6.1]. 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.

### 7.2.4 – Composições das argamassas

A argamassa de cimento, cal e areia com traço 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 patologia 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 alemão, 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

preconizadas na dosagem alemã, são de uso relativamente comum em algumas regiões do Brasil.

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

### **7.2.5 – Parâmetros analisados**

Os parâmetros analisados foram 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.

## **7.3 – ENSAIOS REALIZADOS E EQUIPAMENTOS UTILIZADOS**

### **7.3.1 – Considerações gerais**

Os ensaios realizados durante a campanha experimental se desenvolveram em duas fases distintas, ou seja, ensaios efetuados no edifício eleito e ensaios laboratoriais. Estes últimos foram efetuados tanto nas amostras extraídas da construção como nos provetes e nos painéis experimentais executados em laboratório e no edifício eleito, onde se avaliaram as características comportamentais das argamassas estudadas.

Para a concretização da campanha experimental, além daqueles ensaios realizados no LRM (Laboratório de Resistência dos Materiais) do curso de Engenharia Civil da UCPel, que cedeu seu espaço, equipamentos e pessoal técnico, contamos com o apoio e equipamentos do LCA (Laboratório de Conforto Ambiental), pertencente à Escola de Engenharia e Arquitetura (EEArq), e com análises químicas do LQ (Laboratório de Química) do Curso de Química, pertencente à Escola de Educação (EE) desta universidade. Também se obteve o apoio da Prefeitura Municipal de Pelotas, que permitiu o acesso e as intervenções no edifício selecionado, além de todas as informações técnicas das cartas climáticas, fornecidas pela Estação Meteorológica da Embrapa-UFPel (Universidade Federal de Pelotas). Nas Quadros 7.1 e 7.2 apresenta-se uma síntese dos ensaios efetuados:

Quadro 7.1 – Ensaio de caracterização do edifício e sobre os materiais constituintes das paredes

Materiais objeto de ensaio		Ensaio “in situ”	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"> <li>• Teor de água</li> <li>• Reconstituição do traço</li> <li>• Identificação de sais solúveis</li> <li>• Absorção de água por capilaridade e secagem da água absorvida</li> </ul>
	Argamassas de assentamento da alvenaria	–	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Teor de água</li> <li>• Reconstituição do traço</li> <li>• Identificação de sais solúveis</li> </ul>
	Tijolos	–	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Identificação de sais solúveis</li> <li>• Formação de eflorescências</li> </ul>
Solo		–	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Teor de água</li> <li>• Identificação de sais solúveis</li> </ul>

Quadro 7.2 – Ensaio sobre as argamassas de reabilitação, sobre os respectivos constituintes e sobre os tijolos dos painéis de ensaio

Materiais objeto de ensaio		Ensaio “in situ”	Ensaio em laboratório
Constituintes das argamassas	Areias	–	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Impurezas orgânicas húmicas</li> <li>• Análise granulométrica</li> <li>• Inchamento</li> <li>• Teor de sais</li> <li>• Densidade</li> </ul>
	Cimento	–	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Análise química (1)</li> <li>• Análise física (1)</li> </ul>
	Cales	–	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Análise química (1)</li> <li>• Análise física (1)</li> </ul>
	Adjuvantes	–	–
Tijolos dos painéis		–	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Formação de eflorescências</li> </ul>
Argamassas	Provetes	–	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Massa específica e índice de vazios</li> <li>• Resistência à compressão</li> <li>• Resistência à tração na flexão</li> <li>• Absorção de água por capilaridade e secagem da água absorvida</li> <li>• Resistência aos sais</li> </ul>
	Painéis (muretes)	–	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aderência ao suporte</li> <li>• Permeabilidade à água</li> </ul>
	Painéis (1)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Comportamento à umidade</li> <li>• Comportamento a sais solúveis</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Comportamento à umidade</li> <li>• Comportamento a sais solúveis</li> </ul>

(1) Resultados fornecidos pelos fabricantes

## 7.3.2 – Ensaios “in situ” e laboratoriais relativos ao edifício selecionado

### 7.3.2.1 – Ensaios “in situ” no edifício selecionado

#### a) Método usado para a medição da temperatura e umidade superficial

A medição da temperatura e da umidade superficial foi efetuada em cinco locais correspondentes a áreas distintas do edifício estudado. Estes locais foram denominados A, B, C, D e E, todos pertencentes ao piso térreo, respectivamente, cave do setor Norte voltado para o Sul, pátio interno do setor Sul voltado para o Norte, pátio dos fundos do setor Leste voltado para o Leste, galeria interna do setor Sul voltada para o Norte e fachada externa do setor Sul voltada para o Norte (vd. Figura 6.19 – 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 E possui reboco em escaiola. Em cada local foram feitas três medições no mesmo paramento, respectivamente à altura de 0,50 m, 1,00 m e 1,50 m 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 termo-higrômetro eletrônico (Figuras 7.11 e 7.12).



Figuras 7.11 e 7.12 – Medições das temperaturas e teor de umidade relativa do ar

### 7.3.2.2 – Ensaios laboratoriais nas amostras extraídas do edifício selecionado

#### a) Método usado para a extração de amostras de revestimento, de tijolos e de solo

A extração de amostras de revestimentos foi feita com a utilização de brocas de ½” (meia polegada), perfurando a profundidades de 2,5 cm, 5,0 cm e 10,0 cm (Figura 7.13). 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, extraíram-se testemunhos maiores (biscoitos), os quais foram igualmente protegidos e transportados para o laboratório para averiguação do teor de água (Figura 7.14). 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.



Figuras 7.13 e 7.14 – Extração de amostras dos revestimentos

Os tijolos a serem ensaiados foram extraídos de partes da construção que apresentavam uma grande área deteriorada, não implicando traumas maiores ao patrimônio (Figuras 7.15 e 7.16).



Figuras 7.15 e 7.16 – 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 75 cm<sup>2</sup> e 3,0 cm, respectivamente, correspondentes aos locais anteriormente selecionados. Estas amostras foram extraídas com o uso de uma ponteira de ferro e martelo de picão (Figura 7.17).



Figura 7.17 – Amostras de revestimentos para ensaios de absorção de água e reconstituição do traço

**b) Método usado para a medição laboratorial do teor de água das amostras de argamassas e do solo do edifício selecionado**

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 %. Estas análises foram realizadas para todas as amostras colhidas, tanto para as argamassas de revestimentos como para as amostras de solo.

**c) Método usado para reconstituição dos traços das amostras de argamassas extraídas da construção**

Uma das etapas do estudo era 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.

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, Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo, e está publicada no Boletim nº 25 de 1940, pág. 77 a 84. 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 e utilizado no presente estudo constituiu-se das seguintes etapas (Figuras 7.18, 7.19, 7.20, 7.21, 7.22, 7.23, 7.24 e 7.25):

- ⇒ pesagem da amostra
- ⇒ destorroamento da amostra
- ⇒ secagem da amostra destorroada em estufa
- ⇒ imersão da amostra seca em solução diluída de ácido clorídrico
- ⇒ filtragem de todo o material em papel filtro
- ⇒ secagem do papel filtro utilizado em estufa a baixa temperatura ou lâmpada
- ⇒ secagem do agregado (areia) em estufa
- ⇒ determinação destas quantidades em percentagem
- ⇒ análise granulométrica da areia seca em estufa
- ⇒ comparação entre os resultados desta análise



Figuras 7.18 e 7.19 – Pesagem e destorroamento



Figuras 7.20 e 7.21 – Secagem e imersão em ácido clorídrico



Figuras 7.22 e 7.23 – Filtragem e secagem do papel filtro



Figuras 7.24 e 7.25 – Análise granulométrica das amostras

#### d) Método usado para a identificação de sais solúveis nas amostras extraídas do edifício selecionado

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, 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 UCPel (Figuras 7.26 a 7.41 – registro fotográfico do ensaio).



Figura 7.26



Figura 7.27



Figura 7.28



Figura 7.29



Figura 7.30



Figura 7.31



Figura 7.32



Figura 7.33



Figura 7.34



Figura 7.35



Figura 7.36



Figura 7.37



Figura 7.38



Figura 7.39



Figura 7.40



Figura 7.41

1) Aparelhagem – os equipamentos necessários ao ensaio são os seguintes:

- ⇒ moinho
- ⇒ peneira 2,4 mm conforme NBR 5734
- ⇒ estufa capaz de manter a temperatura na faixa de  $105 \pm 5^\circ\text{C}$
- ⇒ balança com resolução de 0,1 g e 0,0001 g
- ⇒ balões volumétricos de 1 L e 500 cm<sup>3</sup>
- ⇒ potenciômetro, com escala em mV e resolução de 0,1 mV, com leitura digital
- ⇒ eletrodo de prata metálico combinado com eletrodo de referência de prata / cloreto de prata
- ⇒ agitador magnético
- ⇒ microbureta, classe A, com capacidade de 10 cm<sup>3</sup> e resolução de 0,02 cm<sup>3</sup>
- ⇒ pipetas de 200 cm<sup>3</sup>, 100 cm<sup>3</sup> e 2 cm<sup>3</sup>

2) Procedimento de ensaio - o ensaio está constituído dos seguintes procedimentos:

- ⇒ extração dos sais solúveis
- ⇒ determinação dos sais solúveis

3) Cálculo

3.1) A percentagem de sais solúveis deve ser calculada pela seguinte fórmula:

$$\% \text{ sais solúveis} = \frac{m_2 \times 5}{m_1} \times 100$$

onde:

$m_1$  = massa da amostra original, em g

$m_2$  = massa de sais solúveis, em g

5 = fator de alíquota

3.2) Determinação dos cloretos solúveis –  $\text{Cl}^-$  :

⇒ com duas adições de cloreto de sódio:

$$\% \text{Cl}^- = \frac{0,035453 \times (2V_1 - V_2) \times N \times V \times 5}{m_1 \times (V_2 - V_1)} \times 100$$

⇒ com apenas uma adição de cloreto de sódio:

$$\% \text{Cl}^- = \frac{0,035453 \times V_1 \times N \times V \times 5}{m_1 \times (V_2 - V_1)} \times 100$$

onde:

$V_1$  = volume de nitrato de prata gasto até o primeiro local de equivalência, em  $\text{cm}^3$

$V_2$  = volume de nitrato de prata gasto até o segundo local de equivalência, em  $\text{cm}^3$

$N$  = normalidade da solução de cloreto de sódio

$V$  = volume de solução de cloreto de sódio adicionado cada vez, em  $\text{cm}^3$

$m_1$  = massa da amostra original, em g

0,035453 = miliequivalente de cloreto, em  $\text{g/cm}^3$

5 = fator de alíquota

3.3) Determinação de sulfatos solúveis –  $\text{SO}_4^{2-}$ :

$$\% \text{SO}_4^{2-} = \frac{m_2 \times 2,5 \times 0,412}{m_1} \times 100$$

onde:

$m_1$  = massa da amostra original, em g

$m_2$  = massa de  $\text{BaSO}_4$ , em g

2,5 = fator de alíquota

0,412 = fator de transformação de  $\text{BaSO}_4$  para  $\text{SO}_4$

**e) Método usado para a verificação de manifestações de eflorescência nas amostras dos tijolos extraídos do edifício selecionado e dos tijolos empregados na construção dos painéis experimentais**

No ensaio de eflorescência 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 C67-66 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 uma polegada, por um período de sete dias, num ambiente seco. Havendo mais de uma unidade em cada recipiente, estas deverão estar separadas de no mínimo duas polegadas. A outra unidade de cada par será mantida no mesmo ambiente, sem contato com a água. Depois dos sete dias, coloca-se 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 3,00 m sob iluminação e, se desta forma, ainda for notada a presença de eflorescências, podemos considerar tal patologia como presente no tijolo analisado; caso contrário, sob as mesmas condições, nada for observado, considera-se como fraca eflorescência (Figuras 7.42 e 7.43).



Figuras 7.42 e 7.43 – Análise visual de manifestações de eflorescências

**f) Métodos usados para a determinação de absorção de água por capilaridade e secagem da água absorvida nas amostras de argamassas antigas extraídas do edifício selecionado**

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 (Figuras 7.44, 7.45, 7.46, 7.47).

A técnica de ensaio desenvolvida compreende as seguintes fases:

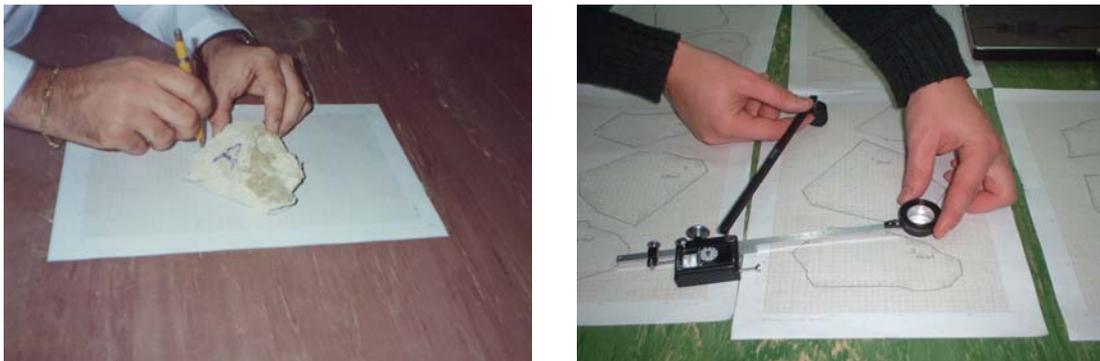
- 1) Preparação dos provetes - selecionam-se pelo menos três provetes de cada uma das amostras e procede-se à sua limpeza com a ajuda de um pincel, de forma a remover as partículas soltas e a colonização biológica menos aderente. Os provetes devem ter, tanto quanto possível, dimensões da mesma ordem de grandeza dos prismas usados nos ensaios normalizados, e, embora possam ser bastante irregulares, devem ter uma face relativamente plana, que ficará em contato com a água;
  - 2) Procedimento de ensaio - faz-se a pesagem do provete seco e da grade de sustentação provida de papel filtro úmido. A grade de sustentação e o papel filtro úmido são colocados na bandeja com água, sobre os suportes, de modo a que a face inferior do papel filtro apenas toque a água. Em seguida, o provete é colocado na grade de sustentação. O papel filtro não deve descer mais de 2 mm abaixo do nível da água, para que a altura de imersão do provete em água possa considerar-se desprezável. Esta posição tem que ser mantida durante a fase de contato com a água. Depois de permanecer nestas condições, o provete é pesado conjuntamente com a grade de sustentação e o papel filtro de 5 em 5 minutos, durante um período de 40 minutos. Em seguida, repete-se o mesmo processo de pesagem aos 60, 90, 180, 300, 400 e 1440 minutos.
- Finalmente, inicia-se a secagem, durante a qual se realizam, também, pesagens periódicas do conjunto (proвете/grade de sustentação/papel filtro). Neste caso, aos 0, 30, 60, 90, 270, 450, 1440, 2880, 4320 minutos ou até ao momento em que não houver mais alteração na massa registrada (Figuras 7.44 e 7.45).



Figuras 7.44 e 7.45 – Pesagem e contato dos provetes com a água

- 3) Cálculos - a água absorvida é determinada através da diferença entre a massa inicial e as massas seguintes, registradas a cada pesagem.

Para medir a área da face irregular em contato com a água, utiliza-se uma folha de papel milimétrico, sobre o qual se coloca o provete para traçar o seu contorno e determina-se a área da figura obtida através de figuras geométricas regulares ou com o uso de um planímetro (Figuras 7.47 e 7.48).



Figuras 7.46 e 7.47 – Medição dos provetes

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  $t_0$  e a diferença entre as raízes quadradas desses tempos:  $C_{cc} = (M_1 - M_0) / (\sqrt{t_1} - \sqrt{t_0})$

### 7.3.3 – Ensaios laboratoriais nos materiais constituintes das argamassas preconizadas

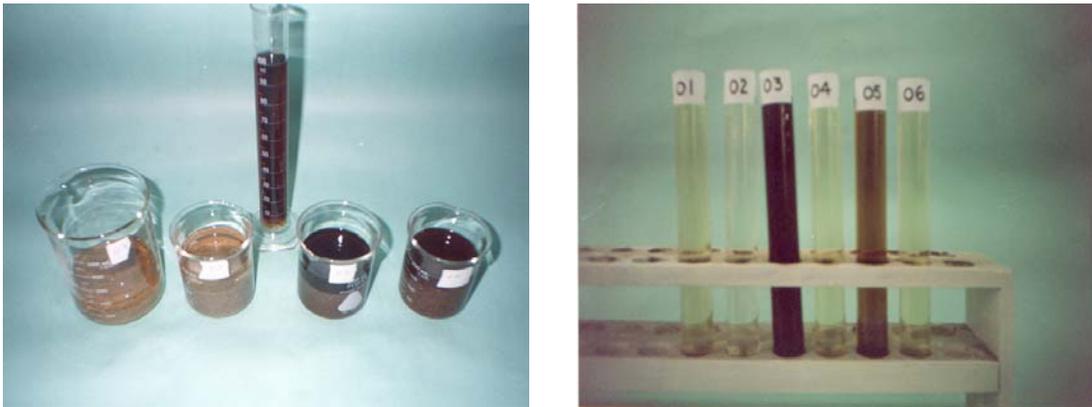
#### 7.3.3.1 - Ensaios nas areias da região

Para análise das areias, tomaram-se seis amostras, correspondentes a seis fornecedores, conforme descrito em 7.2.2(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.

Obs: A areia com melhor comportamento nas análises acima descritas foi submetida ao ensaio para a determinação da massa volúmica aparente.

#### a) Ensaio para determinação de impurezas orgânicas das areias

A determinação do teor de impurezas orgânicas contidas nas areias analisadas foi realizada mediante a NBR 7220/1987, que prescreve o método de determinação colorimétrica de impurezas orgânicas em agregado miúdo destinado ao preparo do concreto (Figuras 7.48 e 7.49).



Figuras 7.48 e 7.49 – Ensaio colorimétrico

1) Para a utilização deste método necessita-se da seguinte aparelhagem:

- ⇒ balança com resolução de 0,01 g e capacidade mínima de 1 kg;
- ⇒ béquer de 1 l;
- ⇒ provetas graduadas de 10 ml e 100 ml;

- ⇒ frasco erlenmeyer com rolha esmerilhada, de 250 ml;
- ⇒ funil de haste longa;
- ⇒ papel filtro qualitativo;
- ⇒ tubos Nessler de 100 ml.

## 2) Reagentes:

- ⇒ água destilada ou deionizada;
- ⇒ hidróxido de sódio com 90 ou 95% de pureza;
- ⇒ ácido tânico p.a.;
- ⇒ álcool 95%.

## 3) Preparo das soluções:

- ⇒ solução de hidróxido de sódio 3%
  - hidróxido de sódio.....30 g
  - água.....970 g
- ⇒ solução de ácido tânico a 2%:
  - ácido tânico.....2 g
  - álcool.....10 ml
  - água.....90 ml

## 4) Procedimento do ensaio:

- ⇒ num frasco erlenmeyer, adiciona-se 200 g de agregado miúdo seco ao ar e 100 ml da solução de hidróxido de sódio, agitar e deixa-se repousar por 24 horas;
- ⇒ após as 24 horas, filtra-se com papel filtro e recolhe-se a solução num tubo Nessler;
- ⇒ simultaneamente ao primeiro procedimento, prepara-se uma solução padrão, adicionando 3 ml da solução de ácido tânico, 97 ml da solução de hidróxido de sódio, agitar e repousar por 24 horas. Após essa operação, transferir para tubo Nessler;
- ⇒ comparar a coloração da solução obtida da mistura de agregado com 100 ml de hidróxido de sódio à coloração da solução padrão; se for mais escura que a solução padrão, o agregado miúdo é impróprio ao uso.

**b) Ensaio para a determinação da composição granulométrica das areias**

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

**1) Aparelhagem:**

- ⇒ balança com resolução de 0,1% de massa da amostra de ensaio
- ⇒ estufa para secagem
- ⇒ peneiros das séries normais e intermediários, tampa e fundo
- ⇒ agitador mecânico dos peneiros
- ⇒ bandejas
- ⇒ escova ou pincel de cerdas macias
- ⇒ fundo avulso de peneiros ou encerado de lona

**2) Execução do ensaio:**

- ⇒ coletar amostras de igual massa de agregado conforme NBR 7216;
- ⇒ secar as amostras em estufa (105-110 °C), esfriar a temperatura ambiente e determinar suas massas ( $M_1$  e  $M_2$ ). Tomar a amostra correspondente à massa  $M_1$  e manter em reserva a massa  $M_2$ ;
- ⇒ encaixar os peneiros, previamente limpos e com fundo na base, de modo a formar um conjunto único, com aberturas de malha em ordem crescente de baixo para cima;
- ⇒ colocar a amostra ou porções da mesma e agitar mecanicamente o conjunto, caso não haja agitador mecânico, cada peneiro poderá ser agitado manualmente por um tempo mínimo de 2 minutos;
- ⇒ cada quantidade de material retida por peneiro deverá ser reservada, identificada e pesada, o somatório de todas as massas não deve diferir mais de 0,3% da massa inicial da amostra seca;
- ⇒ repetir estas etapas com a amostra  $M_2$ .

### 3) Cálculos:

- ⇒ em cada peneiro calcular a porcentagem retida, em massa, com aproximação de 0,1%;
- ⇒ calcular as porcentagens médias retidas e acumuladas, em cada peneiro, com aproximação de 1%;
- ⇒ determinar o módulo de finura, com aproximação de 0,01%.

### c) Ensaio para a determinação do 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 (Figuras 7.50 e 7.51).



Figuras 7.50 e 7.51 – Ensaio de inchamento

#### 1) Aparelhagem:

- ⇒ bandeja metálica com  $\phi$  0.80 m
- ⇒ balança com resolução de 100 g e capacidade mínima de 50 kg
- ⇒ balança com resolução de 0,01 g e capacidade mínima de 200 g
- ⇒ recipiente paralelepípedo, conforme a NBR 7251
- ⇒ régua rígida com comprimento da ordem de 500 mm aproximadamente
- ⇒ estufa para secagem
- ⇒ concha ou pá
- ⇒ dez cápsulas com tampa, para acondicionamento e secagem de amostras de areia, com capacidade de 50 ml

⇒ proveta graduada de vidro com capacidade mínima de 1000 ml

⇒ misturador mecânico (opcional)

## 2) Execução do ensaio:

⇒ secar a amostra de ensaio em estufa (105-110°C) até constância de massa e esfriá-la até a temperatura ambiente;

⇒ colocar a amostra na bandeja metálica, homogeneizar e determinar a massa unitária, segundo a NBR 7251;

⇒ adicionar água sucessivamente de modo a obter teores de umidade próximos aos seguintes valores: 0,5%, 1%, 2%, 3%, 4%, 5%, 6%, 7%, 8%, 9%, 10%, 11%, 12%. Homogeneizar cuidadosamente a amostra, a cada adição de água, por agitação manual com pá misturadora e coletar uma amostra para determinação da umidade. Executar, simultaneamente, a determinação da massa unitária, segundo a NBR 7251;

⇒ determinar a massa de cada cápsula com a amostra coletada ( $M_i$ ), destapar, secar em estufa a (105 a 110° C) e determinar sua massa ( $M_f$ ).

## 3) Cálculos:

⇒ calcular o teor de água das amostras através da seguinte expressão:

$$h = \frac{M_i - M_f}{M_f - M_c} \times 100$$

onde:

h= teor de água do agregado, em %

$M_i$ = massa da cápsula com o material coletado durante o ensaio, em g

$M_f$ = massa final da cápsula com material coletado após secagem em estufa, em g

$M_c$ = massa da cápsula, em g

⇒ calcular o coeficiente de inchamento para cada teor de umidade, de acordo com a expressão:

$$\frac{V_h}{V_o} = \frac{\gamma_s}{\gamma_h} \times \frac{(100 + h)}{100}$$

onde:

$V_h$ = volume do agregado com h% de umidade, em  $\text{dm}^3$

$V_o$ = volume do agregado seco em estufa, em  $\text{dm}^3$

$V_h/V_o$ = coeficiente de inchamento

$\gamma_s$ = massa unitária do agregado seco em estufa, em  $\text{kg}/\text{dm}^3$

$\gamma_h$ = massa unitária do agregado com h% de umidade, em  $\text{kg}/\text{dm}^3$

h= teor de umidade do agregado, em %

⇒ assinalar os pares de valores (h,  $V_h/V_o$ ) em gráfico e traçar a curva de inchamento;

⇒ determinar a umidade crítica na curva de inchamento;

⇒ determinar o coeficiente de inchamento.

#### **d) Ensaio para a determinação do teor de sais nas areias**

A determinação dos teores de sais solúveis segue o recomendado pela NBR 9917, conforme descrito em 7.5.1.e.

#### **e) Ensaio para a determinação da massa volúmica aparente da areia destinada ao trabalho**

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

##### **1) Aparelhagem:**

⇒ balança com limite de erro  $\pm 0,5\%$  das massas a determinar

⇒ recipiente paralelepípedo de material metálico, com espessura apropriada ou reforço conveniente de modo a torná-lo indeformável, com as características indicadas no Quadro 7.3;

⇒ régua rígida com comprimento da ordem de 500 mm aproximadamente

⇒ estufa para secagem (105-110 °C)

⇒ concha ou pá.

Quadro 7.3 – Características do equipamento para ensaio

Ø máximo do agregado (mm)	Dimensões mínimas		Volume mínimo (dm <sup>3</sup> )
	Base (mm)	Altura (mm)	
≤ 4,8	316 x 316	150	15
> 4,8 e ≤ 50	316 x 316	200	20
> 50	447 x 447	300	60

2) Amostra:

⇒ a amostra a ser ensaiada deve ter pelo menos o dobro do volume do recipiente utilizado;

⇒ sempre que a amostra ensaiada não estiver no estado seco, deve ser indicado o teor de umidade correspondente, com precisão de 0,1%.

3) Execução do ensaio:

⇒ o recipiente é cheio por meio de uma concha ou pá, sendo o agregado lançado de uma altura de 10 a 12 cm do topo do recipiente, tomando todos os cuidados para prevenir uma eventual segregação das partículas que constituem a amostra;

⇒ a superfície do agregado é alisada com uma régua metálica;

⇒ o recipiente é pesado com o material nele contido. A massa do agregado solto é a diferença entre a massa do recipiente cheio e a massa do recipiente vazio.

4) Resultados:

⇒ a massa volúmica do agregado solto é a média dos resultados individuais obtidos em pelo menos três determinações, dividindo-se a massa do agregado pelo volume do recipiente utilizado;

⇒ os resultados individuais de cada ensaio não devem apresentar desvios maiores que 1% em relação à média;

⇒ a massa volúmica no estado solto é dada em kg/dm<sup>3</sup>, com aproximação de 0,01 kg/dm<sup>3</sup>.

### 7.3.3.2 - Características do cimento utilizado

O cimento utilizado nas argamassas trabalhadas foi um cimento portland pozolânico (PROVETEIV 32), cujas características físicas e químicas (fornecidas pelo fabricante) são apresentadas no Quadro 7.4.

Quadro 7.4 – Características do cimento

Características	Determinações	Valores
Químicas	SiO <sub>2</sub>	36,40 %
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	9,58 %
	CaO	38,33 %
	SO <sub>3</sub>	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
Resíduo #325		4,50 %
Consistência normal		36,10 %
Massa específica		2,70 g/cm <sup>3</sup>
Blaine		4160 cm <sup>2</sup> /g
Início de pega		540 min.
Final de pega		650 min.
Expansibilidade a frio		1,50 mm
Expansibilidade a quente		0,00 mm
Resíduo insolúvel		34,72 %

### 7.3.3.3 - Caracterização das cales da região

As cales encontradas e comercializadas na região Sul do País são basicamente aquelas 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 hidráulica. Abaixo, no esquema fornecido pela indústria DB, estão demonstradas as reações químicas que ocorrem com a rocha calcária, até chegar à argamassa endurecida (Figura 7.52). 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.

Ciclo da cal

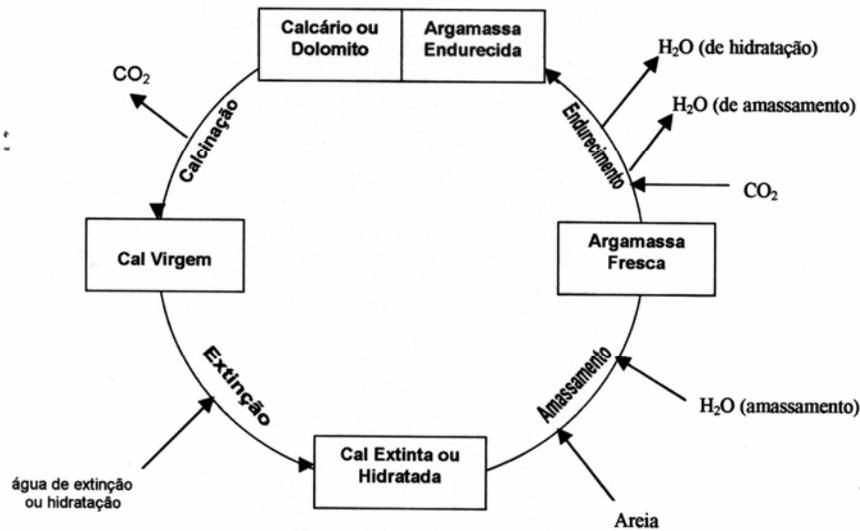


Figura 7.52 – Ciclo da cal

### 1) Cal aérea 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 no Quadro 7.5.

Quadro 7.5 – Características químico-física da cal aérea concentrada (virgem)

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

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

## 2) Cal aérea hidratada (extinta)

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 no Quadro 7.6.

Quadro 7.6 – Características químico-física da cal aérea hidratada (extinta)

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

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

## 3) Cal hidráulica

A cal hidráulica industrializada e comercializada na região de Pelotas é obtida através da adição adequada de cinzas volantes à cal aérea hidratada. A quantidade de cinzas volantes adicionadas é, em média, de 24%. 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 no Quadro 7.7.

Quadro 7.7 – Características químico-físicas da cal hidráulica

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

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

### 7.3.3.4 - Caracterização dos adjuvantes utilizados

Os adjuvantes utilizados estão descritos em 7.2.2 (b), embora de forma bastante sucinta, pois os fabricantes não fornecem a maioria das características químicas e físicas dos produtos.

## 7.3.4 - Ensaios das argamassas de reabilitação

### 7.3.4.1 – Considerações gerais

As argamassas preconizadas 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 (vide 7.1), os quais foram aplicados nos painéis montados em laboratório e nas áreas selecionadas no edifício estudado. De cada argamassa foram moldados provetes cilíndricos e prismáticos, em número suficiente para a realização dos ensaios pretendidos.

As argamassas aplicadas nos painéis, tanto em laboratório como “in situ”, seguiram uma seqüência de trabalho equivalente àquela desenvolvida normalmente em obra, ou seja, salpico e aplicação da argamassa de revestimento, garantindo, assim, a realização dos ensaios de aderência ao suporte, de permeabilidade aos efeitos da água exterior (chuva) e da avaliação

do comportamento mediante a presença de umidade ascensional e sais solúveis, mais próximos da realidade ocorrida nas construções.

Já os provetes 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.

#### 7.3.4.2-Ensaio com os provetes moldados com as argamassas preconizadas

##### a) Ensaio de absorção de água por capilaridade e secagem da água absorvida

Este ensaio foi realizado em provetes prismáticos, com dimensões de 40 mm x 40 mm x 160 mm, de todas as doze argamassas trabalhadas no estudo. Os provetes usados no ensaio possuíam oito meses de idade e passaram, após um período de 28 dias de condicionamento termo-higrométrico, por molhagens e secagens sucessivas. Estas condições, a que foram submetidos os provetes, 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 7.3.2.2(f), correspondendo aos procedimentos preconizados no relatório 140/00–NCCt do LNEC. Apresentam-se os registros fotográficos do ensaio nas Figuras 7.53, 7.54 e 7.55.



Figuras 7.53, 7.54 e 7.55 – Pesagem dos provetes secos, absorção por capilaridade e pesagem umedecida.

##### b) Ensaio para determinação da massa volúmica e do índice de vazios nos provetes de argamassa de reabilitação

Os valores obtidos para a massa específica e para o índice de vazios nos provetes 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, donde foram utilizados três provetes cilíndricos (50 mm de diâmetro e 100 mm de altura) para cada tipo de argamassa, totalizando 36 provetes a ensaiar. Abaixo se descreve uma síntese do ensaio (Figuras 7.56 e 7.57).



Figuras 7.56 e 7.57 – Secagem e pesagem dos provetes

a) Aparelhagem:

- ⇒ balança hidrostática - uma balança sensível a 0,025% da massa das amostras
- ⇒ recipientes - um recipiente adequado para imersão e fervura das amostras
- ⇒ estufa - com dimensões internas apropriadas para armazenar as amostras de argamassa à temperatura de  $(105 \pm 5) ^\circ\text{C}$

b) Provetes:

- ⇒ os provetes são moldados segundo a NBR 7215, conforme descrito para o ensaio de resistência à compressão.

c) Execução do ensaio:

- ⇒ secagem em estufa à temperatura de  $(105 \pm 5)^\circ\text{C}$

- Determinar a massa da amostra ao ar e mantê-la em estufa à temperatura de  $(105 \pm 5)$  °C. Determinar a massa da amostra após permanência na estufa por 24 horas, 48 horas e 72 horas.
- Resfriar a amostra ao ar seco à temperatura de  $(23 \pm 2)$  °C, de preferência em dessecador, e determinar a massa.
- Para referência, registrar a massa da amostra após 72 horas de permanência na estufa e informar complementarmente as medidas intermediárias da massa.  
⇒ saturação em água à temperatura de  $(23 \pm 2)$  °C
- Proceder à imersão da amostra em água à temperatura de  $(23 \pm 2)$  °C, durante 72 horas, conforme descrito abaixo.
- A amostra deve ser mantida com 1/3 de seu volume imerso nas quatro primeiras horas, 2/3 nas quatro horas subseqüentes, e deve ser completamente imersa nas 64 horas restantes.
- Determinar a massa às 24, 48 e 72 horas de imersão. As determinações devem ser efetuadas após enxugar-se a amostra à superfície com toalha absorvente.
- Para referência, registrar a massa da amostra após 72 horas de imersão em água, informar complementarmente as medidas intermediárias das massas.  
⇒ saturação em água levada à ebulição
- Completar a etapa de saturação em água à temperatura de  $(23 \pm 2)$  °C, e colocar a amostra num recipiente cheio d'água, que deve ser progressivamente levado à ebulição, a qual deve começar entre 15 e 30 minutos. A ação da água quente deve durar 5 horas.
- Deixar, a seguir, a água resfriar, pela perda normal de calor, por não menos que 14 horas, até a temperatura de  $(23 \pm 2)$  °C. A seguir retirar a amostra da água, enxugando-a e pesando-a.  
⇒ massa da amostra imersa em água
- Após completar a saturação, sem e com fervura, proceder à pesagem em balança hidrostática, anotando a massa da amostra imersa em água.

## d) Resultados:

Usando as massas determinadas de acordo com os procedimentos acima descritos, fazer os seguintes cálculos através da média de três amostras de ensaio:

⇒ absorção após imersão em água à temperatura de  $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$ , em porcentagem =  $[(B - A) / A] \times 100$ ;

⇒ absorção após imersão e fervura, em porcentagem =  $[(C - A) / A] \times 100$ ;

⇒ índice de vazios após saturação em água, em porcentagem =  $[(B - A) / (B - D)] \times 100$ ;

⇒ índice de vazios após saturação e fervura, em porcentagem =  $[(C - A) / (C - E)] \times 100$ ;

⇒ massa específica da amostra seca =  $[A / (C - D)]$ ;

⇒ massa específica da amostra após saturação =  $[B / (C - D)]$ ;

⇒ massa específica da amostra após saturação e fervura =  $[C / (C - D)]$ ;

⇒ massa específica real =  $[A / (A - D)]$ .

onde:

A = massa da amostra seca em estufa, em gramas;

B = massa da amostra saturada em água à temperatura de  $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$  com superfície seca, em gramas;

C = massa da amostra com superfície seca, após saturação em água à temperatura de  $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$ , e fervura em água em ebulição durante 5 horas, em gramas;

D = massa da amostra após saturação em água à temperatura de  $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$ ;

E = massa da amostra após saturação em água à temperatura de  $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$ , e fervura em água em ebulição durante 5 horas, em gramas.

### c) Ensaio de resistência à compressão

O ensaio de resistência à compressão foi realizado segundo a NBR 7215 e aplicado em provetes cilíndricos moldados com as argamassas usadas nos revestimentos dos painéis ensaiados. Os provetes possuem 50 mm de diâmetro e 100 mm 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 provete. 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 provetes 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 provetes são capeados com uma mistura de enxofre com caulim, em proporções que não interfiram com o resultado do ensaio.

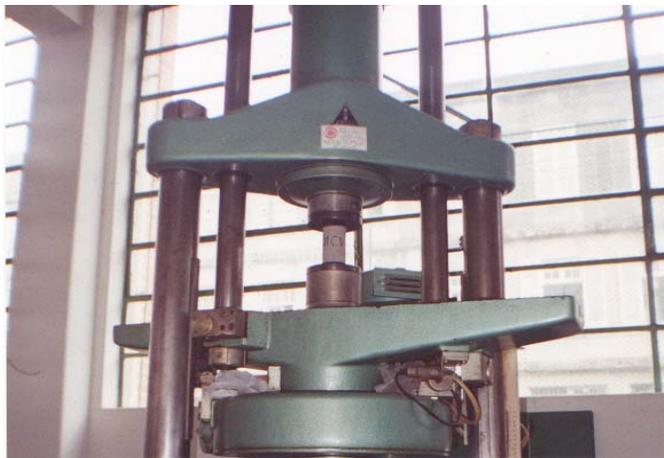
Para a efetivação dos ensaios foram moldados 6 provetes para cada tipo de argamassa preconizada, totalizando 72 provetes, e estes foram agrupados de acordo com as idades previstas para o rompimento (Figuras 7.58, 7.59, 7.60, 7.61, 7.62, 7.63 e 7.64).



Figuras 7.58 e 7.59 – Moldagem dos provetes



Figuras 7.60, 7.61 e 7.62 – Condicionamento termo-higrométrico, cura em cal e capeamento dos provetes



Figuras 7.63 e 7.64 – Ensaio de resistência à compressão

a) Aparelhagem:

- ⇒ balanças com resolução de 0,1 g e carga mínima de 1000 g;
- ⇒ misturador mecânico;
- ⇒ molde metálico com diâmetro interno  $(50 \pm 1)$  mm e altura  $(100 \pm 2)$  mm;
- ⇒ soquete em material não corrosivo;
- ⇒ máquina de ensaio de compressão;
- ⇒ acessórios diversos (paquímetro/ régua metálica/ placas de vidro/ espátula).

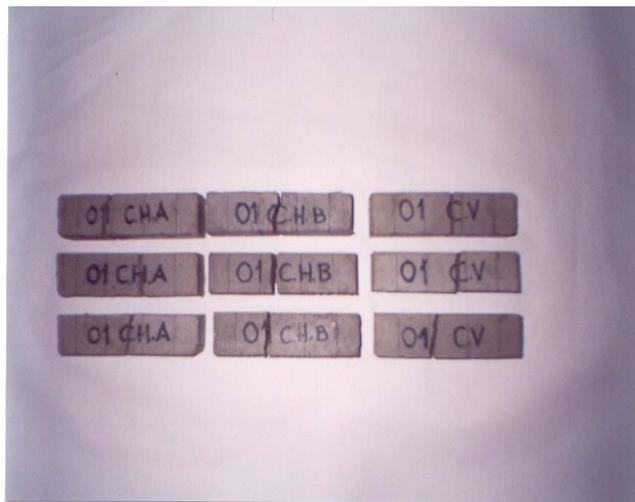
b) Resultados: Ver Quadros dos ensaios (capítulo 8).

**d) Ensaio de resistência à tração na flexão**

A determinação da resistência à tração na flexão em provetes prismáticos foi realizada segundo a NBR 12142. Os provetes são moldados em formas metálicas, no caso, com capacidade para três provetes cada uma. Os provetes são mantidos, nas primeiras 24 horas, em condicionamento termo-higrométrico (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 7.65, 7.66, 7.67, 7.68 e 7.69).



Figuras 7.65 e 7.66 – Moldagem e condicionamento dos provetes prismáticos (mesa vibratória e proteção com lâmina de vidro)



Figuras 7.67, 7.68 e 7.69 – Ensaio de resistência a tração na flexão e provetes ensaiados

## b) Aparelhagem:

- ⇒ máquina de ensaio;
- ⇒ forma para moldar provetes;
- ⇒ dispositivo de flexão (Figura 7.70);
- ⇒ espátula metálica;
- ⇒ lâmina de vidro;
- ⇒ mesa vibratória.

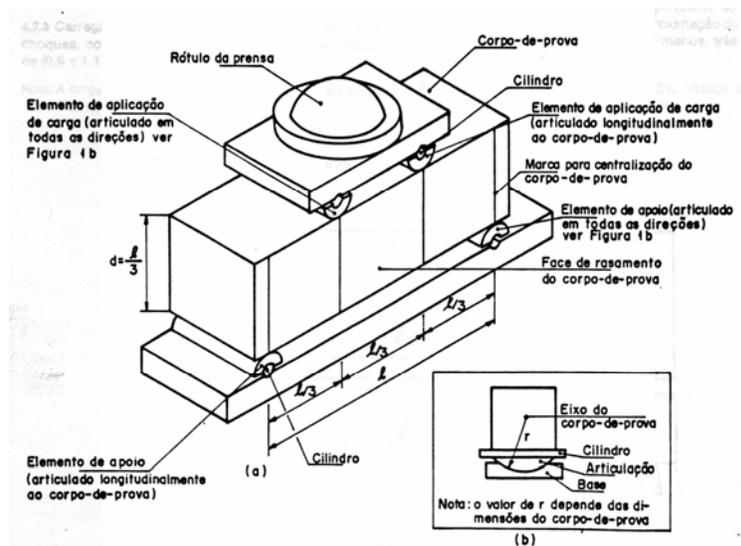


Figura 7.70 – Dispositivo de flexão

## c) Provetes:

Os provetes devem obedecer ao disposto na MB-2 e devem ser cuidadosamente preparados, antes do ensaio propriamente dito, da seguinte forma:

⇒ na face de rasamento e na oposta (correspondente ao fundo da forma), devem ser traçadas linhas (Figura 7.70), de modo a facilitar a centralização do corpo-de-prova no dispositivo de carregamento

⇒ caso haja irregularidade na superfície do provete nos locais de contato com os elementos de apoio e de aplicação de carga, de forma que, numa extensão maior que 25 mm, ocorra afastamento de 0,1 mm ou mais, a superfície do provete, nestes locais, deve ser capeada com material especificado na MB-2.

## d) Procedimento:

Os provetes devem ser apoiados e centralizados no dispositivo de carregamento, assim como o dispositivo na máquina de ensaio. O acionamento deve ser iniciado com carga nula até o momento em que o provete entre em contato com os elementos de aplicação de carga. O carregamento deve ser contínuo e sem choques, com crescimento constante a uma velocidade de (0,9 a 1,1) MPa/min, até a ruptura. Determinar, na seção onde ocorreu a ruptura, com o uso de um paquímetro, a altura e a largura média (média de três determinações) do provete.

## e) Resultados:

Ocorrendo a ruptura no terço médio da distância entre os elementos de apoio, a resistência à tração na flexão será calculada pela seguinte expressão:

$$f_{ctM} = pl / bd^2$$

onde:

$f_{ctM}$  = resistência à tração na flexão, em MPa

$p$  = carga máxima aplicada, em N

$l$  = distância entre cutelos de suporte, em mm

$b$  = largura média do corpo-de-prova na seção de ruptura, em mm

$d$  = altura média do corpo-de-prova na seção de ruptura, em mm

Caso a ruptura ocorra fora do terço médio, a uma distância deste não superior a 5% de  $l$  (Figura 7.71), calcula-se a resistência à tração na flexão pela expressão:

$$f_{ctM} = 3 Pa / bd^2$$

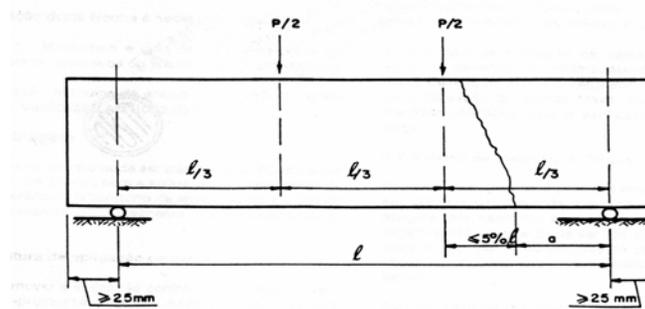


Figura 7.71 – Pontos de ruptura

onde:

a = distância média entre a linha de ruptura na face tracionada e a linha correspondente ao apoio mais próximo.

Obs.: Caso a ruptura ocorra além dos 5% citados, o ensaio não tem validade.

### e) Ensaio para a avaliação da resistência aos sais solúveis

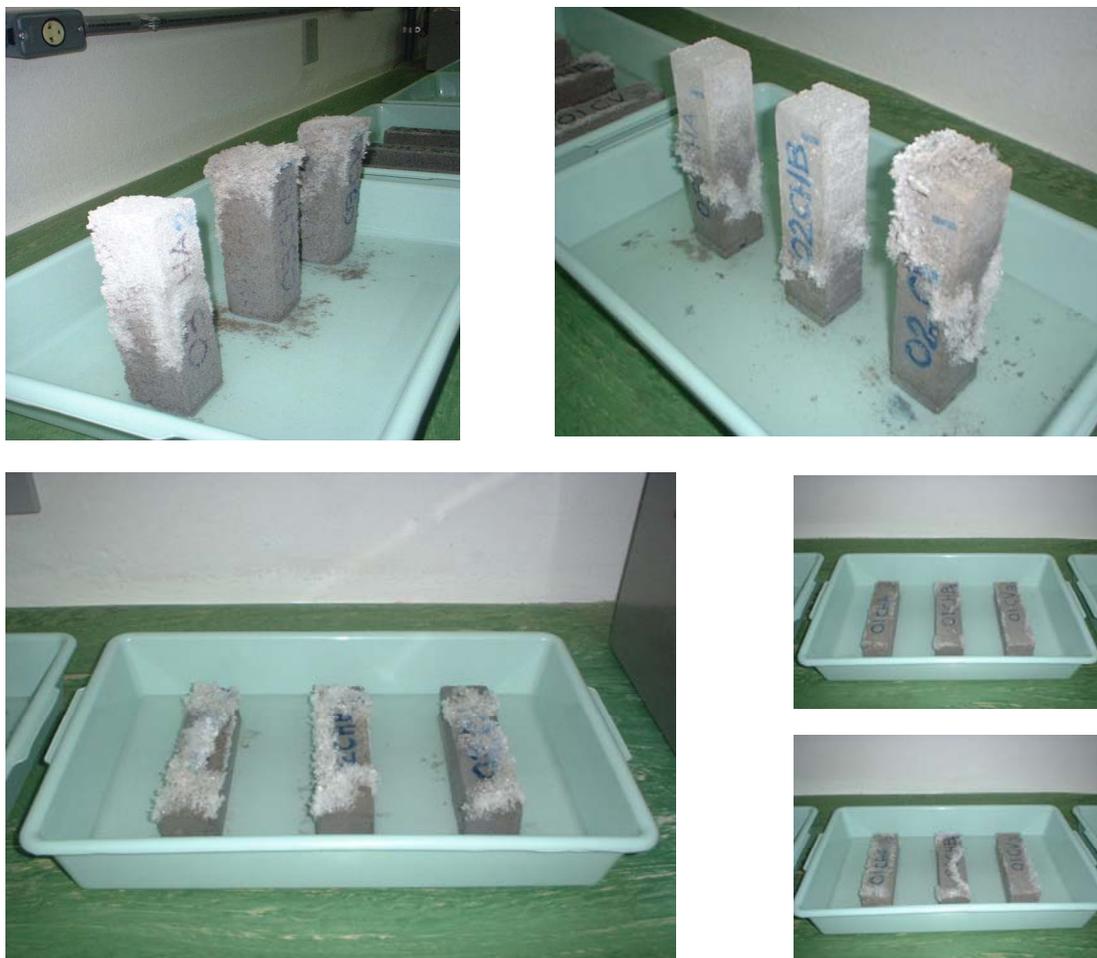
O presente ensaio baseou-se na metodologia desenvolvida pelo LNEC, em seu relatório 240/00-NCCT, e consiste nos seguintes procedimentos.

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

Os provetes prismáticos foram colocados em duas posições alternativas: um na vertical (com uma das faces de 40 mm x 40 mm para baixo) e outro na horizontal (com uma das faces de 160 mm x 40 mm para baixo), e ficaram em imersão parcial em solução aquosa de sulfato de sódio a 5% durante um período de 10 dias em contínuo (Figuras 7.72, 7.73 e 7.74). Após este prazo, foram colocados a secar ao ar, em ambiente condicionado a  $23\pm 2$  °C e  $50\pm 5\%$  de umidade relativa e, a partir desta fase, observou-se a manifestação das possíveis formações eflorescentes e suas conseqüentes degradações (Figuras 7.75, 7.76, 7.77, 7.78 e 7.79).



Figuras 7.72, 7.73 e 7.74 – Imersão parcial dos provetes em solução aquosa de sulfato de sódio a 5%



Figuras 7.75, 7.76, 7.77, 7.78 e 7.79 – Manifestações de eflorescências nos provetes ensaiados

### 7.3.4.3 - Ensaio das argamassas preconizadas, aplicadas nos painéis experimentais montados em laboratório

#### a) Ensaio de aderência ao suporte

O ensaio de resistência de aderência à tração foi desenvolvido segundo a metodologia proposta por GEYER (1994), utilizando o equipamento desenvolvido pela EPUSP (Escola Politécnica da Universidade de São Paulo), conforme detalhado na Figura 7.80.

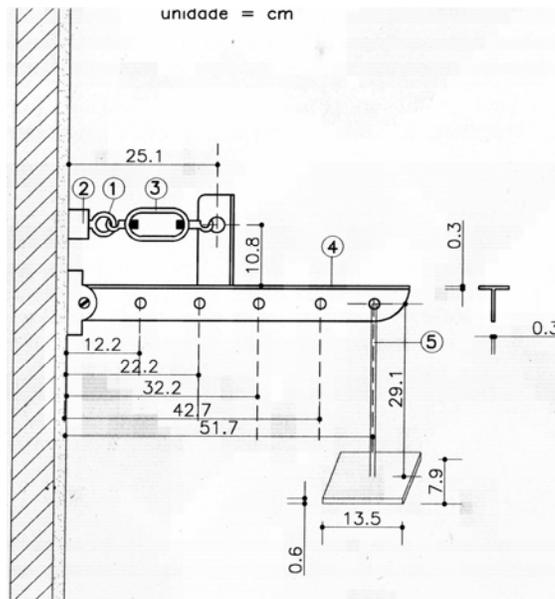


Figura 7.80 – Equipamento para ensaio de aderência ao suporte

a) 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

b) Metodologia de execução do ensaio

O ensaio consiste em se cortar os provetes (PROVETE), 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 5 cm de diâmetro interno, acoplada numa furadeira elétrica refrigerada.

Após o corte dos provetes promove-se a limpeza da superfície dos mesmos a fim de eliminar grãos soltos ou poeiras. Quando os provetes já estão limpos e secos cola-se sobre eles, com adesivo de secagem ultra-rápido (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 provete 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 1 kg, dá-se o arrancamento do provete. 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 provete), colocando-se uma placa de 0,5 kg a cada 10 segundos ou de 1 kg a cada 20 segundos (método usado), que resulta numa taxa aproximada de 0,1 kg/cm<sup>2</sup>.s, para o furo número 5 (Figuras 7.81, 7.82, 7.83 e 7.84).



Figuras 7.81, 7.82, 7.83 e 7.84 – Ensaio de aderência ao suporte

**b) Ensaio de permeabilidade à água**

Para a averiguação da permeabilidade à água superficial das argamassas preconizadas e aplicadas nas painéis laboratoriais foi utilizado o ensaio do método do cachimbo (POLISSENI, 1986) (Figuras 7.85, 7.86, 7.87 e 7.88).

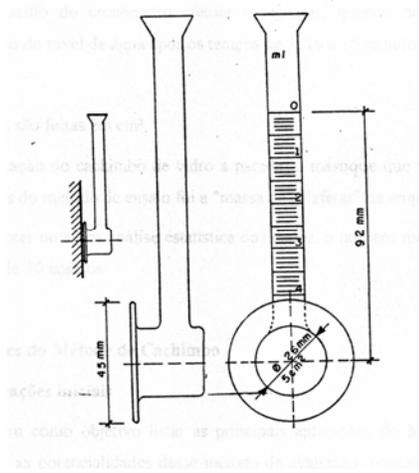
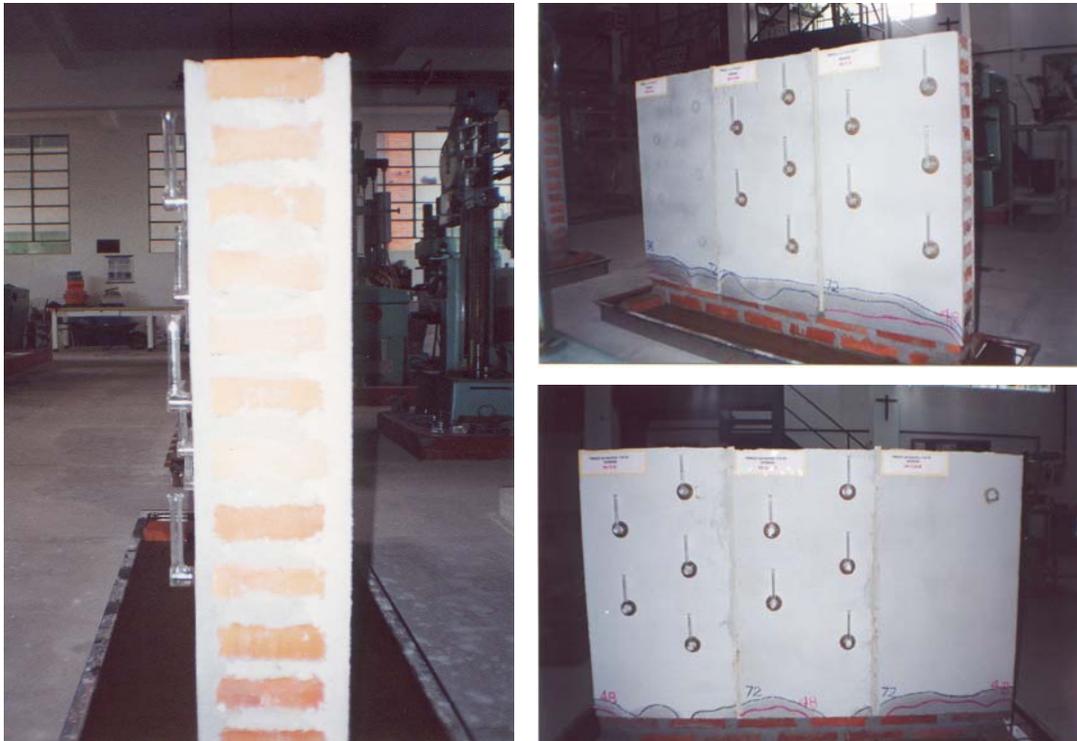


Figura 7.85 – Equipamento para ensaio de permeabilidade à água



Figuras 7.86, 7.87 e 7.88 – Ensaio de permeabilidade à água

O objetivo do método é a determinação em laboratório ou “in loco” 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 92 mm de altura, que corresponde à ação estática do vento com velocidade de aproximadamente 0,28 m/s calculada por meio da equação (1.1), onde a altura da coluna de água corresponde à pressão ( $\text{kgf/m}^2$ ) exercida por esta coluna (1 mm de coluna de água corresponde a  $1 \text{ kgf/m}^2 \cong 10 \text{ Pa}$ ).

$$Q = v^2/16 \quad (1.1)$$

onde:

Q = pressão estática do vento ( $\text{kgf/m}^2$ )

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.

## a) Aparelhagem:

- ⇒ um cachimbo de vidro, confeccionado conforme recomendações do Centre Scientifique et Technique de la Construction – CSTC;
- ⇒ uma pisseta plástica (frasco lavador) com capacidade de 500 ml;
- ⇒ 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.

## b) Procedimentos para realização do ensaio:

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

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

## c) Observações:

- ⇒ as leituras são feitas em  $\text{cm}^3$ ;
- ⇒ 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 7.3.1.1(d), a norma NBR 9917/1987.

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 - MODELO EXPERIMENTAL ADOTADO**

Para a análise comportamental das argamassas propostas no estudo considerou-se, além dos provetes e dos ensaios normalizados, que a aplicação destas argamassas, como revestimento de reboco, em painéis experimentais permitiria uma maior aproximação com a realidade, donde se poderia identificar as possíveis anomalias e as conseqüentes patologias, advindas das condições nas quais estas painéis estão submetidas.

Os painéis experimentais executados em laboratório foram aplicados em duas paredes de alvenaria de tijolos maciços assentes com argamassa de cimento, cal hidráulica e areia média-fina (1 : 1 : 6), usual na região de Pelotas. Cada parede possui a largura de 1,50 m, altura total de 1,10 m e 0,11 m 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 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 preconizadas, dividida nas suas três variações, conforme dosagem quantitativa de aglomerantes, agregados e adjuvantes (vide 7.1). Cada face das paredes foi chamada, conforme a posição geográfica, de Norte e Sul, apenas para identificar para que lado estas faces estavam voltadas (Figuras 7.89, 7.90, 7.91, 7.92).

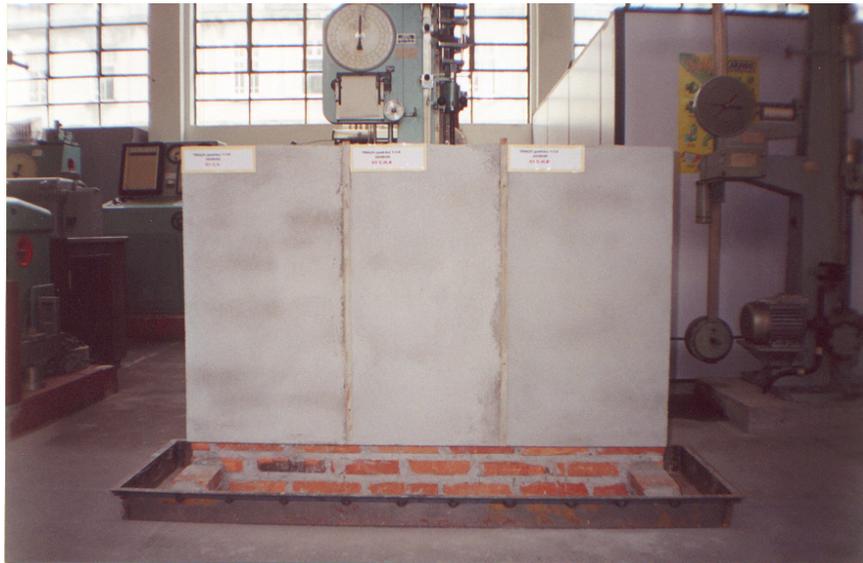


Figura 7.89 - Painel 1: Face Norte, possui como revestimento as argamassas padrão 01CHA, 01CHB e 01CV (usuais na região de Pelotas).



Figura 7.90 - Painel 1: Face Sul; possui como revestimento as argamassas alemãs 02CHA, 02CHB e 02CV.



Figura 7.91 - Painel 2: Face Norte; possui como revestimento as argamassas 03CHA, 03CHB e 03CV (propostas).



Figura 7.92 - Painel 2: Face Sul; possui como revestimento as argamassas 04CHA, 04CHB e 04CV (propostas).

Os revestimentos aplicados nos painéis não receberam nenhum cuidado especial 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 0,20 m (0,10 m dentro da tina e 0,10 m 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 propostas.

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 0,09 m, 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 termo-higrométricas 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 reconstituição 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. Os painéis experimentais executados no edifício selecionado foram observados e tiveram, assim como os painéis experimentais executados em laboratório, o seu desempenho registrado, conforme se relata a seguir.

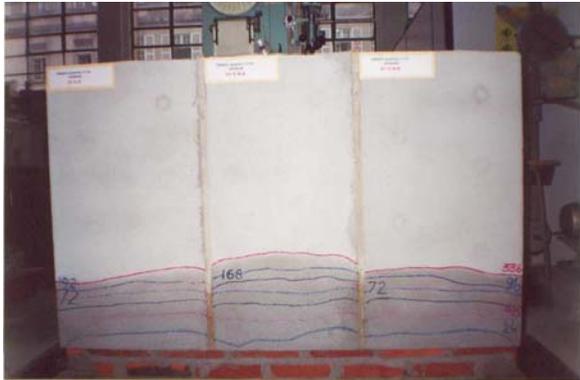
## **7.5 - OBSERVAÇÃO E APRECIÇÃO DAS ARGAMASSAS DE REABILITAÇÃO APLICADAS NOS PAINÉIS EXPERIMENTAIS**

### **7.5.1 Nos painéis executados em laboratório**

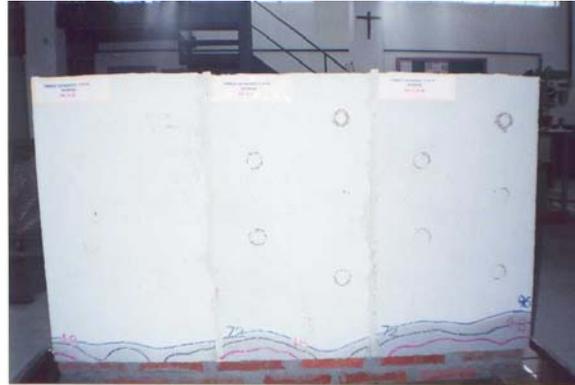
As argamassas aplicadas como revestimento nos painéis experimentais ficaram sujeitas às ações da umidade e dos sais solúveis, de acordo com a sequência de operações descrita em 7.4.

A primeira etapa, em que as paredes foram submetidas à presença de água, teve uma duração de cinco meses, ao longo dos quais se registrou a ascensão da água por capilaridade e se procedeu a medições das áreas afetadas pela umidade. Antes de se realizar a segunda etapa, as paredes foram deixadas secar durante trinta dias.

A segunda etapa, na qual as paredes ficaram sujeitas a uma solução de água com 5% de sulfato de sódio, teve por sua vez uma duração de sete meses. Durante este período foram observadas e avaliadas todas as manifestações de eflorescências e/ou criptoflorescências ocorridas nos painéis estudados (Figuras 7.93, 7.94, 7.95 e 7.96).



Figuras 7.93 e 7.94 – Painel 1, faces Norte e Sul respectivamente.



Figuras 7.95 e 7.96 – Painel 2, faces Norte e Sul respectivamente.

### 7.5.2 Nos painéis 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 proposta 03 CHB – foi eleita como argamassa de revestimento a ser aplicada em duas áreas escolhidas no edifício estudado (Figuras 7.97 e 7.98). 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.

O reboco foi aplicado de forma similar ao seguido no procedimento laboratorial, ou seja, após a total remoção do revestimento original em duas áreas delimitadas por quadros de

0,50 m de largura e 1,00 m de altura – uma na fachada 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.



Figuras 7.97 e 7.98 – Painéis executados no edifício selecionado, respectivamente exterior e interior

Estes painéis não sofreram nenhum tipo de proteção, ficando integrados naturalmente no edifício trabalhado, onde foram acompanhados por doze meses, período no qual se observou a possível presença de manifestações de umidade, eflorescências e/ou criptoflorescências nas superfícies dos mesmos.

**BIBLIOGRAFIA DO CAPÍTULO 7**

---

- [7.1] - 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.
- [7.2] - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT) – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro: ABNT, Julho de 1994. NBR 5739.
- [7.3] - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT) – Agregados - Determinação do inchamento de agregado miúdo. Rio de Janeiro: ABNT, Agosto de 1987. NBR 6467.
- [7.4] - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT) – Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro: ABNT, Agosto de 1987. NBR 7217.
- [7.5] - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT) – Agregados - Determinação das impurezas orgânicas húmicas em agregado miúdo. Rio de Janeiro: ABNT, Agosto de 1987. NBR 7220.
- [7.6] - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT) – Agregado em estado solto - Determinação da massa unitária. Rio de Janeiro: ABNT, Abril de 1982. NBR 7251.
- [7.7] - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT) – Agregados – Determinação da absorção de água em agregados miúdos. Rio de Janeiro: ABNT, Março de 1987. NBR 9777.
- [7.8] - 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.
- [7.9] - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT) – Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água por capilaridades. Rio de Janeiro: ABNT, Março de 1987. NBR 9779.
- [7.10] - 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
- [7.11] - 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.

- [7.12] - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12650: Materiais pozolânicos – Determinação da variação da retração por secagem devida à utilização de materiais pozolânicos. Rio de Janeiro, 1992.
- [7.13] - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 11581: Cimento Portland – Determinação dos tempos de pega. Rio de Janeiro, 1991.
- [7.14] - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12653: Materiais Pozalânicos. Rio de Janeiro 1992.
- [7.15] - 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.
- [7.16] - 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.
- [7.17] - 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.
- [7.18] - 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.
- [7.19] LIBORIO, J.; SOUZA, M. F. – “Cimento nobre com casca de arroz”. Revista Pesquisa FAPESP, São Paulo, out. 2000 p. 56-58.
- [7.20] PAYÁ, J. et al – “Studies on cristalline rice husk ashes and the activation of their pozzolanic properties”. In: WOOLLEY, G. R. ; GOUMANS, J. J. J. M. ; WAINWRIGHT, P. J. Waste materials in construction wascon 2000. Amsterdam:Pergamon, 2000. p. 493-503.
- [7.21] - 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.
- [7.22] REGO, J. H. S. – “Estudo de Aglomerantes compostos por cimento portland comum (CPI) e as cinzas de CA amorfa e cristalina”. 46º Congresso Brasileiro do Concreto.Florianópolis. IBRACON, 2004.

- [7.23] SILVEIRA, A. A; FERREIRA, A. A; DAL MOLIN, D.C.C. - “A cinza de casca de arroz como adição mineral”. In: Workshop - Reciclagem e reutilização de resíduos como materiais de construção civil. Anais...São Paulo. EPUSP - ANTAC. v.1. 1996p. 39 - 44.

## **CAPÍTULO 8**

### **RESULTADOS DOS ENSAIOS REALIZADOS**

- 8.1 – Ensaio e apreciação dos resultados no edifício selecionado**
  - 8.2 – Ensaio e apreciação dos resultados nos constituintes e nas argamassas de reabilitação**
  - 8.3 – Observação e apreciação das aplicadas nos painéis experimentais**
  - 8.4 – Apreciação geral dos resultados obtidos**
- Bibliografia do Capítulo 8**



## 8.1-ENSAIOS E APRECIÇÃO DOS RESULTADOS NO EDIFÍCIO SELECIONADO

### 8.1.1 – Considerações prévias

Os ensaios realizados, tanto na caracterização do edifício como nos materiais constituintes das suas paredes, bem como nas argamassas trabalhadas e seus materiais e nos painéis experimentais, destinaram-se, sobretudo, a avaliar a susceptibilidade das argamassas à ação da umidade e dos sais solúveis e as possíveis formações de anomalias eflorescentes e/ou criptoflorescentes. O presente capítulo está organizado de forma a descrever os procedimentos realizados, bem como a apreciação dos resultados encontrados (Quadros 8.1 e 8.2).

Quadro 8.1 – Ensaios de caracterização do edifício e sobre os materiais constituintes das paredes – Localização da informação

Condições gerais materiais ensaiados		Ensaio “in situ”	Ensaio em laboratório	Métodos de ensaio	Resultados dos ensaios	
				Capítulo 7	Capítulo 8	Anexos
Condições gerais		Temperatura e umidade superficiais		7.3.2.1(a)	8.1.1	I-1(a)
Materiais constituintes das paredes (extraídos do edifício)	Argamassas de reboco	–	•Teor de água	7.3.2.2(b)	8.1.3(a)	I-2(a)
			•Reconstituição do traço	7.3.2.2(c)	8.1.3(b)	I-2(b)
			•Identificação de sais solúveis	7.3.2.2(d)	8.1.3(c)	I-2(c)
			•Absorção de água por capilaridade e secagem da água absorvida	7.3.2.2(f)	8.1.3(e)	I-2(e)
	Argamassas de assentamento da alvenaria	–	•Teor de água	7.3.2.2(b)	8.1.3(a)	I-2(a)
			•Reconstituição do traço	7.3.2.2(c)	8.1.3(b)	I-2(b)
Tijolos	–	•Identificação de sais solúveis	7.3.2.2(d)	8.1.3(c)	I-2(c)	
		•Formação de eflorescências	7.3.2.2(e)	8.1.3(d)	I-2(d)	
Solo		–	•Teor de água	7.3.2.2(b)	8.1.3(a)	I-2(a)
			•Identificação de sais solúveis	7.3.2.2(d)	8.1.3(c)	I-2(c)

Quadro 8.2 – Ensaios sobre as argamassas de reabilitação, sobre os respectivos constituintes e sobre os tijolos dos painéis experimentais em laboratório – Localização da informação

Materiais		Ensaios “in situ”	Ensaios em laboratório	Métodos de ensaio	Resultados dos ensaios	
				Capítulo 7	Capítulo 8	Anexos
Constituintes das argamassas	Areias	–	•Impurezas orgânicas húmicas	7.3.3.1(a)	8.2.1(a)	II-1(a)
			•Análise granulométrica	7.3.3.1(b)	8.2.1(b)	II-1(b)
			•Inchamento	7.3.3.1(c)	8.2.1(c)	II-1(c)
			•Teor de sais	7.3.3.1(d)	8.2.1(d)	II-1(d)
•Massa volúmica			7.3.3.1(e)	8.2.1(e)	II-1(e)	
Cimento	–	•Análise química (1) •Análise física (1)	7.3.3.2 7.3.3.2	–	–	
Cales	–	•Análise química (1) •Análise física (1)	7.3.3.3 7.3.3.3	–	–	
Adjuvantes	–	–	7.3.3.4	–	–	
Tijolos dos painéis experimentais		–	•Formação de eflorescências	7.3.2.2(e)	–	–
Argamassas	Provetes	–	•Massa volúmica e índice de vazios	7.3.4.2(b)	8.2.2(b)	II-2.1(b)
			•Resistência à compressão	7.3.4.2(c)	8.2.2(c)	II-2.1(c)
			•Resistência à tração na flexão	7.3.4.2(d)	8.2.2(d)	II-2.1(d)
			•Absorção de água por capilaridade e secagem da água absorvida	7.3.4.2(a) 7.3.4.2(e)	8.2.2(a) 8.2.2(e)	II-2.1(a)
			•Resistência aos sais	7.3.4.2(e)	8.2.2(e)	
	Painéis experimentais em laboratório	–	•Aderência ao suporte	7.3.4.3(a)	8.2.3(a)	II-2.2(a)
			•Permeabilidade à água	7.3.4.3(b)	8.2.3(b)	II-2.2(b)
Painéis experimentais em obra	–	•Comportamento à umidade •Comportamento a sais solúveis	•Comportamento à umidade	7.5.1	8.2.3(c) 8.3.1(a)	
			•Comportamento a sais solúveis	7.5.1	8.2.3(c) 8.3.1(b)	II-2.2(c)
			–	7.5.2	8.3.2(a)	–
			7.5.2	8.3.2(a)		

(1) Fornecidos pelos fabricantes

## 8.1.2 - Ensaio “in situ”

### a) Medição de temperatura e umidade superficial

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 de 2000. Foram realizadas cinco medições semanais para cada local pré-determinado, totalizando vinte medições em cada mês. Cada local foi avaliado em quatro situações, três junto às zonas de extração de revestimento por broca rotativa de ½”, com alturas de 0,50 m, 1,00 m e 1,50 m, e um junto à zona de extração de revestimento com o uso de serra-copo, com altura de 0,50 m. Em cada mês foram executadas vinte medições (cinco por semana). Os resultados obtidos determinaram uma média mensal por zona medida e uma média final por local avaliado.

⇒ Apreciação dos resultados

Verificaram-se nos cinco locais analisados que, embora possuam localizações 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 (Quadro 8.3)..

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, fenfilhações, 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 ou, nalguns casos, iguais aos obtidos nas superfícies dos revestimentos.

Quadro 8.3 – Dados climáticos – média dos três meses avaliados

Local	Média da temperatura (°C)	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

### 8.1.3 Ensaio laboratoriais

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

As amostras extraídas de cada um dos cinco locais do edifício foram coletadas e ensaiadas conforme descrito em 7.3.1.2 (a) e 7.3.1.2 (b), encontrando-se os respectivos resultados (quadros e gráficos), assim como para os demais ensaios, compilados em anexo (Anexo I-2.a).

⇒ Apreciação dos resultados

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 recolha da amostra.

Também se constata que os teores de água no interior das argamassas de reboco antigas variam em função direta das condições climáticas, ou seja, amostras extraídas em dias de elevada umidade relativa do ar ou pós-precipitação pluviométrica apresentaram um acréscimo na quantidade de água retida, quer por ascensão capilar da água da chuva que contata, por meio do solo, as fundações e/ou as bases dos paramentos, quer da água da chuva ou da umidade do ar, que penetra nos revestimentos, tanto pelos poros como pelas fendilhações dos rebocos. 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 termo-higrométricas muito semelhantes às registradas nos ambientes avaliados.

#### **b) Ensaio para reconstituição do traço nas amostras de argamassas extraídas do edifício selecionado**

O ensaio foi desenvolvido conforme descrito em 7.3.1.2 (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. Obtiveram-se os resultados que estão apresentados no Anexo I-2.b). No quadro 8.4 mostra-se uma síntese dos traços encontrados:

Quadro 8.4 – Traços encontrados nas cinco amostras analisadas

<b>Traço</b>	<b>Amostra A</b>	<b>Amostra B</b>	<b>Amostra C</b>	<b>Amostra D</b>	<b>Amostra E</b>
<b>Traço em massa</b>	1:5,9	1:5,4	1:4,2	1:12,2	1:11,9
<b>Traço em volume</b>	1:4,4	1:4,0	1:3,1	1:9,1	1:8,9

⇒ Apreciação dos resultados

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 no Quadro I (14) do Anexo I, 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 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).

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 sais 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 lavagem 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 lavagem 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) Ensaio para identificação de sais nas amostras extraídas do edifício selecionado**

O ensaio realizado foi desenvolvido conforme os procedimentos descritos em 7.3.2.2 (d) sendo os resultados apresentados no Anexo I-1.c).

## ⇒ Apreciação dos resultados

Este ensaio revela a presença de sulfatos e/ou cloretos em todas as amostras e, 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 (7.3.2.1(a) e Quadro I (15) do Anexo I), 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.

**d) Ensaio para verificação de eflorescências nas amostras de tijolos extraídos do edifício**

O ensaio de Eflorescência realizado nos tijolos extraídos do edifício nº 6, Casarão Albuquerque Barros, de acordo com a Norma Americana ASTM C67-66 [conforme descrito em 7.3.2.2 (e) e no Anexo I-2.d)], 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 apóia. Desta forma, os tijolos não colaboram para a formação de eflorescências e/ou criptoflorescências.

**e) Ensaio de absorção de água por capilaridade e secagem da água absorvida nas amostras de reboco extraídas do edifício selecionado**

A metodologia aplicada ao ensaio foi desenvolvida conforme descrito em 7.3.2.2 (f) e os resultados encontrados, tanto para a absorção por capilaridade, bem como para a secagem da água absorvida estão expressos no Anexo I-2.e).

⇒ Apreciação dos resultados

Os ensaios de absorção de água nas cinco amostras de argamassa antiga extraídas do edifício selecionado revelam uma elevada absorção inicial, verificada aos primeiros cinco minutos, enquanto que aos 90 e 1440 minutos registraram-se coeficientes de absorção bastante reduzidos e decrescentes. Estes coeficientes indicam uma inversão do comportamento esperado para uma argamassa de revestimento, donde o normal é uma absorção inicial menor e gradativamente crescente. Porém, o que se pode concluir deste comportamento registrado vai ao encontro dos resultados encontrados no ensaio de reconstituição do traço e da possibilidade de terem ocorrido perdas do aglomerante durante a vida do edifício, determinando um menor poder de coesão das partículas que constituem a superfície exterior do revestimento, e gerando um acréscimo de porosidade e a conseqüente perda da capacidade superficial de impermeabilização. Como no ensaio a face plana da amostra do revestimento fica apoiada sobre o conjunto formado pelo suporte e papel filtro, esta face, devido a ser mais desgastada, acaba, ao contatar a lâmina de água, por determinar uma elevação do coeficiente de absorção inicial.

Verifica-se e justifica-se a redução deste coeficiente à medida que transcorre o tempo em proporção inversa ao caminho da água capilar na direção do interior da argamassa de reboco, ou seja, à medida que a água vai penetrando nas camadas mais afastadas da superfície externa do revestimento, encontra uma argamassa mais próxima da original, com um teor de

aglomerante possivelmente mais elevado e, conseqüentemente, uma dosagem mais forte, o que configura uma maior coesão e uma menor porosidade, dificultando assim a ascensão capilar daquela água na espessura total da amostra de revestimento, que corresponde à do reboco aplicado nos paramentos do edifício selecionado.

Todos estes fatores acabam por determinar uma secagem bastante equilibrada das amostras. 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 conseqüente aceleração da secagem.

## **8.2 – ENSAIOS E APRECIACÃO DOS RESULTADOS NOS MATERIAIS CONSTITUINTES E NAS ARGAMASSAS DE REABILITAÇÃO**

### **8.2.1 - Ensaio nos materiais constituintes das argamassas preconizadas**

#### **a) Ensaio para determinação de impurezas orgânicas das areias**

As areias analisadas, conforme 7.3.3.1 (a), são 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.

No Quadro II (1) do Anexo II – 1.1 (a) estão relacionadas estas areias e o grau de impurezas orgânicas nelas determinados.

⇒ **Apreciação dos resultados**

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

**b) Ensaio para determinação da composição granulométrica das areias**

As seis areias analisadas foram submetidas ao ensaio de granulometria para avaliar aquela que possuísse as características mais próximas das areias utilizadas nas argamassas de reboco, empregadas originalmente no edifício selecionado (7.3.3.1-b). Os quadros das análises e as curvas granulométricas estão representados no Anexo II – 1.1 (b).

⇒ Apreciação dos resultados

As areias analisadas apresentam, na sua quase totalidade, uma granulometria adequada ao uso, ou seja, areias com composição média-fina. Conforme PETRUCCI, 1979, 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 bem próximos dos aplicados originalmente no edifício selecionado.

Além destes fatores positivos, três das areias analisadas são provenientes de fontes situadas em locais distintos de uma mesma região, ou seja, são extraídas do Arroio Pelotas. Esta zona de extração é, provavelmente, a mesma região de onde se retirava areia para construção na época em que foram construídos os principais edifícios, que constituem, na atualidade, o conjunto arquitetônico histórico da cidade. Esta probabilidade é bem aceita, por estarem situados nas margens do Arroio Pelotas os principais edifícios destinados à produção do charque, principal produto produzido naquela época, fonte do apogeu econômico da cidade de Pelotas e da Região Sul do Estado do Rio Grande do Sul. Estas edificações, chamadas de charqueadas, pertenciam aos “Senhores”, industriais e nobres, mesmos proprietários das casas situadas na zona central da cidade, ou seja, o entorno da Praça da República, hoje Praça

Coronel Pedro Osório. Também o fato desta região estar muito próxima da cidade, a cerca de 3 km, fortalece este sítio como o principal fornecedor das areias utilizadas nas construções daquele período.

A granulometria e o teor de finos dos agregados miúdos são fatores que influenciam diretamente as propriedades das argamassas de revestimento, assim como as propriedades físicas e mecânicas da argamassa se relacionam de forma inversa com o fator água-cimento utilizado. A quantidade de água necessária à confecção de um dado traço de argamassa é aquela suficiente para conferir uma boa trabalhabilidade ao uso desejado. No quadro 8.5 relaciona-se a influência das características granulométricas das areias sobre as propriedades das argamassas, segundo SABBATINI (1995).

Quadro 8.5 – Características granulométricas da areia

Propriedades	Quanto < o módulo de finura	Quanto > a descontinuidade granulométrica	Quanto > o teor dos grãos angulosos
Trabalhabilidade	melhor	pior	pior
Retenção de água	melhor	variável	melhor
Resiliência	variável	pior	pior
Retração na secagem	aumenta	aumenta	variável
Porosidade	variável	aumenta	variável
Aderência	pior	pior	melhor
Resistência mecânica	variável	pior	variável
Permeabilidade à água	pior	pior	variável

### c) Ensaio para a determinação do inchamento das areias

As amostras colhidas nos seis locais de extração, anteriormente mencionadas, foram submetidas ao ensaio de inchamento, preconizado na NBR 6467/1987, com o objetivo de determinar a variação volumétrica aparente destas areias provocadas pela absorção de água livre pelos grãos. A metodologia do ensaio obedeceu ao processo desenvolvido em 7.3.3.1 (c) e os resultados estão compilados no Anexo II – 1.1 (c).

⇒ Apreciação dos resultados

Os valores da umidade crítica e do coeficiente médio de inchamento apresentaram, nas seis amostras analisadas, padrões muito próximos, indicando assim que as areias selecionadas para o trabalho apresentam uma semelhante absorção de água livre entre seus grãos e, conseqüentemente, uma variação volumétrica igualmente aproximada.

Estes valores vão ao encontro dos resultados encontrados nos ensaios de granulometria, donde a semelhante característica granulométrica encontrada entre as seis amostras acaba por determinar um volume de vazios bastante equilibrado..

#### **d) Ensaio para determinação do teor de sais das areias**

Sabe-se que a presença de sais solúveis nos materiais de construção é um dos fatores anômalos que pode gerar o surgimento de patologia nos edifícios. Para se buscar uma utilização mais segura dos constituintes das argamassas de reabilitação preconizadas, as amostras das seis areias selecionadas foram submetidas a ensaio para determinar a possível existência destes sais. Os ensaios foram desenvolvidos conforme descrito em 7.3.3.1 (d) tendo seus resultados compilados no Quadro II (14) do Anexo II.

⇒ Apreciação dos resultados

Com exceção da amostra de areia com o número 3, que apresentou um índice elevado de sulfatos, as amostras indicaram valores considerados baixos, tanto de sulfatos como de cloretos ou, nalguns casos, a inexistência de sulfatos. Porém, embora apresentando estes valores reduzidos, recomenda-se a lavação da areia a utilizar, mesmo sendo proveniente de extração submersa.

### **e) Ensaio para determinação da massa volúmica aparente das areias**

As amostras colhidas nos seis locais de extração anteriormente mencionados foram submetidas ao ensaio para determinação da massa unitária, preconizado na NBR 7251/1982, com o objetivo de determinar a massa volúmica do agregado em estado solto.

O ensaio para determinação da massa volúmica aparente 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 (7.3.3.1 - e). Os resultados deste ensaio estão no Quadro II (15) do Anexo II.

⇒ Apreciação dos resultados

Os resultados encontrados são equivalentes nas seis amostras ensaiadas e estão dentro do padrão recomendado pelas normas para as areias médias e médias-finas, as quais variam dentro de uma faixa de 1,30 a 1,50 kg/dm<sup>3</sup>. Estas semelhanças vão ao encontro das granulometrias encontradas, confirmando assim as características das areias estudadas.

## **8.2.2 - Ensaio sobre 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**

O ensaio de absorção de água por capilaridade foi realizado segundo a técnica de ensaio descrita no relatório 140/00-NCCt desenvolvido pelo Núcleo de Comportamento das Construções (NCCt) do Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), de Lisboa, Portugal. A metodologia deste ensaio segue o descrito no capítulo 7 em 7.3.1.1 (f) e os resultados encontrados estão compilados no Anexo II – 2.1 (a).

⇒ Apreciação dos resultados

Os provetes moldados com as argamassas de reabilitação trabalhadas apresentaram coeficientes de capilaridade por contato (Ccc) bastante semelhantes entre si e também em relação à argamassa padrão na região da cidade de Pelotas (argamassa 01).

O Ccc registrado nos primeiros 5 minutos foi sempre mais elevado do que aqueles obtidos aos 90 e 1440 minutos. Este comportamento foi o verificado, também, nas amostras das argamassas antigas ensaiadas, mas, neste caso, os fatores determinadores diferem consideravelmente. Entre estes fatores se registra a forma do provete, que é regular e definida por moldadores metálicos, os quais acabam por gerar nas cinco faces do provete que contactam diretamente com o moldador, superfícies mais polidas, mais coesas e mais impermeáveis, o que altera o tempo de absorção da água por capilaridade nestas faces. Já na face superior do provete, a qual não contacta 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 bastante plastificada, determinada pela exsudação, que acaba concentrando, nesta superfície, um teor maior de aglomerante. Este fato foi observado nos provetes que permaneceram maior tempo na mesa vibratória, o que determinou esta característica plastificada nas suas superfícies, 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 de os provetes ensaiados apresentarem, devido à idade reduzida, uma carbonatação incompleta torna-os mais permeáveis e facilita a absorção mais intensa na face que contacta a lâmina de água, determinando registros mais elevados dos Ccc nos momentos iniciais.

A forma regular e com faces polidas, coesas e impermeáveis dos provetes acaba por determinar uma secagem de evolução gradativa e mais lenta do que aquela registrada nas argamassas antigas (ver 7.3.2.2 – f). Porém, a linearidade da perda de água é semelhante às ocorridas naquelas amostras.

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 e a secagem da água absorvida.

#### **b) Ensaio para determinação da massa volúmica e do índice de vazios nos provetes de argamassa de reabilitação**

Os 36 provetes cilíndricos ( $\varnothing=50$  mm,  $h=100$  mm) das doze argamassas estudadas foram ensaiados, segundo a NBR 9778/1987, aos 28 dias após a moldagem. A metodologia do ensaio foi desenvolvida conforme o preconizado em 7.3.4.2 (2) e os resultados obtidos para suas massas volúmicas e índices de vazios encontram-se, de forma resumida, expostos no Quadro II (39) do Anexo II – 2.1 (b).

⇒ Apreciação dos resultados

Os resultados obtidos no ensaio para a determinação da massa volúmica e do índice de vazios nas amostras das argamassas de reabilitação trabalhadas mostram, primeiramente, em relação às massas volúmicas, uma diminuição dos valores destas massas; à medida que se utiliza o adjuvante para incorporar ar na mescla trabalhada, indicando que este adjuvante cumpre as funções pretendidas de aumento da quantidade de vazios, o que determina uma diminuição na massa das amostras e conduz a uma maior absorção.

A argamassa 02 (traço alemão) apresenta, mesmo com o uso de incorporador de ar, uma maior massa volúmica e um menor índice de vazios. Estas diferenciações foram determinadas pela maior proporção do aglomerante (cimento) em relação ao teor do agregado empregado; o que determinou uma aproximação dos resultados encontrados para esta argamassa aos valores obtidos para a argamassa padrão utilizada na região de Pelotas.

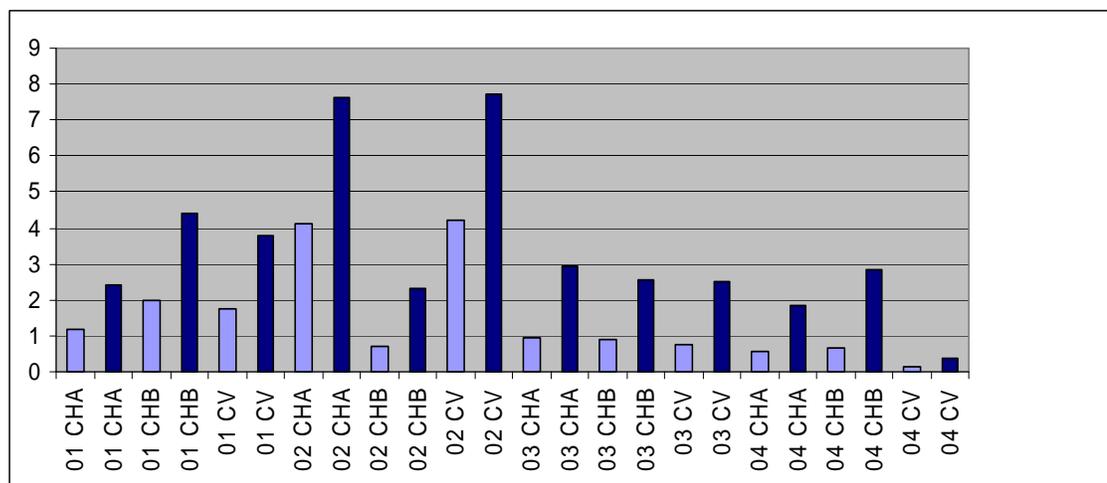
### c) Ensaio de resistência à compressão da argamassa de reabilitação

Submeteram-se os provetes cilíndricos ( $\varnothing=50$  mm,  $h=100$  mm) das argamassas estudadas, com idades de 7 e 28 dias, ao ensaio de resistência à compressão, conforme Capítulo 7, em 7.3.4.2 (3). No Quadro 8.6, bem como no gráfico 8.1, estão apresentados resumos dos resultados deste ensaio. Os Quadros II (40) e (41) do Anexo II – 2. (c) apresentam todos os valores encontrados no ensaio.

Quadro 8.6 – Resistência à compressão

<b>Argamassa (amostra)</b>	<b>Idade (dias)</b>	<b>Média (MPa)</b>
<b>01 CHA</b>	7	1.19
	28	2.42
<b>01 CHB</b>	7	2.01
	28	4.42
<b>01 CV</b>	7	1.74
	28	3.80
<b>02 CHA</b>	7	4.11
	28	7.64
<b>02 CHB</b>	7	0.71
	28	2.34
<b>02 CV</b>	7	4.23
	28	7.74
<b>03 CHA</b>	7	0.96
	28	2.92
<b>03 CHB</b>	7	0.92
	28	2.56
<b>03 CV</b>	7	0.78
	28	2.51
<b>04 CHA</b>	7	0.58
	28	1.85
<b>04 CHB</b>	7	0.66
	28	2.82
<b>04 CV</b>	7	0.15
	28	0.36

Gráfico 8.1 – Resistência à compressão



7 dias
  28 dias

⇒ Apreciação dos resultados

Os resultados obtidos no ensaio de compressão mostram a grande variação da resistência à compressão ocorrida nos provetes com idades de 7 dias e de 28 dias. Este acréscimo, independentemente da maior ou menor resistência oferecida pelos provetes das diferentes argamassas, mantém uma variação média de 166%; o aumento mínimo da resistência à compressão 86% - verificou-se para a argamassa de traço 02 CHA (alemã), que utiliza a cal hidratada, e a maior variação desta resistência foi verificada na argamassa de traço 04 CHB (proposta), que emprega cal hidratada com adição de cinzas.

Verifica-se também que, dentre as argamassas de reabilitação trabalhadas (02, 03 e 04), a argamassa alemã (02) é a que apresenta uma maior resistência à compressão, ficando os respectivos valores acima dos da argamassa padrão (01), com exceção do traço 02 CHB, que apresenta valores inferiores aos do traço 01 CHB. Esta elevação das resistências deve-se basicamente a menor quantidade de agregado utilizado na dosagem, resultando um maior teor de aglomerante, principalmente o cimento, visto que, neste caso, a cal utilizada corresponde a 1/3 do consumo de cimento. A utilização de incorporador de ar na argamassa alemã produz, como esperado, uma maior porosidade e índice de vazios à mescla; porém, como a proporção

do aglomerante é maior em relação ao consumo de agregado, acaba por determinar uma argamassa com boa resistência à compressão.

As argamassas propostas (03 e 04) apresentam valores da resistência à compressão inferiores aos demais traços. A argamassa 03 consome 16,7% e 89% a mais de agregado, em relação às argamassas 01 e 02 respectivamente, enquanto que o consumo de cal é igual em relação ao traço 01 e 3 vezes maior em relação à argamassa 02. Já a argamassa 04 apresenta consumo de cal 4 vezes maior do que a utilizada nas argamassas 01 e 03 e 12 vezes maior que a empregada na argamassa 02. Nesta argamassa a proporção de agregados também se diferencia bastante, ficando 2,3 vezes maior que a quantidade de agregado consumido na argamassa 01, 3,8 vezes maior que o consumo da argamassa 02 e 2 vezes maior que a quantidade de agregado empregada na argamassa 03. Como nestas duas argamassas se utiliza, a exemplo da argamassa alemã, um adjuvante para incorporação de ar, acabam elas ficando com maior volume de vazios, determinando uma massa menos coesa e com menor adesividade entre as partes, de que resulta uma menor resistência aos esforços de compressão e, como se pode verificar, as resistências registradas são inversamente proporcionais ao acréscimo do consumo de agregado.

#### **d) Ensaio de resistência à tração na flexão da argamassa de reabilitação**

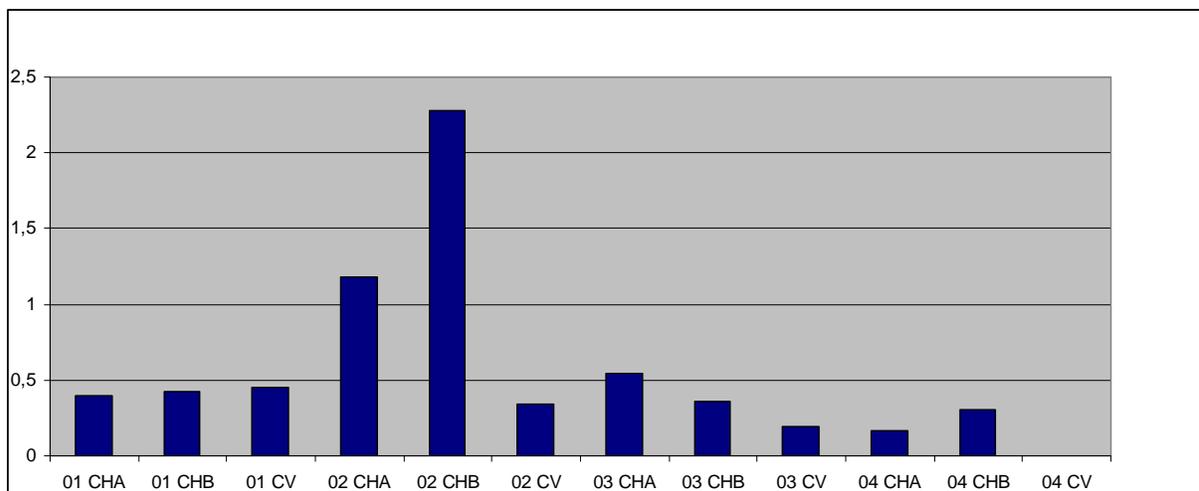
Para o ensaio foram moldados provetes prismáticos (40 mm x 40 mm x 160 mm) de todas as argamassas estudadas. Estes provetes foram curados em ambiente condicionado por 28 dias, idade na qual ocorreu o ensaio de tração na flexão, cujos procedimentos de ensaio seguem a metodologia descrita em 7.3.4.2 (4).

No quadro 8.7 e no gráfico 8.2 estão resumidos os resultados obtidos, encontrando-se os resultados completos compilados no Quadro II (42) do Anexo II – 2 (d).

Quadro 8.7 – Resistência à tração na flexão

Argamassa (amostra)	Idade (dias)	Média (MPa)
01 CHA	28	0.40
01 CHB		0.42
01 CV		0.45
02 CHA		1.18
02 CHB		2.28
02 CV		0.34
03 CHA		0.54
03 CHB		0.36
03 CV		0.19
04 CHA		0.17
04 CHB		0.30
04 CV		0.00

Gráfico 8.2 – Resistência à tração na flexão



⇒ Apreciação dos resultados

Os resultados de tração na flexão encontrados para as argamassas estudadas mostram que a variação do teor de agregados é o principal fator de influência na menor ou maior resistência à tração oferecida pelos provetes ensaiados.

Verifica-se para a argamassa padrão (01) uma resistência média bastante semelhante entre as três dosagens trabalhadas. Na argamassa alemã (02), por possuir, em relação à argamassa padrão, uma redução de 39% no teor de agregado e de 67% na quantidade da cal utilizada, mantendo integral a dosagem do cimento, verifica-se uma elevação da resistência à tração na flexão nos dois primeiros traços avaliados (02 CHA e 02 CHB), conforme se verificou, também, para a maioria dos provetes desta argamassa quando ensaiados à carga de compressão; já o traço 02 Cv, que utiliza cal virgem (extinta no local), apresenta uma redução bastante significativa da resistência, próxima àqueles valores encontrados para a argamassa padrão. A elevação da resistência à tração na flexão, encontrada nas duas primeiras argamassas alemãs, deve-se, assim como no ensaio de compressão, ao menor teor de agregados, que produz uma melhor coesão das partículas e um maior preenchimento dos poros (naturais e adicionados pelo incorporador de ar) pelos aglomerantes, impondo uma maior aderência interna, que dificulta a separação das partes interiores dos provetes, quando submetidos a esforços de tração.

Na argamassa proposta 03, os resultados são similares aos da argamassa padrão, com exceção da dosagem que utiliza cal virgem (03 CV), que apresenta valor menor do que a metade do encontrado na argamassa 01 CV. A semelhante resistência à tração entre as argamassas (01 CHA  $\cong$  03 CHA e 01 CHB  $\cong$  03 CHB) indica que o acréscimo de 17% no teor do agregado, somado ao aumento de porosidade determinado pelo incorporador de ar, pouco influenciou nesta capacidade resistiva. Assim como ocorreu na argamassa 02 CV, houve, também, uma significativa redução de resistência à tração na flexão na argamassa 03 CV, a qual se atribui, possivelmente, ao uso da cal extinta no local, que pode, por sofrer processo artesanal, apresentar qualidade inferior, resultando numa menor adesão das partes constituintes e, conseqüentemente, numa menor resistência aos esforços solicitantes.

A argamassa de traço 04, proposta, apresenta valores significativamente inferiores aos das demais argamassas estudadas. Esta baixa considerável na resistência à tração na flexão se deve, principalmente, à proporção de agregado, que nestas argamassas sofre um considerável

acréscimo, tornando-as mais áridas, menos coesas e com menor adesão interna, possibilitando assim uma separação mais facilitada das partes constituintes, o que resulta numa menor capacidade resistiva aos esforços de tração. Esta redução de resistência à tração pode ser traduzida como uma menor rigidez da argamassa, o que, para um revestimento de reboco, indica uma menor resistência aos esforços determinados pelas variações de temperatura e/ou pelos movimentos estruturais.

#### **e) Ensaio para avaliação da resistência aos sais nos provetes de argamassa de reabilitação**

Para cada uma das 12 argamassas estudadas foram moldados 2 provetes, totalizando 24 provetes a serem submetidos ao ensaio para avaliação da resistência aos sais solúveis. Os procedimentos para a realização deste ensaio estão descritos em 7.3.4.2 (5).

⇒ Apreciação dos resultados

A observação do desempenho dos provetes mostra que as argamassas de reabilitação propostas (traços 03 e 04) apresentam manifestações eflorescentes bem mais tardias que nas argamassas padrão e nas utilizadas na Alemanha. Verifica-se que nos provetes constituídos pelas argamassas de traços 03 e 04 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 se deve, basicamente, ao maior volume de poros e à capacidade hidro-repelente (determinados respectivamente pelo uso de incorporador de ar e hidrofugantes), os quais determinam 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 acaba por determinar um reboco que, durante o período de dois anos em observação, apresenta resultados bastante satisfatórios, pois concilia a menor permeabilidade ao vapor de água da argamassa de cimento, proposta por décadas como solução, com a argamassa de cal, que

apresenta a vantagem de não restringir a água, conseguindo transportá-la, por via capilar, até à superfície externa dos rebocos.

Estas duas argamassas, 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 à região de evaporação próxima à superfície, onde ocorrem a cristalização e a conseqüente expansão destes sais, gerando manifestações de eflorescências e criptoflorescências e o esboroamento do reboco.

Portanto, as argamassas 03 e 04 propostas combinam e conciliam as reações positivas das argamassas de cimento e de cal, resultando no que se poderia considerar um reboco ideal, com 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 eficiente. 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, pois estas cristalizações ocorrem em áreas invisíveis no interior dos poros do reboco de recuperação, sem prejuízo ao substrato nem à alvenaria.

Constata-se também que nos provetes posicionados verticalmente, as eflorescências ocorrem mais acentuadamente no topo dos provetes; 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. Verifica-se, em ambas as posições, que o início das eflorescências se dá nas arestas dos provetes, região de mais rápida secagem, onde ocorrem, primeiramente, as regiões de transição úmido-seco.

### **8.2.3 – Ensaios nas argamassas de reabilitação aplicadas nos painéis experimentais montados em laboratório**

#### **a) Ensaio de aderência ao suporte**

Segundo ARENDT (1985), nem as argamassas de cimento, nem tampouco as que só utilizam cal como aglomerante, são soluções definitivas para evitar a degradação dos revestimentos de reboco, quer pelo desprendimento em placas, quer pela erosão em grumos destes acabamentos dos paramentos. Conforme adverte, se deveria utilizar, no lugar de “argamassa ou reboco de recuperação”, a terminologia “sistema de argamassa ou reboco de recuperação”, uma vez que há exigências para uma ponte de aderência (chapisco) e para o seu acabamento (pintura), que se completam neste processo, formando um sistema que, em nenhuma hipótese, poderá ser impermeável, donde a tinta recomendada deverá ser, preferentemente, de tipo mineral à base de silicato.

Portanto, como se pode ver, a aderência ao suporte é de fundamental importância ao bom desempenho da argamassa de reboco trabalhada. Os diferentes tipos de argamassas aplicados em painéis foram ensaiados para averiguação da ponte de aderência ao suporte conforme descrito em 7.3.4.3 (1) e os resultados obtidos estão relacionados no Quadro II (43) do Anexo II – 2.2 (a).

⇒ Apreciação dos resultados

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 prefixo 01, 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 ao substrato. 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 de prefixo 02, baseada no traço alemão, 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 à tração 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. Este aumento da aderência pode ser considerado pela maior plasticidade fornecida pela cal extinta no local, que determina uma melhor trabalhabilidade e, juntamente com o cimento, propicia uma melhor ancoragem ao substrato, visto que, neste caso, a grande variação quantitativa na dosagem dos componentes determina um traço mais árido, menos trabalhável e conseqüentemente menos aderente, principalmente pelo reduzido teor de cal utilizado.

Para as argamassas propostas, de prefixo 03 e 04, verifica-se que a primeira, de prefixo 03, apresenta uma resistência de aderência à tração com valores inferiores à da argamassa padrão (01) e superiores à da argamassa alemã (02). 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), acabam 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, a medida em 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 nestes dois casos (01e 03), que a maior plasticidade da cal não indica aumento de aderência ao suporte, mas sim, por haver um maior equilíbrio quantitativo entre os componentes.

Na argamassa de reboco proposta de prefixo 04, se identificam resistências de aderência ao suporte muito menores que aquelas atingidas pelas dosagens anteriores. Nota-se, neste caso, que a argamassa que utiliza cal hidratada apresenta um valor menor do que a que utiliza cal hidratada com adição de cinzas volantes mas maior que aquela que utiliza cal virgem. Como nesta proposta se utiliza uma quantidade de cal quatro vezes maior que a quantidade de cimento e a quantidade de agregado utilizado é duas vezes maior do que a

preconizada para o outro traço proposto (03), é aceitável a brusca redução à resistência de aderência à tração, devida, basicamente, a uma redução da coesão interna causada pelo excesso de agregados e pela menor resistência adesiva determinada pelo menor consumo de cimento em relação à cal (1:14). Estes fatores, adicionados 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 proposta de prefixo 03, pelo menos no que tange à resistência de aderência ao suporte.

#### **b) Ensaio de permeabilidade à água nas argamassas aplicadas nos painéis**

Para a medição da permeabilidade à água superficial foi utilizado o ensaio do Método do Cachimbo, conforme descrito em 7.3.4.3 (2) e os resultados obtidos encontram-se nos Quadros II (44 à 55), bem como nas Figuras II (37 à 39) do Anexo II – 2.2 (b).

Este ensaio toma como referencial a argamassa padrão utilizada na região (prefixo 01). O comportamento das demais argamassas trabalhadas (02, 03 e 04) é avaliado 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.

No Quadro 8.8 estão compilados, de forma resumida, os valores médios de absorção de água e a eficácia das argamassas 02, 03 e 04. No anexo encontram-se os quadros completos e as curvas de absorção deste ensaio.

Quadro 8.8 – Absorção de água superficial – Método do Cachimbo

Painel (argamassa)	Idade (dias)	Leitura Média (cm <sup>3</sup> )			Eficácia (%)
		5 min.	10 min.	15 min.	
01 CHA	28	0.38	0.56	0.72	-
01 CHB		0.40	0.62	0.80	-
01 CV		0.38	0.60	0.82	-
02 CHA		0.18	0.26	0.31	57
02 CHB		1.36	1.74	1.96	- 145
02 CV		0.26	0.34	0.40	51
03 CHA		0.46	0.61	0.71	1,4
03 CHB		0.43	0.56	0.68	15
03 CV		0.92	1.16	1.34	- 63
04 CHA		0.42	0.64	0.80	- 11
04 CHB		0.60	0.84	1.04	- 30
04 CV		1.08	1.68	2.16	- 163

⇒ Apreciação dos resultados

A argamassa padrão (01), que serve de parâmetro para as demais argamassas trabalhadas, apresenta absorções lineares e crescentes para os tempos avaliados de 5, 10 e 15 minutos, nas três dosagens trabalhadas, ou seja, com uso de, respectivamente, cal hidratada, cal hidratada com adição de cinzas e cal virgem.

Nas demais argamassas trabalhadas (02, 03 e 04), que utilizam incorporador de ar (para aumentar a porosidade) e hidrofugante (para repelir a água), quando empregam cal hidratada na composição do traço, verifica-se, em relação à argamassa padrão, um acréscimo da absorção de água na superfície do revestimento, com exceção da argamassa alemã (02 CHA), que registra uma absorção inferior à argamassa padrão. Neste caso específico, embora apresentando o maior índice de porosidade, a menor absorção é absolutamente previsível, visto que, na dosagem da argamassa 02 CHA, o teor de cimento é proporcionalmente maior que o utilizado na argamassa padrão, determinando assim, juntamente com o hidrofugante, uma capacidade impermeabilizante mais acentuada, o que dificulta a penetração da água superficial.

Comparando o comportamento das argamassas que utilizam a cal hidratada com adição de cinzas (CHB), constata-se que a argamassa 02 CHB apresenta uma absorção de água muito superior à da argamassa padrão. Deduz-se, para este caso, que o emprego da cal hidratada com adição de cinzas, quando tem seu teor reduzido a 1/3 da quantidade da cal empregada à argamassa padrão, produz argamassas menos plásticas e menos trabalháveis, podendo determinar superfícies mais porosas, o que contribuiu, sensivelmente, para a maior absorção registrada. Já no caso da argamassa 03 CHB, onde o teor de cal hidratada com adição de cinzas volantes utilizado se mantém igual aos das argamassas do traço 01 CHB, variando apenas o consumo de agregado, que é 17% maior, a absorção registrada foi inferior à da argamassa padrão. Esta redução do teor de água absorvida se deve ao acréscimo do consumo de aglomerante (cal), que torna a argamassa mais plástica e trabalhável, com superfície menos porosa e, conseqüentemente, de menor absorvência; embora a menor plasticidade da cal hidratada com adição de cinzas volantes. Para a argamassa 04 CHB, o índice de absorção registrado é superior ao da argamassa padrão, embora lhe seja próximo, e é bem inferior ao da argamassa alemã. A relativa proximidade de valores dos índices de absorção das argamassas 04 CHB e 01 CHB indica que o aumento do teor de agregado, que determina um maior volume de vazios, é compensado pelo muito maior consumo de cal, o que fornece, assim como no revestimento com a argamassa 03 CHB, superfícies menos porosas e menos permeáveis.

Os revestimentos com argamassas que empregam cal virgem (CV) em suas dosagens 03 CV e 04 CV apresentam, em relação ao revestimento padrão (01 CV), aumento considerável da absorção superficial. Estes maiores índices de absorção são determinados pelo uso da cal virgem que, por ser extinta no local, não apresenta um bom controle de qualidade, o que, somado ao maior volume de agregados, determina superfícies com maior porosidade e maior absorção. No caso específico da argamassa 02 CV, que consome menor quantidade de agregados, a menor qualidade da cal extinta no local não consegue impor este acréscimo de porosidade, pois a proporção de aglomerantes utilizados determina um maior envolvimento destes agregados, dando uma característica mais plástica e impermeável ao revestimento.

Conclui-se, portanto que, dentre os revestimentos de reboco utilizados, as dosagens alemãs 02 CHA e 02 CV, assim como as dosagens propostas 03 CHA e 03 CHB, apresentam resultados mais eficientes, absorvendo menos água superficial do que os revestimentos de reboco executados com a argamassa padrão.

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

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 03 CHB), foram extraídas amostras e ensaiadas conforme prescrito na NBR 9917/1987 e utilizado em 7.3.2.2 (d), com o intuito de averiguar a possível presença de sais interiores.

No Quadro II (56) do Anexo II – 2.2 (c) registram-se os teores de sais solúveis (sulfatos), encontrados em cada amostra de revestimento analisada.

⇒ Apreciação dos resultados

Os resultados dos teores de sais solúveis (sulfato de sódio) registrados no quadro acima referido demonstram que a permanência dos painéis em contato com água contaminada por este sal determinou uma presença generalizada deste sulfato em todas as argamassas trabalhadas, mesmo naquelas que apresentaram pequenas ou nenhuma manifestação exterior de eflorescências, indicando que, nestes casos, as cristalizações salinas se formam na zona do substrato e/ou no interior do reboco.

No caso específico da argamassa padrão (01 CHA, 01 CHB e 01 CV), da argamassa alemã (02 CHA, 02 CHB e 02 CV) e da segunda argamassa proposta (04 CHA, 04 CHB e 04 CV), que demonstraram, visualmente, alto índice de eflorescências e criptoflorescências, verificaram-se, na maioria das amostras, elevados teores de sulfatos, indicando portanto que, nestas argamassas de reboco, a água e os sais atingem a superfície exterior dos revestimentos, dando origem às cristalizações identificadas.

Na argamassa 03 proposta (03 CHA, 03 CHB e 03 CV), especialmente naquelas compostas por cal hidratada (03 CHA) e cal virgem (03 CV), foi identificada uma pequena manifestação visual da presença de eflorescências e criptoflorescências; porém, os teores de sais encontrados na análise laboratorial destas mesmas argamassas foram mais elevados. Já, na argamassa que utilizou cal hidratada com adição de cinzas volantes (03 CHB), a qual não

apresentou nenhuma manifestação visível de eflorescência, a quantidade de sulfato registrada é praticamente igual à encontrada na argamassa 03 CHA. Para este caso específico da argamassa 03 CHB, conclui-se que, embora não demonstrando exteriormente as formações cristalinas dos sais, elas ocorrem no interior do revestimento; onde se cumprem os 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 longo tempo, as anomalias eflorescentes e/ou criptoflorescentes não sejam identificadas.

### **8.3 - OBSERVAÇÃO E APRECIÇÃO DAS ARGAMASSAS DE REABILITAÇÃO APLICADAS NOS PAINÉIS EXPERIMENTAIS**

#### **8.3.1 - Nos painéis executados em laboratório**

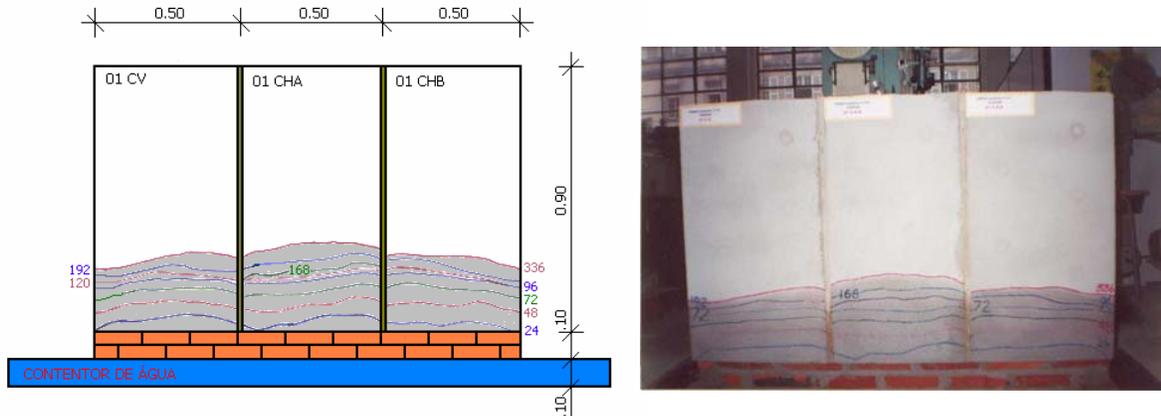
Os revestimentos executados em laboratório com as argamassas trabalhadas foram realizados em dois painéis, designados por painel 1 e painel 2. No painel 1, na face voltada ao Norte, foram aplicadas as argamassas padrão 01 (CHA, CHB e CV), em sua face voltada para o Sul, foram aplicadas as argamassas alemãs 02 (CHA, CHB e CV). No painel 2, em sua face direcionada para o Norte foram aplicadas as argamassas propostas 03 (CHA, CHB e CV) e na face ao Sul, as argamassas propostas 04 (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 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 8.1, 8.2, 8.3, 8.4, 8.5, 8.6, 8.7 e 8.8:

## a(1) - PAINEL 1

Face Norte: Rebocos com as argamassas padrão 01 (CHA, CHB e CV)



Figuras 8.1 e 8.2: 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 um decréscimo na altura da ascensão capilar. No sexto dia, ou seja, 148 horas após, verificou-se uma ascensão capilar menos intensa. Após uma semana, ou seja, ao fim de 168 horas, apenas o reboco 01 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; nota-se, porém, nos três revestimentos desta face do painel que, em dias de elevada umidade relativa do ar ou de redução ou anulação da evaporação, existe um acréscimo da intensidade de umidade nas zonas já umedecidas,

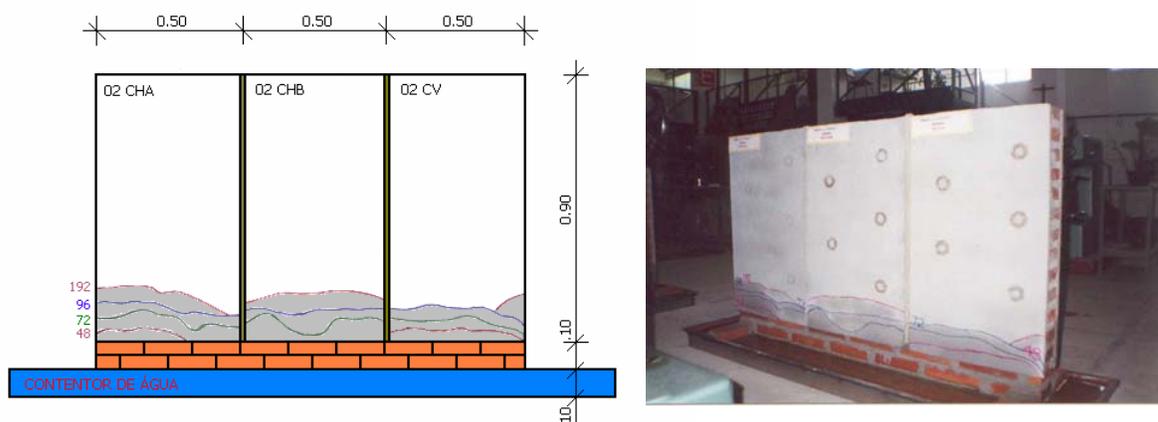
indicando que a umidade do ar é absorvida de forma higroscópica ou a secagem da água absorvida por capilaridade é dificultada ou até mesmo anulada.

A média de altura da ascensão capilar registrada nesta face do painel 1 foi a seguinte: 0,37 m para o reboco que utilizou a argamassa 01 CHA (localizado no centro do painel) e de 0,30 m para os rebocos que empregaram as argamassas 01 CHB e 01 CV (localizados nos extremos do painel) após 168 horas de contato da base do painel com a água da tina.

#### Conclusões:

As argamassas utilizadas como revestimento de reboco, neste lado do painel 1, são dosadas com o mesmo traço quantitativo, variando apenas o tipo da cal empregada e, como nestas argamassas não foram adicionados adjuvantes (incorporador de ar e hidrofugante), as mesmas possuem um teor de porosidade determinado pelos agregados e pelo não completo preenchimento dos poros pelos aglomerantes. Esta menor quantidade de poros, somada à não existência de repelente à água, propicia um caminho mais livre da água, que, ao contatar poros menores, tem sua pressão elevada, saturando-os rapidamente e transferindo, pelo contato e pela deficiente estanquidade, 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 alemãs 02 (CHA, CHB e CV)



Figuras 8.3 e 8.4: Painel 1 – Face Sul

Nos revestimentos de reboco que utilizaram o traço alemão, aplicados no lado voltado ao 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 02 CHA e 02 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, e 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 termo-higrométricas 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 alemã (comparado à argamassa padrão).

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 02 CHA, 02 CHB e 02 CV, as alturas médias registradas foram respectivamente de 0,20 m, 0,22 m e 0,17 m..

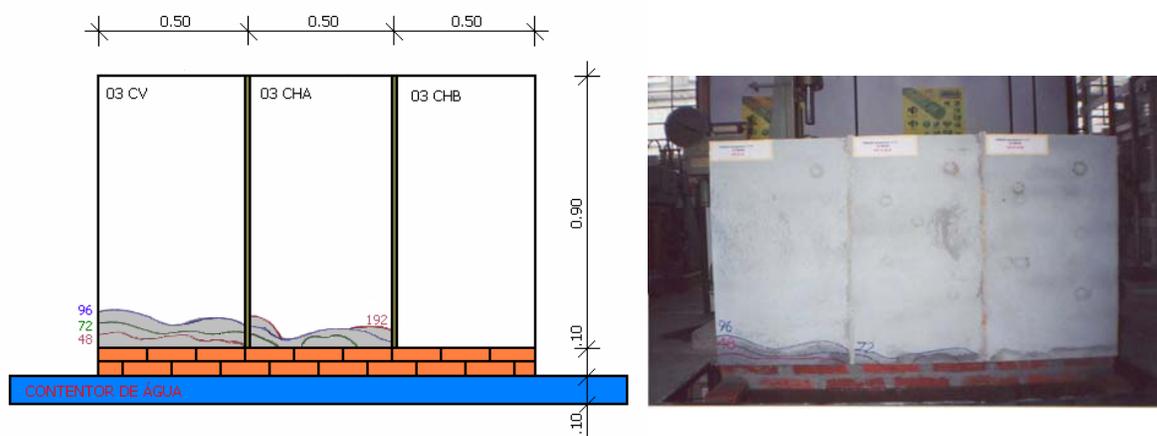
#### Conclusões:

Os três módulos de reboco que revestem esta face do painel 1 são constituídos por argamassas desenvolvidas segundo o traço alemão, as quais são acrescidas de adjuvantes para aumentar a quantidade de poros e imprimir características hidrófugas aos revestimentos, donde, na proposta do presente estudo, variam apenas os tipos de cales empregados. O acréscimo da porosidade e o maior poder hidrofugante faz 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 a transferência da água, na forma líquida, para outras partes do reboco se encontre dificultada. Deste facto, 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 propostas 03 (CHA, CHB e CV)



Figuras 8.5 e 8.6: Painel 2 – Face Norte

Nestes rebocos não foram registradas ascensões capilares durante as primeiras 24 horas e, após dois dias, somente o reboco 03 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, o reboco 03 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 03 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 nos rebocos 03 CHA e 03 CV, sem nenhuma manifestação no reboco 03 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.

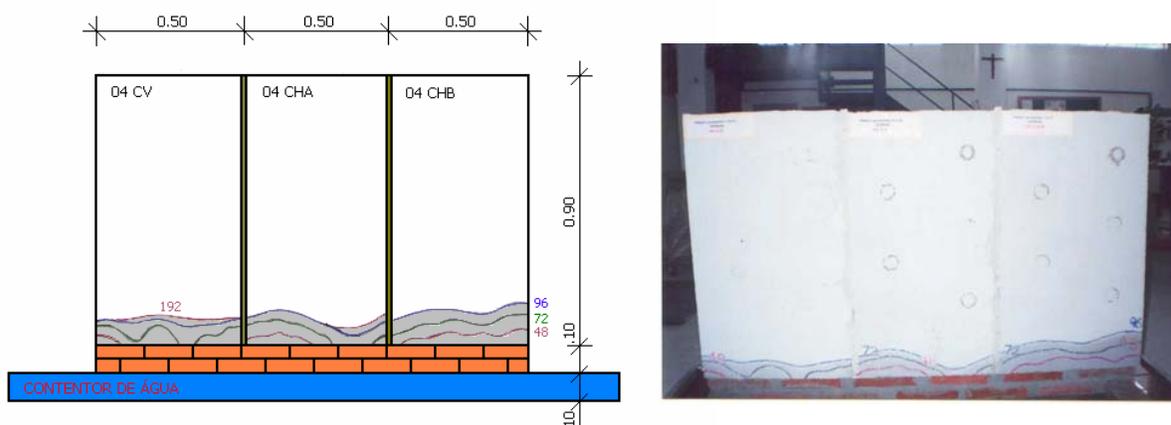
No oitavo dia, período em que o teor de umidade relativa do ar voltou a atingir os índices anteriores, ou seja, média de 85%, volta-se a observar o acréscimo da ascensão capilar até a altura anterior a secagem. Verifica-se também que, após a retomada da altura da ascensão capilar registrada no quarto dia, não houve acréscimo deste fenômeno até ao final do quinto mês, período em que os painéis ficaram em contato com a água contida nas tinas.

Embora condicionado ao mesmo ambiente dos rebocos 03 CHA e 03 CV, o reboco 03 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 no reboco 03 CHB indicam que a dosagem das argamassas utilizadas e o uso do incorporador de ar e do hidrofugante acabam cumprindo eficientemente, nestes rebocos, a função pretendida, ou seja, conviver com a presença da água sem sofrer tão intensamente as anomalias deste convívio. No reboco 03 CHA, a média da altura da ascensão capilar registrada foi de 0,06 m, enquanto que para o reboco com argamassa 03 CV foi de 0,12 m e, como já citado, o reboco 03 CHB não registrou nenhuma manifestação de umidade aparente.

#### Conclusões:

Como já mencionado para os rebocos constituídos pelas argamassas alemãs, as argamassas propostas 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 propostas 04 (CHA, CHB e CV)

Figuras 8.7 e 8.8: Paineis 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 os rebocos 02 e 03, 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.

Os rebocos com a dosagem 04 apresentaram alturas de ascensão capilar da umidade bem próxima das registradas nos rebocos 03, e bem inferiores às medições observadas no painel 1. Nesta face do painel 2 o reboco 04 CHA teve uma altura de ascensão capilar média de 0,09 m, o reboco 04 CHB teve média de 0,15 m e o reboco 04 CV registrou média de 0,07 m.

Conclusões:

Nota-se nestes rebocos que, mesmo com o acréscimo da porosidade e da capacidade hidrófuga, determinados respectivamente pelos adjuvantes (incorporador de ar e hidrofugante), o aumento do consumo de agregado acaba por imprimir menor plasticidade e, conseqüentemente, menor trabalhabilidade, tornando estes revestimentos mais áridos e reduzindo a coesão interna, além de determinar um excesso de poros não estanques, que permitem uma maior difusão da água capilar, fazendo com que partes desta água aflorem à superfície com mais facilidade. Apesar destas características negativas, determinadas pela maior dosagem de agregado, em relação aos aglomerantes, estes rebocos são, mesmo assim, mais eficientes que os rebocos executados com as argamassas padrão e alemãs e pouco menos eficientes que os rebocos que utilizaram a argamassa proposta 03.

#### **b) 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 duraram até Outubro de 2001, totalizando oito meses de acompanhamento diário, verifica-se que, à medida que a umidade atinge as faces exteriores dos painéis, ocorre, paralelamente 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 salitrosas acumuladas nestas zonas, formando manchas de umidade adicionadas ao entorno da umidade 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.

O ensaio teve início no dia 1 de Fevereiro de 2001 e o período de observação e análise dos painéis submetidos à presença de água com sal solúvel, como dito anteriormente, teve a duração de oito meses, terminando em 1 de Outubro de 2001. Os painéis foram mantidos,

nessas condições até ao final de 2002, e as zonas afetadas mantiveram-se conforme os registros realizados no final daquele período. Nas figuras 8.9 a 8.20, são apresentadas e registradas fotograficamente, dentro do período mencionado, as evoluções das referidas anomalias nos rebocos aplicados sobre os painéis 1 e 2.

### b(1) - PAINEL 1

Face Norte: Rebocos com as argamassas padrão 01 (CHA, CHB e CV)



Umidade e eflorescências após 48 horas (03-02-01)



04-06-01 (elevado teor de umidade relativa do ar 85%)



29-10-01 (elevado teor de umidade do ar 90%)



03-03-03 (tina sem água e umidade relativa do ar em 60%)

Figuras 8.9, 8.10, 8.11 e 8.12: PAINEL 1 – Face Norte

Esta face do painel 1 está constituída pelos três módulos dos rebocos executados com as argamassas padrão na região de Pelotas. Verifica-se, ao final de quatro meses, que a ascensão capilar da umidade mantém-se estável e equivalente 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 (rebocos 01 CV e 01 CHB), zona de maiores secagem e concentração de umidade higroscópica, conseqüentemente, mais erodidas.

Face Sul: Rebocos com as argamassas alemãs 02 (CHA, CHB e CV)



Umidade e eflorescências após 48 horas (03-02-01)



04-06-01 (elevado teor de umidade relativa do ar 85%)



29-10-01 (elevado teor de umidade do ar 90%)



03-03-03 (tina sem água e umidade relativa do ar em 60%)

Figuras 8.13, 8.14, 8.15 e 8.16: Painel 1 – Face Sul

Verifica-se na face Sul do painel 1, constituída pelos três módulos dos rebocos alemães 02 (CHA, CHB e CV), que o reboco central 02 CHB, que utiliza cal hidratada com adição de cinzas, 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, ao acréscimo da porosidade (determinado pelo uso de incorporador de ar), à localização central do módulo (sem ventilação e sem secagem das

bordas laterais) e à absorção de umidade higroscópica (ocorrida pela grande concentração de sais nas superfícies deste reboco). Já nos módulos extremos, revestidos com os rebocos 02 CHA e 02 CHB, 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. Como estes rebocos são, em função da maior porosidade e da redução do teor de agregado, menos coesos e, conseqüentemente, menos resistentes aos esforços gerados internamente (pressões da água e dos sais), identifica-se, nesta face do painel, além das eflorescências, a formação de zonas de criptoflorescências, onde ocorrem empolamentos e descolamentos dos revestimentos.

### b(2) - Painel 2

Face Norte: Rebocos com as argamassas propostas 03 (CHA, CHB e CV)



Umidade e eflorescências após 48 horas (03-02-01)



04-06-01 (elevado teor de umidade relativa do ar 85%)



29-10-01 (elevado teor de umidade do ar 90%)



03-03-03 (tina sem água e umidade relativa do ar em 60%)

Figuras 8.17, 8.18, 8.19 e 8.20: Painel 2 – Face Norte

Nos três rebocos, com as argamassas propostas 03 (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 nos rebocos 03 CHA e 03 CV, assim como nas observações realizadas quando do contato do painel com água potável; não se registrando, da mesma forma, nenhuma manifestação de umidade no reboco 03 CHB. Após dois dias, ou seja, 48 horas, verifica-se a formação de eflorescências ocupando a área antes umedecida nos módulos com os rebocos anteriormente citados, continuando o módulo do reboco 03 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 propostas 03, que possuem um maior teor de vazios (em função do consumo de agregado e do incorporador de ar) e uma característica de menor permeabilidade destes vazios (pela adição de 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 proposta que melhor responde é aquela que utiliza cal hidratada com adição de cinzas (03 CHB), na qual o revestimento se manteve inalterado. Pode-se observar na Figura 8.20, acima, que no local donde foi extraída a amostra para análise dos teores de sais contidos nos rebocos, existe, mesmo no módulo 03 CHB, uma forte formação de eflorescência (ver detalhe Figura 8.21, abaixo), indicando e confirmando 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 apresentados em 8.2.3(c).



Figura 8.21: Reboco 03 CHB - Formação eflorescente no local donde foi extraída amostra do reboco

Face Sul: Rebocos com as argamassas propostas 04 (CHA, CHB e CV)

Umidade e eflorescências após 48 horas (03-02-01)



04-06-01 (elevado teor de umidade relativa do ar 85%)



29-10-01 (elevado teor de umidade do ar 90%)



03-03-03 (tina sem água e umidade relativa do ar em 60%)

Figuras 8.22, 8.23, 8.24 e 8.25: Pannel 2 – Face Sul

As argamassas propostas 04 (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 dos rebocos 03 (CHA, CHB e CV). Verifica-se nas primeiras 48 horas a presença de ascensão capilar da umidade e a formação de eflorescências nos três módulos, mais intensamente nos rebocos 04 CV e 04 CHB. 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 área bem inferior àquela identificada nos rebocos constituídos pelas argamassas padrão e pelas argamassas alemãs, porém, um

pouco maior do que as apresentadas pela argamassa padrão 03. Estas variações são decorrentes do elevado consumo de agregados utilizado nos traços 04, que permite, juntamente com o incorporador de ar e hidrofugante, uma porosidade mais elevada e uma menor permeabilidade, permitindo uma maior eliminação da umidade na forma de vapor, em comparação com os rebocos 01 e 02 e valores um pouco inferiores àqueles registrados nos rebocos 03, devidos, principalmente, à maior aridez e à menor coesão das argamassas propostas 04, determinadas pela desproporção entre aglomerantes, agregados e adjuvantes.

Estas maior aridez e menor coesão estão confirmadas nos resultados dos ensaios de tração na flexão, compressão e de aderência ao suporte, os quais traduzem uma menor resistência destes rebocos àqueles esforços.

### **8.3.2 - Nos painéis executados no edifício selecionado**

Os painéis executados no edifício selecionado com a argamassa de traço 03 CHB – que tinha sido, entre todas as argamassas trabalhadas, aquela que, de um modo geral, apresentou melhores resultados, tanto a nível de ensaios laboratoriais sobre provetes, como nos ensaios e observações realizados, durante doze meses, nos painéis experimentais – localizaram-se em duas áreas: uma na parte externa da fachada principal da edificação e a outra no interior da cave (vd. 7.4 e 7.5.2).

#### **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 contacta o solo não consegue, por ascensão capilar, manifestar-se exteriormente na superfície do 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 8.26).



Figura 8.26: 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 8.27, 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, ocorrido de Outubro de 2001 a Março de 2005, 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 eflorescências 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 8.1.2(c).



Figura 8.27: Painel interno executado no edifício selecionado

#### 8.4 – APRECIÇÃO GERAL DOS RESULTADOS OBTIDOS

As conclusões mais importantes dos ensaios realizados em laboratório, tanto com os provetes moldados com as argamassas trabalhadas, bem como com as amostras extraídas dos painéis experimentais, que utilizaram estas argamassas como revestimento de reboco, e das observações efetuadas nos painéis montados em laboratório e no edifício selecionado são, em síntese, as seguintes:

- a) Os resultados dos ensaios efetuados nos provetes moldados com as argamassas preconizadas mostram, de uma forma geral, que a alteração no consumo das quantidades de agregado influencia diretamente as resistências mecânicas das argamassas, aumentando a capacidade resistiva aos esforços de compressão e de tração de forma inversa aos teores dos agregados. Estas variações inversas são devidas, principalmente, ao fato de o aumento do teor do agregado determinar um maior índice de vazios, com menor preenchimento destes espaços pelos aglomerantes (cimento e/ou cal), gerando menores compacidade e coesão interna e,

conseqüentemente, menores resistências aos esforços de compressão e de tração; e de, obviamente, a redução daquele teor ter um efeito inverso sobre as mesmas características das argamassas.

- b) Os provetes submetidos a ensaios para determinação da absorção de água por capilaridade, segundo o método preconizado no relatório 140/00 do NCCt/LNEC, apresentam coeficientes de capilaridade por contato ( $C_{cc}$ ) muito próximos para as argamassas padrão, alemãs e propostas 03. Somente nas argamassas propostas 04, que possuem uma significativa elevação do consumo de agregados, é que se pode verificar um acréscimo importante nos valores iniciais deste coeficiente, indicando que a maior porosidade, existente em função do elevado teor de vazios, acaba determinando uma maior absorção inicial da água que contata a superfície dos provetes.
- c) Verifica-se, também, no que se refere à resistência aos sais, que as argamassas com maior consumo de agregados proporcionalmente aos aglomerantes utilizados apresentam, mais tardiamente, manifestações de cristalizações de sais nas superfícies dos provetes ensaiados, indicando que o maior índice de vazios retém por mais tempo os sais solúveis no seu interior, dificultando e retardando as formações eflorescentes.
- d) Tomando-se a relação entre o consumo de aglomerantes e agregados, para os ensaios de aderência ao suporte realizados nos painéis construídos em laboratório, se verifica que a redução da proporção de agregado em relação ao consumo de aglomerante gera, no caso do primeiro, uma menor aderência ao suporte quando se aumenta o teor de agregado, pois, neste caso, a maior quantidade de vazios e as menores coesões e compacidade determinam, na interface de contato (alvenaria de tijolos + chapisco), uma menor capacidade em resistir aos esforços de tração gerados nesta zona de contato. Quando a quantidade de agregado é reduzida ou se aumenta o teor de aglomerantes, a mescla fica mais plástica e mais trabalhável, conseqüentemente, mais moldável. Estas características permitem uma melhor aderência da argamassa de reboco com a interface de contato, registrando nesta

zona um maior preenchimento das rugosidades existentes no chapisco e na argamassa de assentamento que constituem os rejuntas e, conseqüentemente, um engastamento mais efetivo entre o reboco e a base de sustentação, decorrendo, portanto, um maior poder de resistência aos esforços de tração gerados, com a conseqüente melhoria da aderência ao suporte, comparativamente ao reboco executado com a argamassa que utilizou uma maior quantidade de agregado. Já, em relação às argamassas padrão (01) e proposta (03), que utilizaram, respectivamente, traços 1:6 e 1:7, se verifica que, em comparação aos teores de agregados utilizados, tanto a redução como o acréscimo do consumo determinam, na quase totalidade, resistências de aderência ao suporte inferiores àquelas registradas nas argamassas 01 e 03, indicando, portanto, que as proporções entre os aglomerantes e os agregados, tanto das argamassas usuais na região de Pelotas (padrão), como das argamassas propostas 03, são as mais indicadas, quando se avaliam as argamassas preconizadas em relação à aderência ao suporte. Já quando se avaliam os resultados dos ensaios de permeabilidade à água, desenvolvidos segundo o método do cachimbo [8.2.3(b)], se verifica que as argamassas que consumiram maiores teores de agregados acabam por apresentar absorções de água superficial mais intensas que aquelas argamassas com menores teores deste componente, nas quais ocorre uma maior proporção dos aglomerantes em relação aos agregados e, conseqüentemente, uma argamassa mais plástica e impermeável, que se traduz, na quase totalidade dos rebocos constituídos por estas argamassas, numa superfície mais estanque e menos absorvente.

As observações e avaliações dos comportamentos dos rebocos que constituem os painéis experimentais executados, tanto em laboratório como no edifício selecionado, mostram, no primeiro caso (painéis executados em laboratório), que a quase totalidade das argamassas com maior porosidade, ou seja, as argamassas que consumiram uma maior quantidade de agregados, apresentam uma ascensão capilar da umidade inferior àquelas onde o consumo deste material se manteve dentro dos padrões (argamassa 01) ou foi reduzido (argamassa 02). Estas menores alturas das zonas de umedecimento são conseqüência direta das menores pressões no interior dos revestimentos que possuem maiores quantidades e dimensões dos vasos capilares, as quais determinam uma circulação ascensional da água sob menores

pressões, reduzindo assim a elevação da altura da área contatada por esta água. Já a quantidade de formação de cristais de sal, aparentes nas superfícies dos revestimentos, não tem a ver com a menor altura da ascensão capilar mas sim com a possibilidade de cristalizações internas destes sais nos poros do material. Pode-se concluir também, em complemento aos dados acima descritos, que a altura da ascensão capilar depende, não só da proporção entre os agregados e ligantes, que é muito semelhante em todas as argamassas trabalhadas (sendo de 3, 2,8, 3,5 e 2,8, respectivamente para as argamassas 01, 02, 03 e 04), mas também dos adjuvantes e adições incorporados, que melhoram o desempenho das argamassas desse ponto de vista.

- e) A variação do tipo e da quantidade da cal utilizada em cada um dos doze traços preconizados indica, em relação à resistência à compressão, que o maior consumo de cal, proporcionalmente ao consumo de cimento, principalmente, quando a cal utilizada não foi industrializada, ou seja, para a cal extinta em obra, produz argamassas endurecidas com menor resistência aos esforços de compressão. Conclusão semelhante se obtém ao apreciar os resultados dos provetes submetidos aos ensaios para avaliação da resistência aos esforços de tração na flexão. donde se constata que, também, o maior teor de cal não industrializada, comparativamente ao consumo do cimento utilizado, determina uma menor resistência à tração na flexão, donde, do mesmo modo, os esforços atuam com intensidade na massa constituída pelos aglomerantes, sendo a cal em maior quantidade, determinando assim uma baixa resistência às solicitações que tendem a separar os materiais que constituem o provete moldado com esta argamassa.
- f) Os provetes submetidos aos ensaios de absorção de água por capilaridade e de resistência aos sais mostram que, no caso do primeiro, a maior proporção da cal, em relação ao agregado, acaba determinando um Coeficiente de capilaridade por contato inicialmente mais elevado, em especial quando a cal utilizada é a cal virgem, extinta “in loco”. Em relação à resistência aos sais, os resultados permitem apreciar que a quantidade e o tipo de cal influenciam menos intensamente nas argamassas com traços mais próximos dos utilizados nas argamassas padrão,

verificando-se um retardamento um pouco mais significativo nas formações eflorescentes apenas nas argamassas donde esta proporção é dobrada, ou seja, na argamassa proposta 04, que consome uma parte de cal para cada três partes e meia de agregado (4 : 14).

- g) Nos ensaios desenvolvidos diretamente sobre os rebocos aplicados nos painéis experimentais montados em laboratório, se verifica, em relação ao ensaio de aderência ao suporte, que a maior quantidade de cal utilizada, proporcionalmente ao consumo do agregado, acaba por determinar uma baixa resistência de aderência, e esta é inferior quando a cal utilizada é extinta no canteiro de obras. Quando os resultados obtidos nos ensaios de permeabilidade à água são analisados, tendo como parâmetro comparativo os rebocos constituídos pelas argamassas padrão, se verifica que o maior consumo de cal, proporcionalmente ao agregado utilizado, determina uma maior permeabilidade de água nas superfícies ensaiadas e, como nas apreciações anteriores, o reboco executado com a argamassa dosada com cal virgem (não industrializada) é aquele que apresenta maior desvantagem, ou seja, menor eficiência, quando comparado à argamassa padrão.
- h) A utilização de adjuvantes (incorporador de ar e hidrofugante) determina nas três argamassas trabalhadas que recebem estes materiais nas suas composições – argamassa alemã, argamassa proposta 03 e argamassa proposta 04 – uma estrutura interna, que é favorável para as características capilares dos rebocos, pois aumenta a rede de capilaridade, diminuindo a pressão e, conseqüentemente, reduzindo a altura da ascensão capilar da água. Por outro lado, o uso do hidrofugante dificulta a transferência da água contida no interior de um poro para outro. A redução da altura da ascensão capilar da água, acrescida da menor facilidade de contato entre os poros, concentra a umidade em zonas mais próximas da base das paredes e a água retida nos poros do material é eliminada do interior do revestimento na forma de vapor, evitando assim o aparecimento de manchas de umidade superficiais e a formação de eflorescências..

- i) Estas características são bem identificadas nas argamassas propostas 03 e 04, onde a altura das manchas da umidade, causadas pela ascensão capilar da água é bastante reduzida em relação às manifestações registradas nas argamassas padrão (que não utilizam adjuvantes) e alemãs (cuja proporção entre a cal e o agregado é de 1 : 11).

---

**BIBLIOGRAFIA DO CAPÍTULO 8**

- [8.1] - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT) – *Moldagem e cura de corpos-de-prova cilíndricos ou prismáticos de concreto*. NBR 5738, Rio de Janeiro: ABNT, Abril de 1994.
- [8.2] - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT) – *Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos*. NBR 5739, Rio de Janeiro: ABNT, Julho de 1994.
- [8.3] - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT) – *Agregados - Determinação do inchamento de agregado miúdo*. NBR 6467, Rio de Janeiro: ABNT, Agosto de 1987.
- [8.4] - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT) – *Agregados - Determinação da composição granulométrica*. NBR 7217, Rio de Janeiro: ABNT, Agosto de 1987.
- [8.5] - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT) – *Agregados - Determinação das impurezas orgânicas húmicas em agregado miúdo*. NBR 7220, Rio de Janeiro: ABNT, Agosto de 1987.
- [8.6] - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT) – *Agregado em estado solto - Determinação da massa unitária*. NBR 7251, Rio de Janeiro: ABNT, Abril de 1982.
- [8.7] - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT) – *Agregados – Determinação da absorção de água em agregados miúdos*. NBR 9777, Rio de Janeiro: ABNT, Março de 1987.
- [8.8] - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT) – *Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água por imersão - índice de vazios e massa específica*. NBR 9778, Rio de Janeiro: ABNT, Março de 1987.
- [8.9] - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT) – *Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água por capilaridades*. NBR 9779, Rio de Janeiro: ABNT, Março de 1987.
- [8.10] - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT) – *Agregados para concreto – Determinação de sais, cloretos e sulfatos solúveis*. NBR 9917, Rio de Janeiro: ABNT, Julho de 1987.

- [8.11] - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT) – *Concreto – Determinação da resistência à tração na flexão em corpos-de-prova prismáticos*. NBR 12142, Rio de Janeiro: ABNT, Dezembro de 1991.
- [8.12] - GEYER, R. T. M. – *Influência do choque térmico na aderência de azulejos ao substrato*. Dissertação (Mestrado em Engenharia), Escola de Engenharia, Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre, 1994.
- [8.13] - INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DE SÃO PAULO (IPT) – *Método de reconstituição do traço do concreto*. Boletim nº 25-IPT, São Paulo, Setembro de 1940.
- [8.14] - 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.
- [8.15] - 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.
- [8.16] - 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.



## **CAPÍTULO 9**

### **CONCLUSÕES**

**9.1 – Síntese Crítica dos Resultados**

**9.2 – Desenvolvimento Futuro da Investigação neste Domínio**

**9.3 – Considerações Finais**



## 9.1 – SÍNTESE CRÍTICA DOS RESULTADOS

O crescente interesse na conservação do patrimônio edificado do Brasil, que ocorre, de forma visível, na Região Sul do Estado do Rio Grande do Sul e, principalmente, na cidade de Pelotas, justificou o tema abordado no presente trabalho, no qual, durante todo o desenvolvimento procurou-se atingir os objetivos fundamentais propostos no capítulo 1, ou seja, o estabelecimento e desenvolvimento de uma metodologia de abordagem dos problemas relacionados com a deterioração dos revestimentos, no que tange às influências da umidade e dos sais solúveis, e o lançamento de bases que permitam a seleção de argamassas de reabilitação apropriadas à solução destas anomalias identificadas nos revestimentos.

Para o desenvolvimento e concretização dos objetivos, foram realizados estudos nos edifícios da cidade de Pelotas que apresentavam as referidas anomalias, bem como dos constituintes das alvenarias afetadas pela patologia das eflorescências. Além das análises dirigidas aos edifícios, foram avaliados e caracterizados os materiais de construção (areias, cimento, cales e adjuvantes), a serem empregados nas argamassas de reabilitação propostas.

Como elementos da concretização dos objetivos, foram desenvolvidos painéis experimentais, executados em alvenarias de tijolos maciços, construídas em laboratório, e nas paredes do edifício selecionado, nos quais as argamassas trabalhadas puderam ser aplicadas, ensaiadas e tiveram seu comportamento avaliado.

Argamassas de diferentes traços, num total de doze, nomeados de Traço Padrão 01 (01CHA, 01CHB e 01CV), Traço Europeu 02 (02CHA, 02CHB e 02CV), Traço Proposto A (03CHA, 03CHB e 03CV) e Traço Proposto B (04CHA, 04CHB e 04CV), foram ensaiadas individualmente quanto à absorção de água e à secagem, quanto aos esforços de compressão e tração na flexão, quanto aos ataques de sais solúveis e quanto à massa volúmica. Já, as mesmas argamassas aplicadas aos painéis construídos em laboratório foram ensaiadas quanto à aderência, quanto à permeabilidade à água e quanto aos teores de sais absorvidos, tendo sido também avaliadas a ascensão capilar da água e as manifestações eflorescentes e criptoflorescentes visualmente identificadas.

Com as grandezas obtidas por meio dos ensaios acima mencionados, juntamente com as análises das observações feitas nos painéis montados em laboratório, estabeleceram-se critérios para a escolha da argamassa proposta a ser aplicada aos painéis a serem executados

nas paredes do edifício selecionado. Dentre todas as argamassas empregadas, mediante as características comportamentais constatadas, as constituídas pelo traço Alemão (02) e as argamassas proposta do traço A (03), respectivamente, 02CHA, 02CV e 03CHA, 03CHB apresentaram melhor desempenho do ponto de vista das menores absorções de água e das manifestações de eflorescências, comparativamente à argamassa padrão (01). Após 24 meses de constantes observações, a argamassa 03CHB (ci : chb : ar + 10% cz + 0,05% ia + 0,2% hd) foi aquela que apresentou um conjunto de reações mais positivo, ou seja, nenhuma manifestação de umidade e de eflorescências; portanto, foi eleita como argamassa de reabilitação a ser empregada nas alvenarias do edifício trabalhado.

Embora os comportamentos verificados tenham influência direta da água e do sal contidos nas tinas donde se apóiam os painéis, sabe-se, também, que outros fatores são bastante importantes, tais como a temperatura ambiente e o teor de umidade do ar, além dos próprios constituintes das argamassas, bem como do cuidado durante a manipulação e do traço e do assentamento da mescla. Por outro lado, estas influências (internas e externas) acabam por contribuir para as anomalias registradas nos edifícios e, de um modo geral, tornam as avaliações feitas nos painéis muito próximas da realidade.

Dentro dos objetivos traçados estava a busca de uma argamassa que conseguisse conviver, de forma “saudável”, com a presença de umidade e sais solúveis existente em construções afetadas por estas anomalias. Portanto, não se pretendia eliminar definitivamente aqueles fatores, na maioria dos casos de difícil ou, até mesmo, impossível eliminação, mas sim propor uma argamassa com características que propiciassem tal convivência. Verificou-se assim que a incorporação de ar e a redução da permeabilidade à água das argamassas acabam por propiciar, ao menos de forma temporária, os objetivos pretendidos. Verificou-se que, durante os quatro anos em que os painéis se encontram sob constante agressão da solução salina, a argamassa alemã e a argamassa proposta, ambas compostas pelos constituintes acima descritos, apresentam um comportamento mais adequado e, principalmente a argamassa 03CHB, que conforme já mencionado, nunca registrou anomalias visíveis; embora saibamos que, conforme os resultados do ensaio para identificação da presença de sais, estas argamassas apresentaram tais contaminações, indicando claramente que, no interior do revestimento (reboco) ocorreu a contaminação por sais solúveis e a conseqüente cristalização desses sais.

A comprovação de quantidades de sais no interior dos revestimentos, mesmo sem a formação superficial das eflorescências e/ou criptoflorescências, mostra que a capacidade buscada, ou seja, a eliminação da água na forma de vapor (por meio do acréscimo de porosidade) e a cristalização dos sais no interior destes poros, sem manifestação externa nas faces dos rebocos foi conseguida; mesmo que para um tempo relativamente curto, como os quatro anos decorridos.

Todos os resultados obtidos, assim como as análises sobre as observações registradas, permitiram concluir que a aproximação dos ensaios às condições reais de aplicação das argamassas de revestimento foi um fator determinante para as conclusões alcançadas. Por se tratar, na maioria dos casos, de edifícios antigos, dos quais não se tem o pleno conhecimento dos processos construtivos, bem como dos usos a eles destinados ao longo do tempo, parece-nos que o modelo adotado, com ensaios em provetes e em painéis, além das observações, e a posterior transferência das propostas aos edifícios trabalhados, bem como a comparação dos resultados obtidos, vem atender aos objetivos almejados com o desenvolvimento deste trabalho.

## **9.2 – DESENVOLVIMENTO FUTURO DA INVESTIGAÇÃO NESTE DOMÍNIO**

O desenvolvimento do presente estudo ficou limitado a muitos fatores, quer de ordem técnica, quer de ordem investigativa, quer ainda de ordem operacional. Estas limitações deixam em aberto um amplo campo para a continuidade das investigações, propiciando assim a realização de futuros trabalhos que dêem continuidade e aprofundem o tema ora desenvolvido.

Assim, podem-se propor algumas ações que venham a determinar a continuidade às investigações efetivas no campo das argamassas de reabilitação para edificações afetadas por eflorescências:

- a) Aquisição de novos equipamentos (como aparelhos eletrônicos para medição do teor de água, detecção de sais solúveis e indicadores de ocorrência de condensações), que permitam uma campanha experimental mais científica e mais confiável, o que dependerá do interesse da sociedade e da disponibilidade financeira dos órgãos de fomento.

- b) Ampliação da campanha experimental realizada, com inclusão de novos ensaios, principalmente os relacionados com as condensações; bem como o estudo em idades mais avançadas, donde poder-se-á avaliar os comportamentos das argamassas para períodos maiores do que 24 meses (no caso de ensaios) e 48 meses (no caso de observações). Como exemplos das caracterizações para as argamassas a serem determinadas na continuidade da campanha experimental desta tese, pode-se indicar a avaliação da retração livre e retração restringida, o módulo de elasticidade dinâmico, a capacidade para dissimular fissuras do suporte e a permeabilidade ao vapor de água; esta última constitui de resto uma característica fundamental para o bom desempenho dos revestimentos exteriores, sejam ou não constituídos por argamassas de reabilitação.
  
- c) Um maior aprofundamento do estudo, buscando novos materiais de construção, disponíveis no mercado brasileiro e na região de Pelotas, e a definição de novos traços e com outros adjuvantes de argamassas de reabilitação, com espessuras diferenciadas do revestimento e da alvenaria proposta para os painéis experimentais.
  
- d) A seleção de um conjunto arquitetônico mais amplo (dependendo diretamente da liberação dos proprietários e/ou responsáveis), que determinará um campo de trabalho mais qualificado e propiciará um cruzamento de informações e resultados, objetivando uma qualificação mais abrangente do estudo e, conseqüentemente, uma metodologia mais generalista.
  
- e) Estabelecimento de critérios objetivos de avaliação do desempenho de argamassas de reabilitação.

### 9.3 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com os dados anteriormente relatados, fica evidente que o trabalho aqui desenvolvido está longe de ser conclusivo. A continuidade ao estudo das argamassas de reabilitação para o caso de alvenarias afetadas por eflorescências é uma necessidade latente; pois o tempo decorrido durante o estudo, quatro anos, é insuficiente para um diagnóstico seguro. Portanto, como os painéis experimentais, tanto em laboratório como no edifício eleito, permanecem construídos, pretende-se continuar com as condições agressivas (solução salina) e registrar as possíveis alterações que possam advir do binômio agressividade-tempo.

Os resultados até agora obtidos poderão apoiar ações concretas no âmbito da recuperação de edifícios afetados por eflorescências e deverão fundamentar pareceres técnicos e estudos de apoio no domínio desta patologia.

Lisboa e Laboratório Nacional de Engenharia Civil, em Outubro de 2009.



## **ANEXO I**

### **RESULTADOS DOS ENSAIOS REALIZADOS NO EDIFÍCIO SELECIONADO**



**I-1 – ENSAIOS “IN SITU”**

## a) Medição de temperatura e umidade superficial

Quadro 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

I.4

Quadro I (2):

Data: Maio/2000

Hora: 10:00

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 1/2" - S.C.= serra-copo

Quadro I (3):

Data: Junho/2000

Hora: 10:00

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

Quadro I (4):

Data: Julho/2000

Hora: 10:00

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

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 1/2" - S.C.= serra-copo

Quadro 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 - ENSAIOS LABORATORIAIS

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

Quadro I (6)

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:	17 <sup>A</sup>	28 <sup>A</sup>	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 1/2" (\*\*) S.C.= serra copo

Quadro I (7)

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:	15 <sup>A</sup>	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 1/2" (\*\*) S.C.= serra copo

Quadro I (8)

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

Quadro I (9)

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 <sup>A</sup>	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

**I.8**

Quadro I (10)

<b>LOCAL E FACHADA SUL</b>	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****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**

Quadro I (11) - Análise Granulométrica da Areia – Amostra A

Peneiras		Massa (gramas)	% 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%
<b>Resíduo (fundo)</b>		1,41	0,72	100,00	-	-
<b>Soma</b>		197,17	100,00	-		
		<b>Módulo de Finura - 2,68</b>				

**I.10****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) .....	10,21 g
- 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**

Quadro I (12) - Análise Granulométrica da Areia – Amostra B

Peneiras		Massa (gramas)	% 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%
<b>Resíduo (fundo)</b>		0,90	0,40	100,00	-	-
<b>Soma</b>		220,40	100,00	-		
<b>Módulo de Finura - 2,56</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**

Quadro I (13) - Análise Granulométrica – Amostra C

Peneiras		Massa (gramas)	% 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%
<b>Resíduo (fundo)</b>		-	-	-	-	-
<b>Soma</b>		175,78	100,00	-		
		<b>Módulo de Finura - 2,56</b>				

**I.12****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**

Quadro I (14) - Análise Granulométrica – Amostra D

Peneiras		Massa (gramas)	% 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%
<b>Resíduo (fundo)</b>		0,27	0,16	100,00	-	-
<b>Soma</b>		167,93	100,00	-		
<b>Módulo de Finura - 3,09</b>						

**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**

QuadroI (15) - Análise Granulométrica – Amostra E

Peneiras		Massa (gramas)	% 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%
<b>Resíduo (fundo)</b>		0,79	0,42	100,00	-	-
<b>Soma</b>		191,51	100,00	-		
		<b>Módulo de Finura - 2,41</b>				

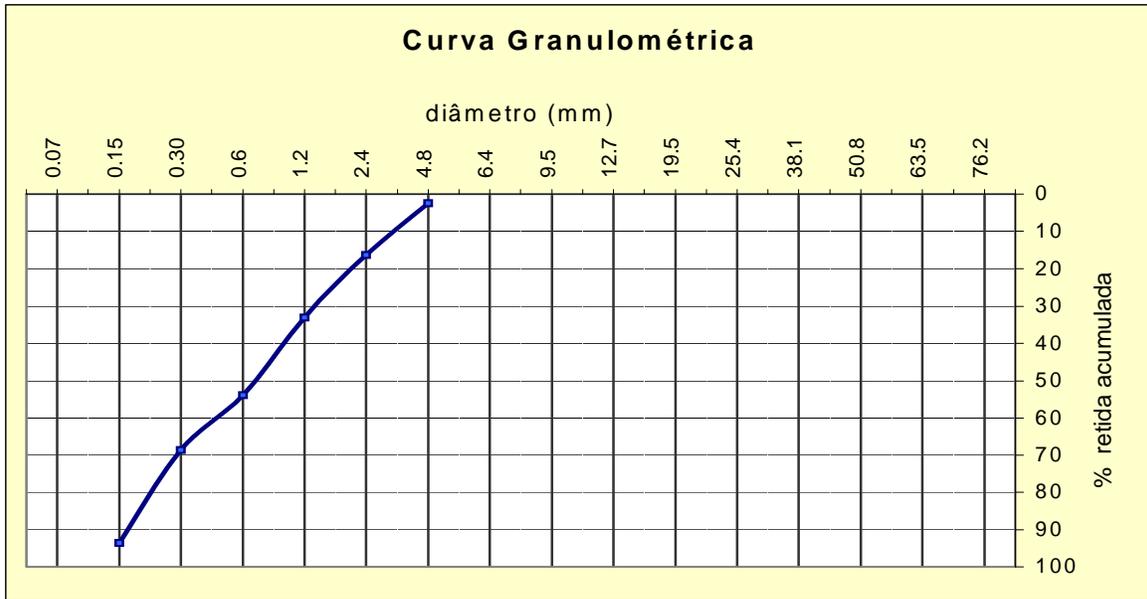


Figura I (1) - Amostra A

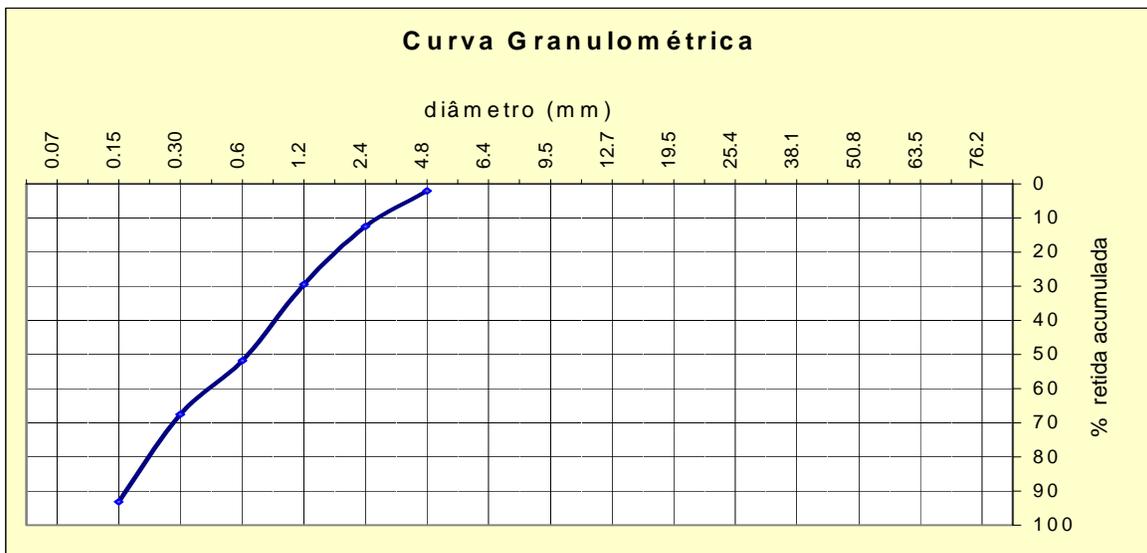


Figura I (2) - Amostra B

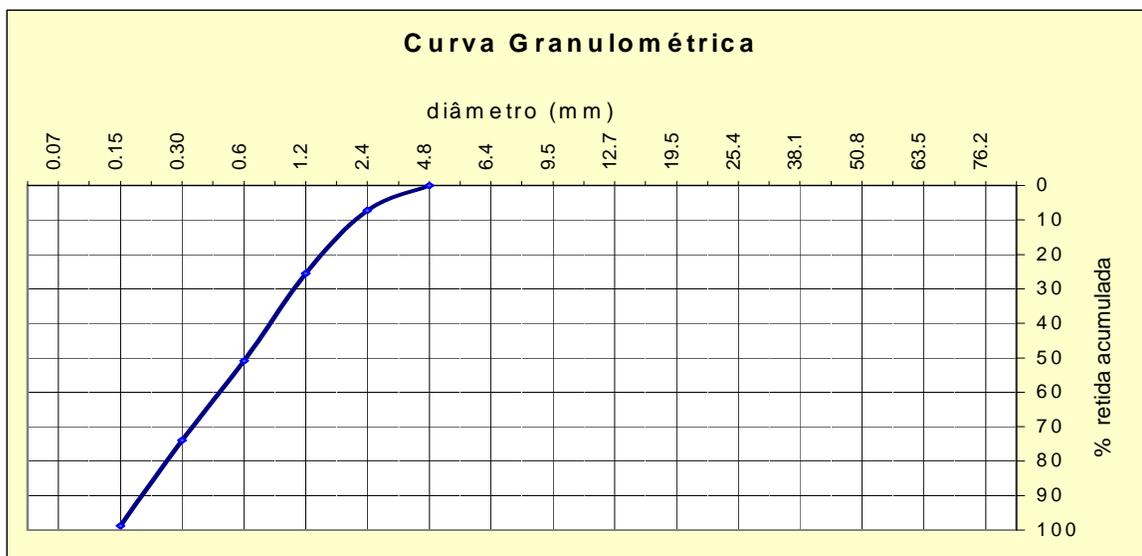


Figura I (3) - Amostra C

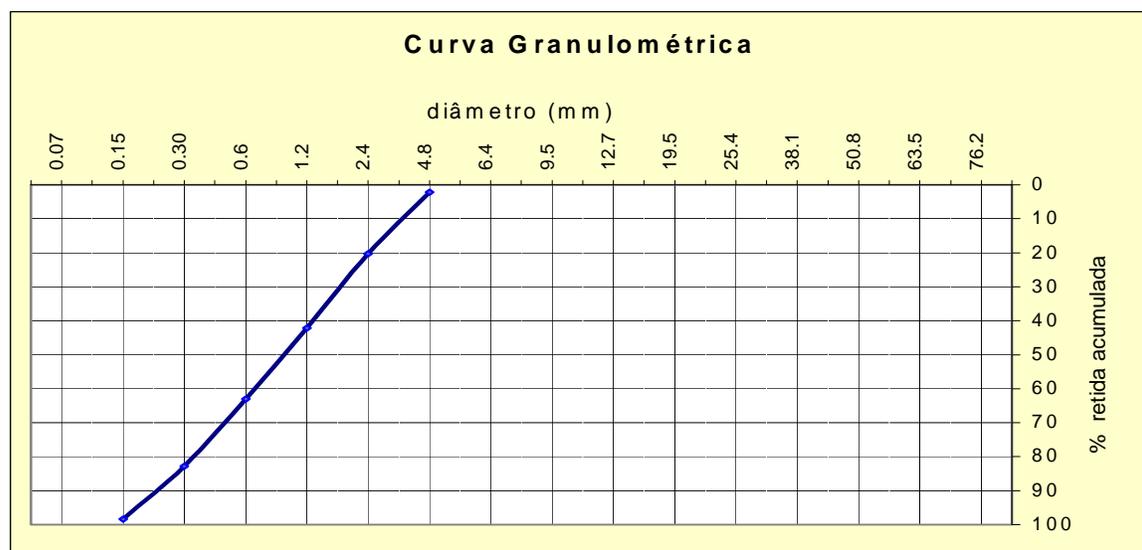


Figura I (4) - Amostra D

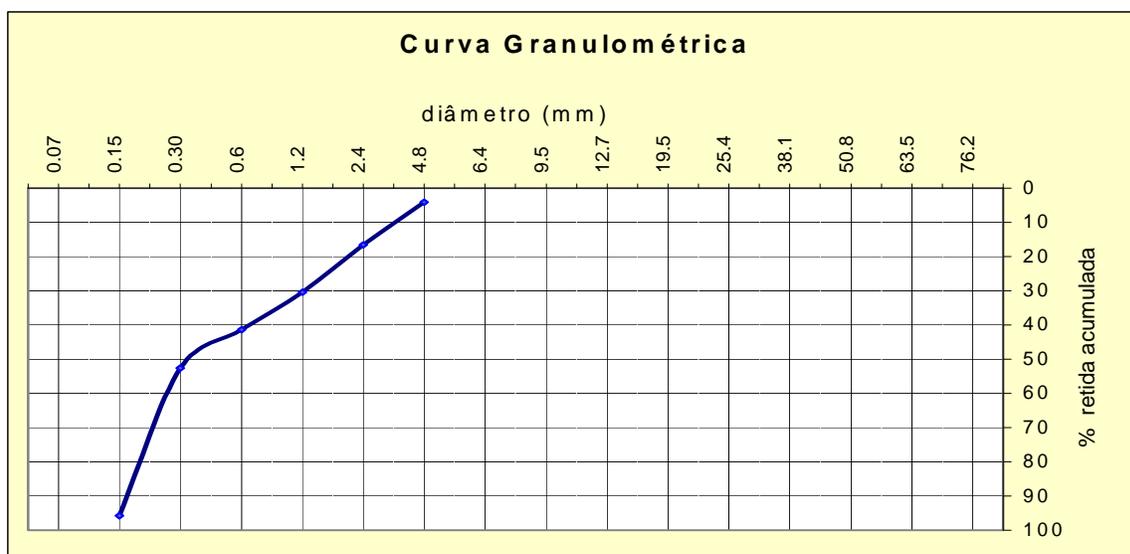


Figura I (5) - Amostra E

Quadro I (16) - 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 $[(P4/P1) \times 100]$	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

**c) Ensaio para a identificação de sais nas amostras extraídas do edifício selecionado**

Quadro I (17)

<b>TEORES DE SAIS SOLÚVEIS- AMOSTRAS EXTRAÍDAS</b>		
<b>AMOSTRAS</b>	<b>Sulfatos (%)</b>	<b>Cloretos (%)</b>
<b>Reboco A</b>	<b>0,0216</b>	<b>0,0133</b>
<b>Reboco B</b>	<b>0,0174</b>	<b>0,0384</b>
<b>Reboco C</b>	<b>*</b>	<b>0,1019</b>
<b>Reboco D</b>	<b>0,2343</b>	<b>0,0665</b>
<b>Reboco E</b>	<b>0,1106</b>	<b>0,1412</b>
<b>Tijolo</b>	<b>0,0272</b>	<b>0,0177</b>
<b>Solo B</b>	<b>*</b>	<b>0,0220</b>
<b>Solo C</b>	<b>0,0041</b>	<b>0,0015</b>
<b>Solo E</b>	<b>*</b>	<b>0,0262</b>

**d) Ensaio para a verificação de eflorescências nas amostras de tijolos extraídos do edifício**

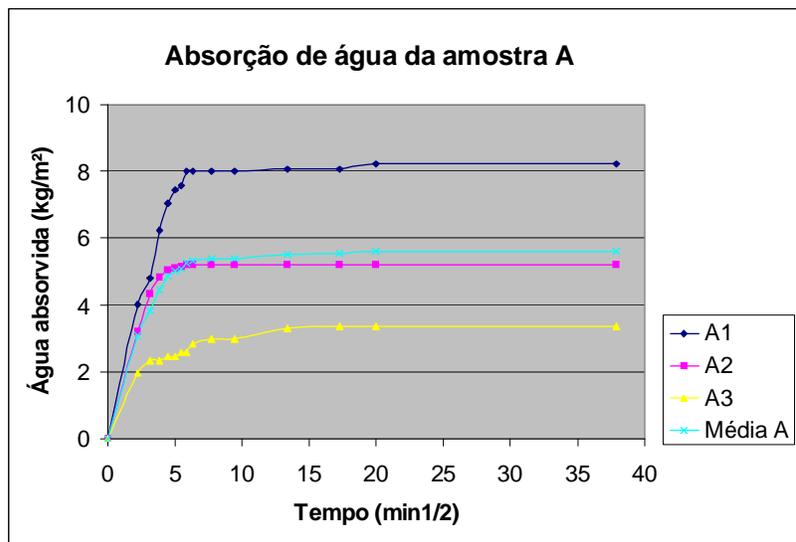
Resultados descritos em 7.3.2.2 (e).

e) Ensaio para a determinação de absorção de água por capilaridade e secagem da água absorvida nas amostras de reboco extraídas do edifício selecionado

Quadro I (18) - Absorção da Amostra A

Tempo (min)	Água absorvida (g)			Área (cm <sup>2</sup> )			Água absorvida por unidade de área (Kg/m <sup>2</sup> )				Coeficiente de capilaridade por contato
	P1	P2	P3	P1	P2	P3	P1	P2	P3	Média	
0	0,00	0,00	0,00				0,00	0,00	0,00	0,00	
5	27,38	14,78	11,25				4,03	3,21	1,97	3,07	C <sub>cc</sub> = 1,3729
10	32,69	19,86	13,37				4,80	4,32	2,35	3,82	
15	42,39	22,26	13,38				6,23	4,84	2,35	4,47	
20	47,79	23,27	14,00				7,03	5,06	2,46	4,85	
25	50,69	23,57	14,69				7,45	5,12	2,47	5,01	
30	51,39	23,60	14,71				7,56	5,13	2,58	5,09	
35	54,39	23,94	14,75	68,00	46,00	57,00	8,00	5,20	2,59	5,26	
40	54,39	23,94	16,15				8,00	5,20	2,83	5,34	
60	54,39	23,94	17,12				8,00	5,20	3,00	5,40	
90	54,39	23,94	17,12				8,00	5,20	3,00	5,40	C <sub>cc</sub> (90-10) = 0,2498
180	54,39	23,94	18,80				8,06	5,20	3,30	5,52	
300	54,79	23,94	19,27				8,06	5,20	3,38	5,55	
400	55,89	23,94	19,27				8,22	5,20	3,38	5,60	
1440	55,89	23,94	19,27				8,22	5,20	3,38	5,60	C <sub>cc</sub> 24h = 0,1476

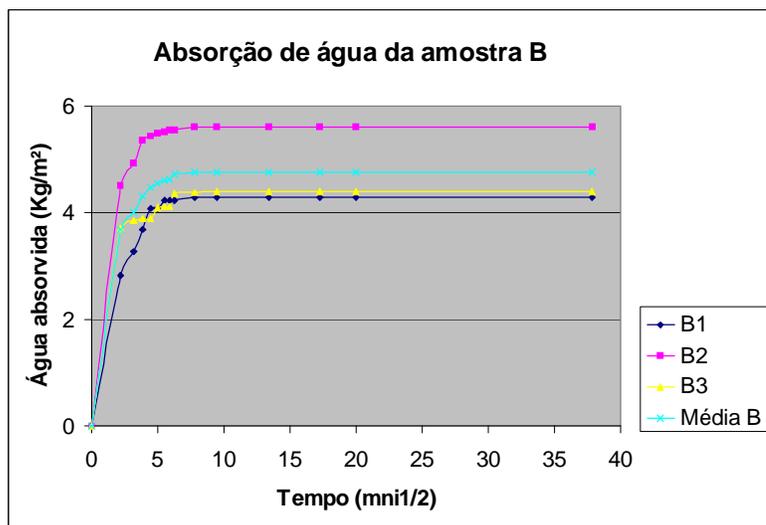
Figura I (6)



Quadro I (19) - Absorção da Amostra B

Tempo (min)	Água absorvida (g)			Área (cm <sup>2</sup> )			Água absorvida por unidade de área (Kg/m <sup>2</sup> )				Coeficiente de capilaridade por contato	
	P1	P2	P3	P1	P2	P3	P1	P2	P3	Média		
0	0,00	0,00	0,00	90,00	48,00	66,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
5	25,44	21,65	24,43				2,83	4,51	3,70	3,68	C <sub>cc</sub> = 1,6457	
10	29,39	23,60	25,38				3,27	4,92	3,85	4,01		
15	33,12	25,72	25,72				3,68	5,36	3,90	4,31		
20	36,79	26,03	25,73				4,09	5,43	3,90	4,47		
25	36,83	26,36	27,06				4,09	5,49	4,10	4,56		
30	38,09	26,43	27,11				4,23	5,51	4,11	4,62		
35	38,10	26,64	27,13				4,23	5,55	4,11	4,63		
40	38,10	26,65	28,77				4,23	5,55	4,36	4,71		
60	38,55	26,68	28,93				4,28	5,60	4,38	4,75		
90	38,55	26,68	29,09				4,28	5,60	4,41	4,76	C <sub>cc</sub> (90-10) = 0,1186	
180	38,55	26,68	29,10				4,28	5,60	4,41	4,76		
300	38,55	26,68	29,10				4,28	5,60	4,41	4,76		
400	38,55	26,68	29,10				4,28	5,60	4,41	4,76		
1440	38,55	26,68	29,10				4,28	5,60	4,41	4,76	C <sub>cc</sub> 24h = 0,1254	

Figura I (7)

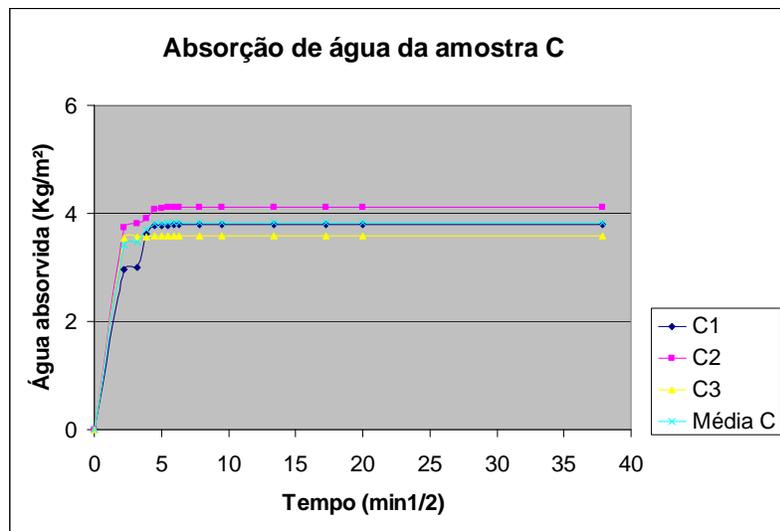


**I.20**

Quadro I (20) - Absorção da Amostra C

Tempo (min)	Água absorvida (g)			Área (cm <sup>2</sup> )			Água absorvida por unidade de área (Kg/m <sup>2</sup> )				Coeficiente de capilaridade por contato
	P1	P2	P3	P1	P2	P3	P1	P2	P3	Média	
0	0,00	0,00	0,00				0,00	0,00	0,00	0,00	
5	25,22	22,83	27,71				2,97	3,74	3,55	3,42	Ccc = 1,5295
10	25,51	23,30	27,78				3,00	3,82	3,57	3,46	
15	30,86	23,80	27,78				3,63	3,90	3,57	3,70	
20	32,06	24,86	27,90				3,77	4,08	3,58	3,81	
25	32,09	24,92	27,90				3,78	4,09	3,58	3,82	
30	32,09	25,12	27,90				3,78	4,12	3,58	3,83	
35	32,26	25,12	27,90	85,00	61,00	78,00	3,80	4,12	3,58	3,83	
40	32,26	25,14	27,91				3,80	4,12	3,58	3,83	
60	32,26	25,14	27,91				3,80	4,12	3,58	3,83	
90	32,26	25,14	27,91				3,80	4,12	3,58	3,83	Ccc(90-10) = 0,0585
180	32,26	25,14	27,91				3,80	4,12	3,58	3,83	
300	32,26	25,14	27,92				3,80	4,12	3,58	3,83	
400	32,26	25,14	27,92				3,80	4,12	3,58	3,83	
1440	32,26	25,14	27,92				3,80	4,12	3,58	3,83	Ccc 24h = 0,1009

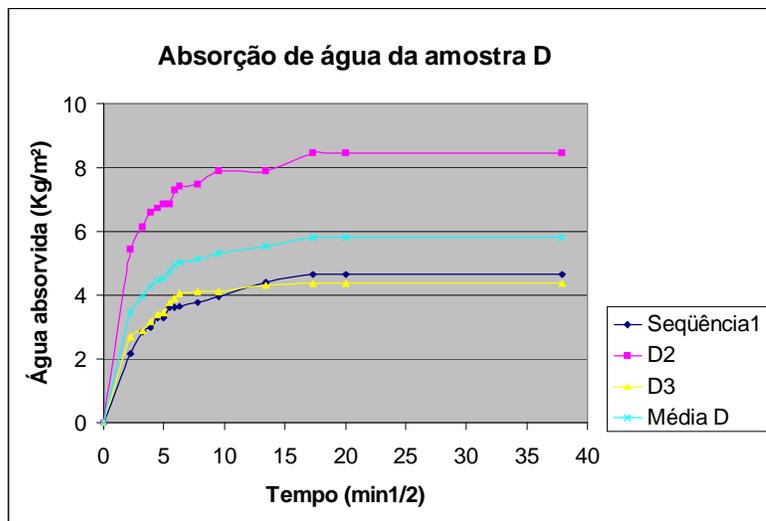
Figura I (8)



Quadro I (21) - Absorção da Amostra D

Tempo (min)	Água absorvida (g)			Área (cm <sup>2</sup> )			Água absorvida por unidade de área (Kg/m <sup>2</sup> )				Coeficiente de capilaridade por contato
	P1	P2	P3	P1	P2	P3	P1	P2	P3	Média	
0	0,00	0,00	0,00				0,00	0,00	0,00	0,00	
5	16,12	14,15	19,02				2,18	5,44	2,72	3,45	Ccc = 1,5429
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	26,84	17,80	26,35				3,63	6,85	3,76	4,75	
35	26,88	18,92	27,20	74,00	26,00	70,00	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

Figura I (9)

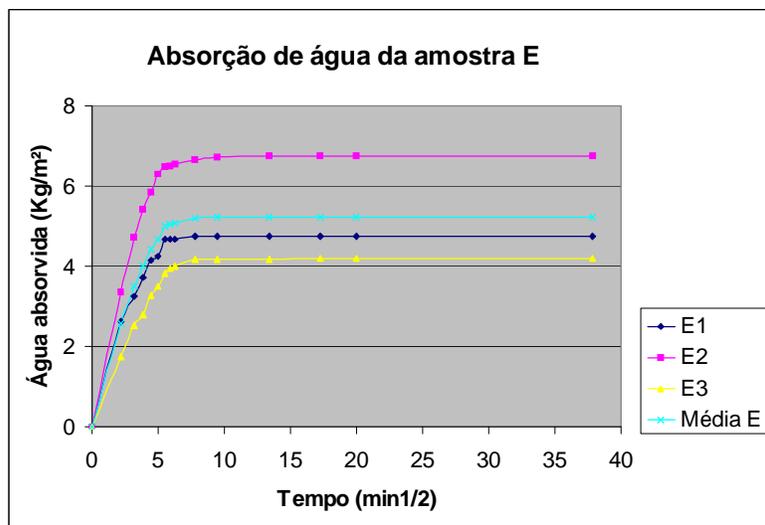


**I.22**

Quadro I (22) - Absorção da Amostra E

Tempo (min)	Água absorvida (g)			Área (cm <sup>2</sup> )			Água absorvida por unidade de área (Kg/m <sup>2</sup> )				Coeficiente de capilaridade por contato
	P1	P2	P3	P1	P2	P3	P1	P2	P3	Média	
0	0,00	0,00	0,00				0,00	0,00	0,00	0,00	
5	25,03	22,81	13,67				2,63	3,35	1,75	2,58	C <sub>cc</sub> = 1,1538
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	95,00	68,00	78,00	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	C <sub>cc</sub> (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	C <sub>cc</sub> 24h = 0,1381

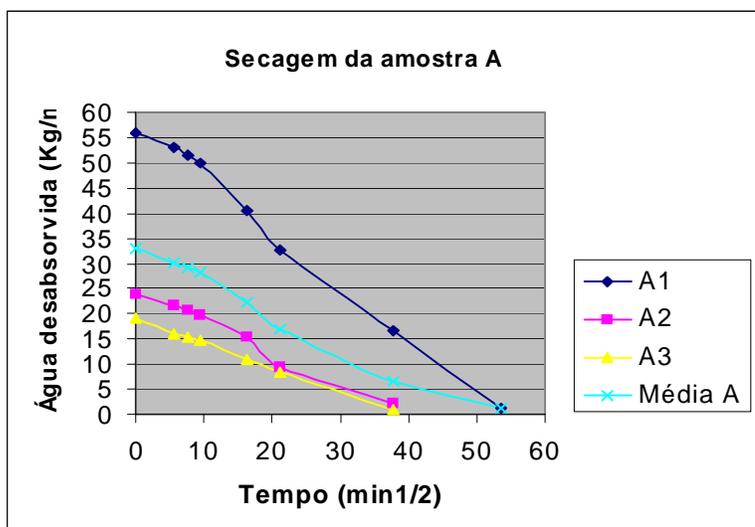
Figura I (10)



Quadro I (23) - Secagem da Amostra A

Tempo (min)	Massa inicial (g)	Água retida por unidade de área (Kg/m <sup>2</sup> )			
		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

Figura I (11)

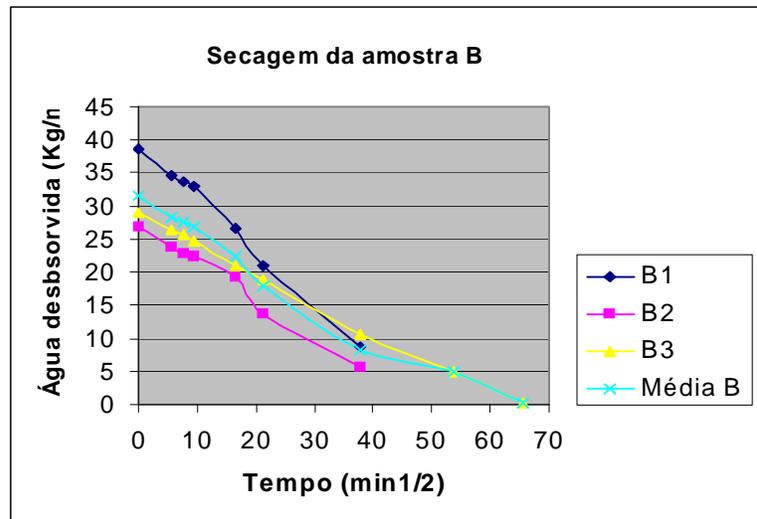


I.24

Quadro I (24) - Secagem da Amostra B

Tempo (min)	Massa inicial (g)	Água retida por unidade de área (Kg/m <sup>2</sup> )			
		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

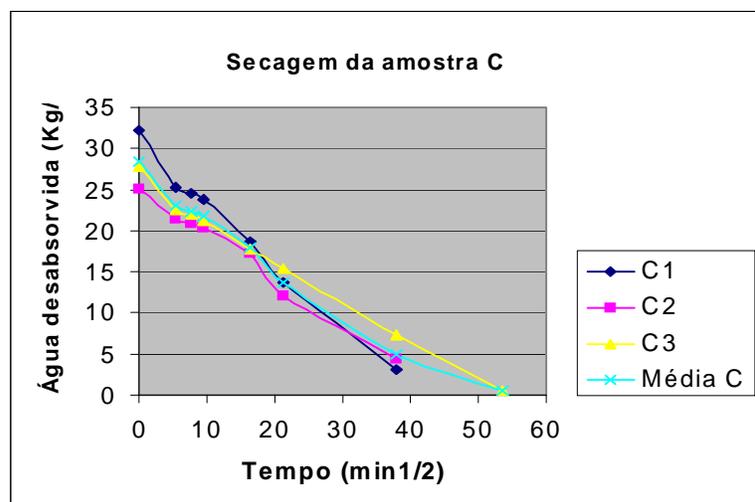
Figura I (12)



Quadro I (25) - Secagem da Amostra C

Tempo (min)	Massa inicial (g)	Água retida por unidade de área (Kg/m <sup>2</sup> )			
		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

Figura I (13)

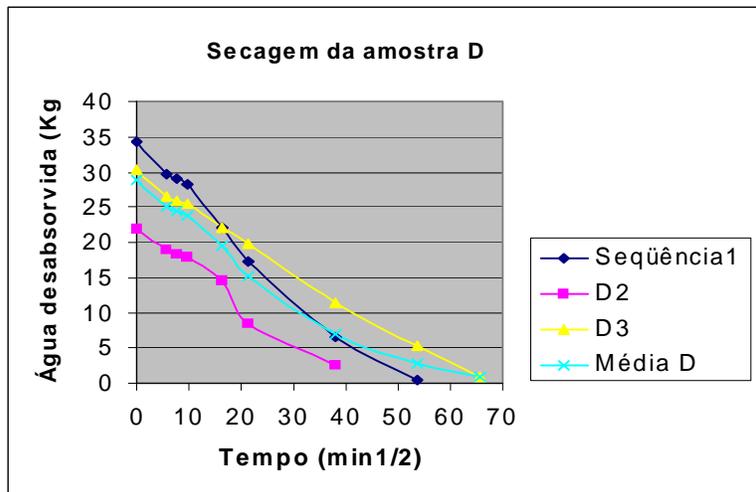


I.26

Quadro I (26) - Secagem da Amostra D

Tempo (min)	Massa inicial (g)	Água retida por unidade de área (Kg/m <sup>2</sup> )			
		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

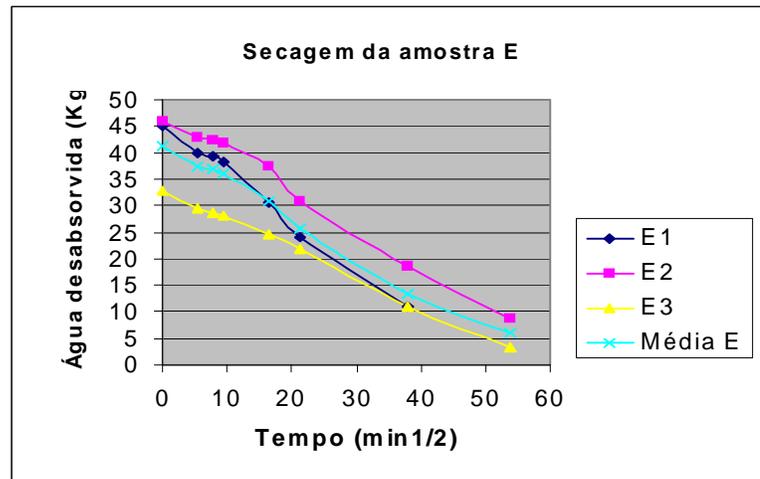
Figura I (14)



Quadro I (27) - Secagem da Amostra E

Tempo (min)	Massa inicial (g)	Água retida por unidade de área (Kg/m <sup>2</sup> )			
		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

Figura I (15)





## **ANEXO II**

### **RESULTADOS DOS ENSAIOS REALIZADOS NOS CONSTITUINTES E NAS ARGAMASSAS DE REABILITAÇÃO**



**II-1 - ENSAIOS NOS CONSTITUINTES DAS ARGAMASSAS TRABALHADAS****II-1.1 - Ensaio nas areias da região****a) Ensaio para a determinação de impurezas orgânicas húmicas**

Quadro II (1)

<b>ENSAIO DE IMPUREZAS DAS AREIAS</b>	
<b>Amostra 01</b>	<b>Baixo índice de impurezas *</b>
<b>Amostra 02</b>	<b>Baixíssimo índice de impurezas *</b>
<b>Amostra 03</b>	<b>Elevadíssimo índice de impurezas **</b>
<b>Amostra 04</b>	<b>Baixo índice de impurezas *</b>
<b>Amostra 05</b>	<b>Elevado índice de impurezas **</b>
<b>Amostra 06</b>	<b>Baixo índice de impurezas *</b>

\* areias próprias ao uso

\*\* areias impróprias ao uso

## II.4

### b) Ensaio para a determinação da composição granulométrica

Quadro II (2) – Análise granulométrica da Areia-AMOSTRA 01

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%
<b>Resíduo (fundo)</b>		2,01	0,11	100,00	-	-
<b>Soma</b>		1899,80	100,00	-		
		<b>Módulo de Finura - 2,91</b>				

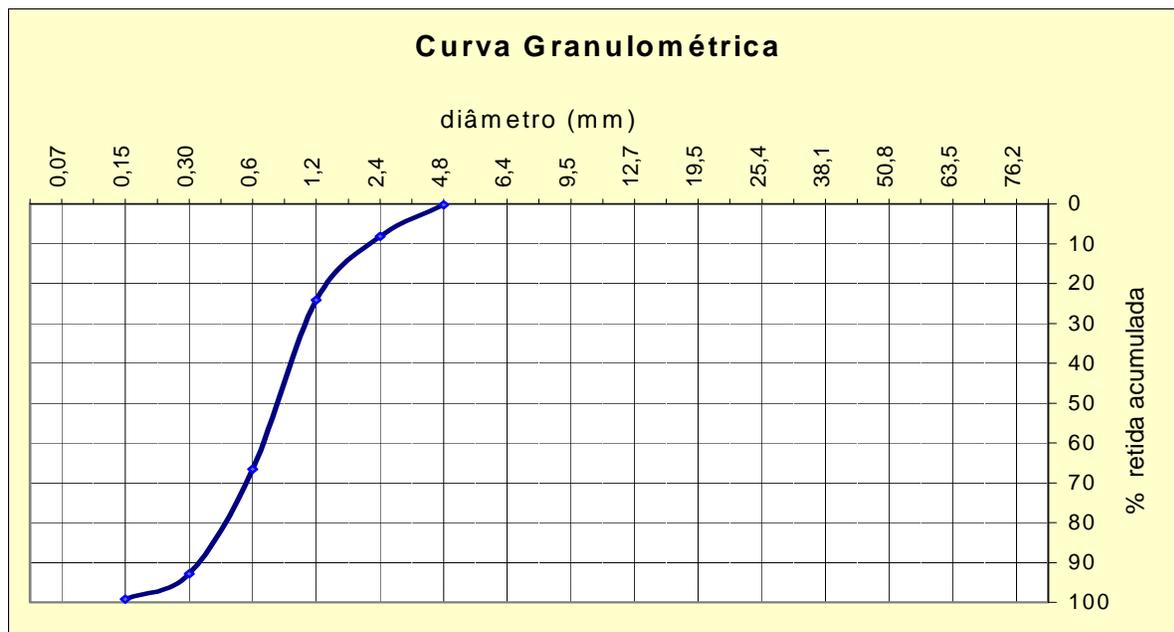


Figura II (1) - AMOSTRA 01

Quadro II (3) – Análise granulométrica da Areia-AMOSTRA 02

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%
<b>Resíduo (fundo)</b>		5,50	0,30	100,00	-	-
<b>Soma</b>		1910,83	100,00	-		
		<b>Módulo de Finura - 2,77</b>				

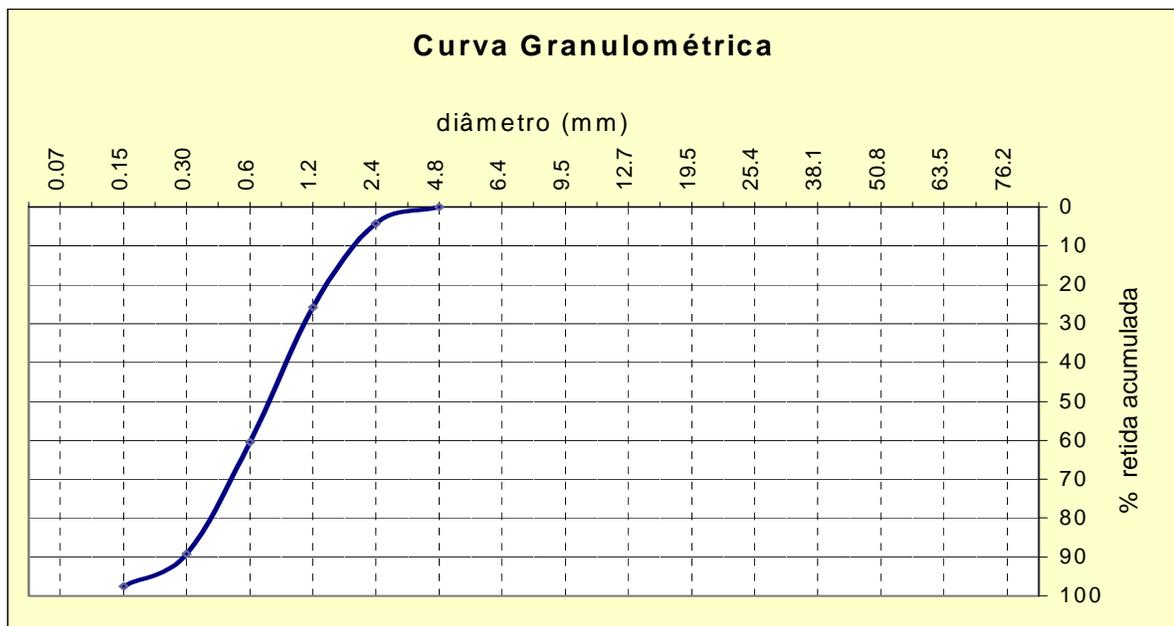


Figura II (2) - AMOSTRA 02

## II.6

Quadro II (4) – Análise granulométrica da Areia-AMOSTRA 03

Peneiras		Massa (gramas)	% Retido	% Acumulado	NBR 7211	
Número	Abertura (mm)				Ótima	Utilizável
4	4,8	3,03	0,17	0,17	3 – 5	0 – 3
8	2,4	36,14	1,89	2,06	29 – 43	13 – 29
16	1,2	209,03	10,92	12,98	49 – 64	23 – 49
30	0,6	905,15	47,30	60,28	68 – 83	42 – 68
50	0,3	575,80	30,09	90,37	83 – 94	73 – 83
100	0,15	114,70	5,99	96,36	93 – 98	88 – 93
200	0,075	66,30	3,46	99,82	< 3%	< 5%
<b>Resíduo (fundo)</b>		3,43	0,18	100,00	-	-
<b>Soma</b>		1913,58	100,00	-		
<b>Módulo de Finura - 2,62</b>						

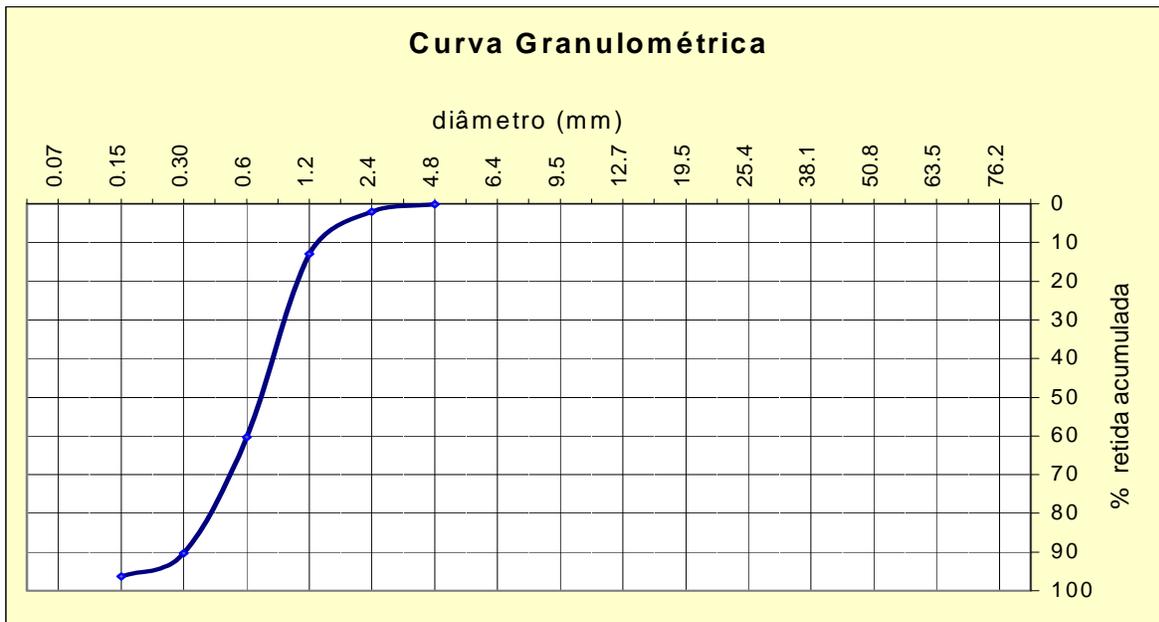


Figura II (3) - AMOSTRA 03

Quadro II (5) – Análise granulométrica da Areia-AMOSTRA 04

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%
<b>Resíduo (fundo)</b>		1,40	0,07	100,00	-	-
<b>Soma</b>		1918,74	100,00	-		
		<b>Módulo de Finura - 3,19</b>				

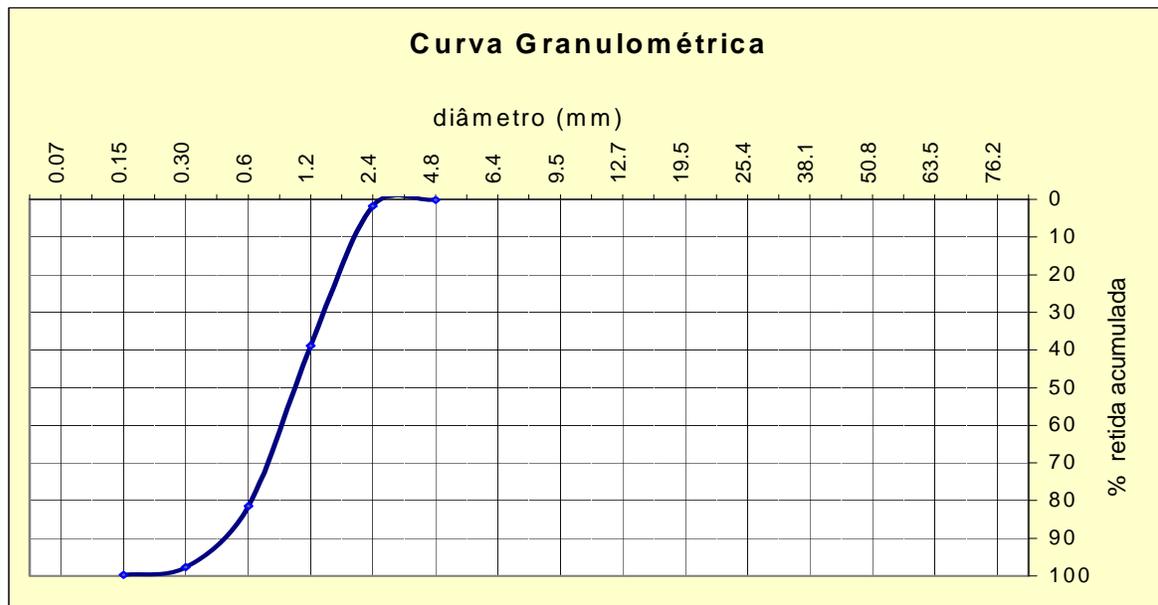


Figura II (4) - AMOSTRA 04

## II.8

Quadro II (6) – Análise granulométrica da Areia-AMOSTRA 05

Peneiras		Massa (gramas)	% Retido	% Acumulado	NBR 7211	
Número	Abertura (mm)				Ótima	Utilizável
4	4,8	52,11	2,72	2,72	3 – 5	0 – 3
8	2,4	202,18	10,57	13,29	29 – 43	13 – 29
16	1,2	974,09	50,93	64,22	49 – 64	23 – 49
30	0,6	410,30	21,45	85,67	68 – 83	42 – 68
50	0,3	204,46	10,69	96,36	83 – 94	73 – 83
100	0,15	51,87	2,72	99,08	93 – 98	88 – 93
200	0,075	13,13	0,69	99,77	< 3%	< 5%
<b>Resíduo (fundo)</b>		4,45	0,30	100,00	-	-
<b>Soma</b>		1912,59	100,00	-		
<b>Módulo de Finura - 3,61</b>						

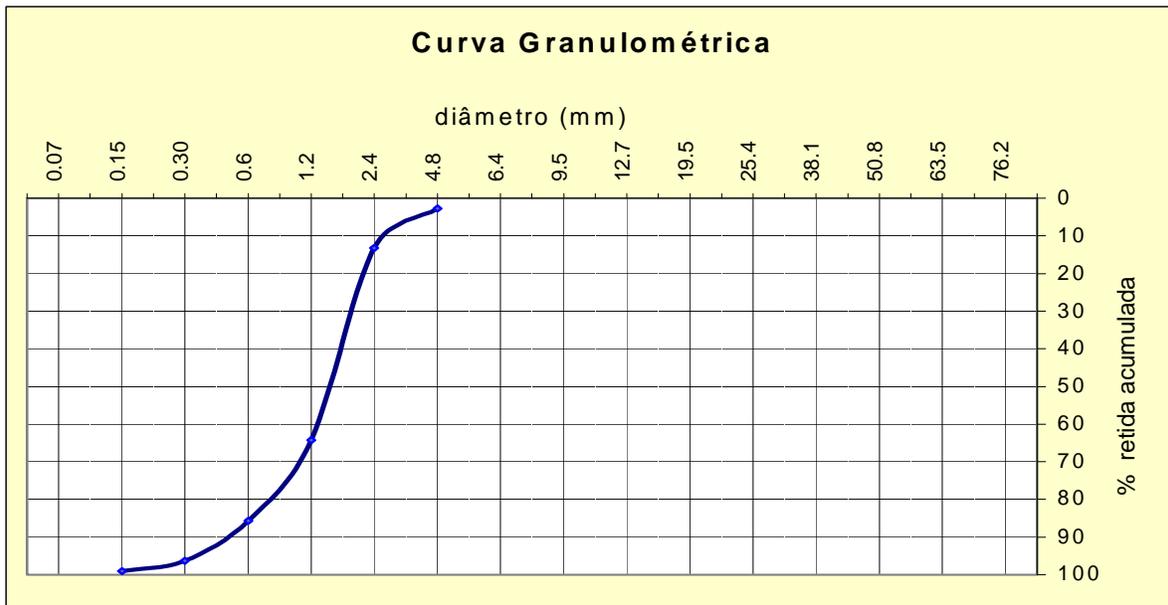


Figura II (5) - AMOSTRA 05

Quadro II (7) – Análise granulométrica da Areia-AMOSTRA 06

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%
<b>Resíduo (fundo)</b>		0,93	0,06	100,00	-	-
<b>Soma</b>		1903,95	100,00	-		
		<b>Módulo de Finura - 2,44</b>				

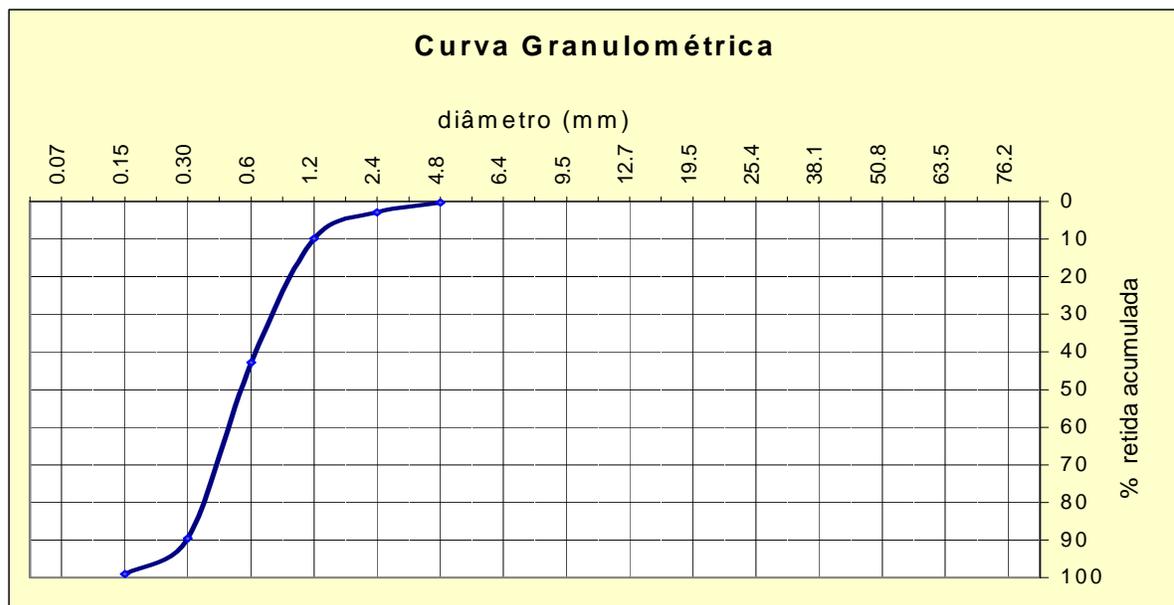


Figura II (6) - AMOSTRA 06

## II.10

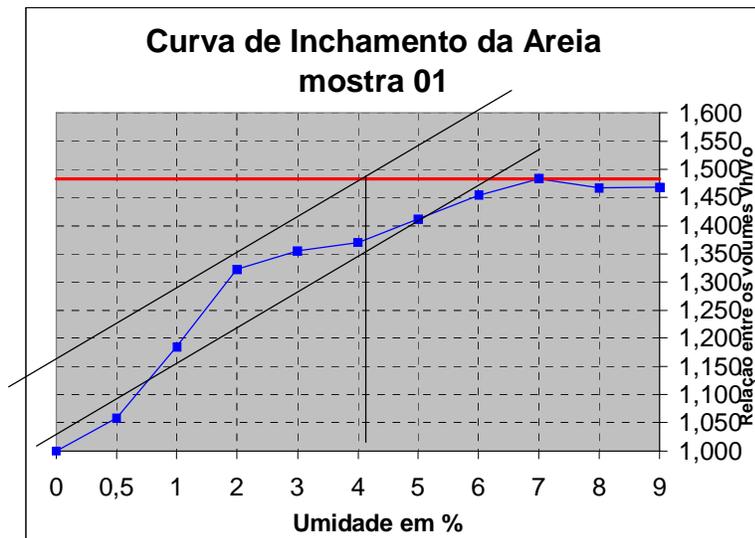
### c) Ensaio para a determinação do inchamento

Quadro II (8)

Material: AMOSTRA 01

				TARA:	1,909
Data do Ensaio:16/05/00				VOLUME:	5,548
TEOR DE UMIDADE (%)	Inchamento de Areia				
	Massa Bruta (kg)	Massa Líquida (kg)	Massa Unitária (kg/dm <sup>3</sup> )	do/dh	vh/vo
0	9,910	8,001	1,442	1,000	1,000
0,5	9,510	7,601	1,370	1,053	1,058
1	8,730	6,821	1,229	1,173	1,185
2	8,080	6,171	1,112	1,297	1,322
3	7,990	6,081	1,096	1,316	1,355
4	7,980	6,071	1,094	1,318	1,371
5	7,860	5,951	1,073	1,344	1,412
6	7,740	5,831	1,051	1,372	1,454
7	7,680	5,771	1,040	1,386	1,483
8	7,800	5,891	1,062	1,358	1,467
9	7,850	5,941	1,071	1,347	1,468

Figura II (7)



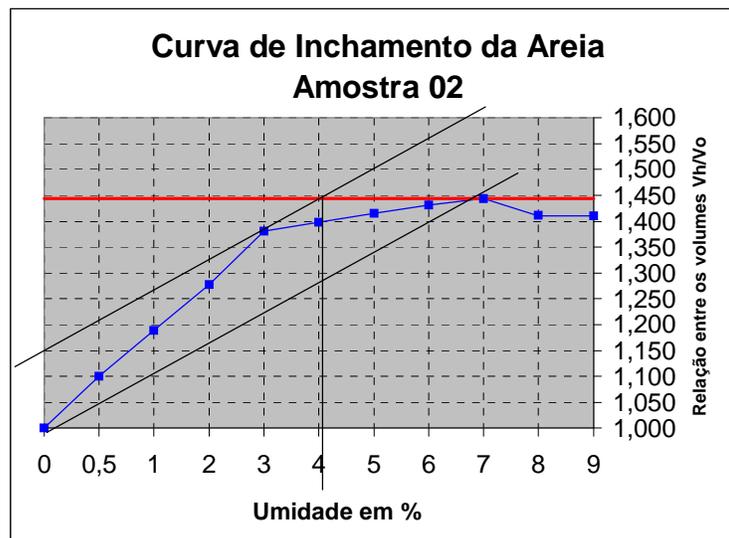
UMIDADE CRÍTICA:	4,70%
COEFICIENTE MÉDIO DE INCHAMENTO:	1,38

Quadro II (9)

**Material: AMOSTRA 02**

				TARA:	1,909
Data do Ensaio:16/05/00				VOLUME:	5,548
TEOR DE UMIDADE (%)	Inchamento de Areia				
	Massa Bruta (kg)	Massa Líquida (kg)	Massa Unitária (kg/dm³)	do/dh	vh/vo
0	10,140	8,231	1,484	1,000	1,000
0,5	9,425	7,516	1,355	1,095	1,101
1	8,900	6,991	1,260	1,177	1,189
2	8,480	6,571	1,184	1,253	1,278
3	8,050	6,141	1,107	1,340	1,381
4	8,030	6,121	1,103	1,345	1,399
5	8,015	6,106	1,101	1,348	1,415
6	8,005	6,096	1,099	1,350	1,431
7	8,010	6,101	1,100	1,349	1,444
8	8,210	6,301	1,136	1,306	1,411
9	8,270	6,361	1,147	1,294	1,410

Figura II (8)



UMIDADE CRÍTICA:	4,20%
COEFICIENTE MÉDIO DE INCHAMENTO:	1,39

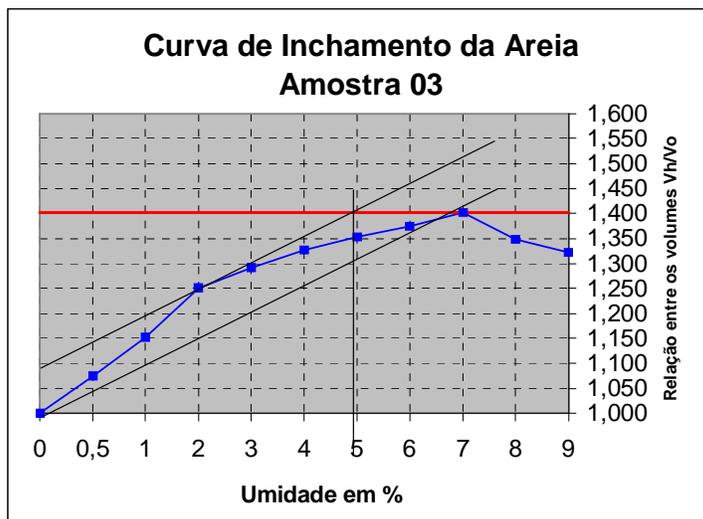
## II.12

Quadro II (10)

### Material: AMOSTRA 03

				TARA:	1,909
Data do Ensaio:16/05/00				VOLUME:	5,548
TEOR DE UMIDADE (%)	Inchamento de Areia				
	Massa Bruta (kg)	Massa Líquida (kg)	Massa Unitária (kg/dm³)	do/dh	vh/vo
0	9,600	7,691	1,386	1,000	1,000
0,5	9,100	7,191	1,296	1,070	1,075
1	8,650	6,741	1,215	1,141	1,152
2	8,180	6,271	1,130	1,226	1,251
3	8,040	6,131	1,105	1,254	1,292
4	7,940	6,031	1,087	1,275	1,326
5	7,880	5,971	1,076	1,288	1,352
6	7,840	5,931	1,069	1,297	1,375
7	7,780	5,871	1,058	1,310	1,402
8	8,070	6,161	1,110	1,248	1,348
9	8,250	6,341	1,143	1,213	1,322

Figura II (9)



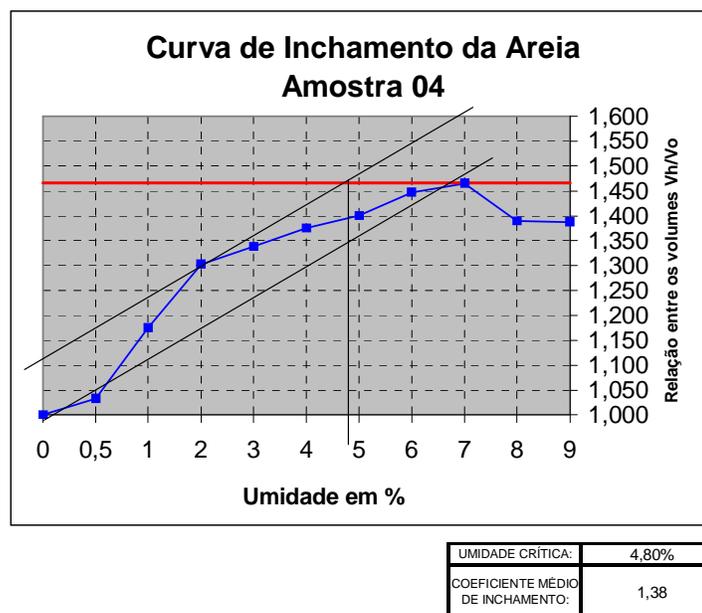
UMIDADE CRÍTICA:	5,00%
COEFICIENTE MÉDIO DE INCHAMENTO:	1,35

Quadro II (11)

**Material: AMOSTRA 04**

				TARA:	1,909
Data do Ensaio:16/05/00				VOLUME:	5,548
TEOR DE UMIDADE (%)	Inchamento de Areia				
	Massa Bruta (kg)	Massa Líquida (kg)	Massa Unitária (kg/dm <sup>3</sup> )	do/dh	vh/vo
0	10,020	8,111	1,462	1,000	1,000
0,5	9,800	7,891	1,422	1,028	1,033
1	8,880	6,971	1,256	1,164	1,175
2	8,260	6,351	1,145	1,277	1,303
3	8,150	6,241	1,125	1,300	1,339
4	8,040	6,131	1,105	1,323	1,376
5	7,990	6,081	1,096	1,334	1,401
6	7,850	5,941	1,071	1,365	1,447
7	7,830	5,921	1,067	1,370	1,466
8	8,210	6,301	1,136	1,287	1,390
9	8,280	6,371	1,148	1,273	1,388

Figura II (10)



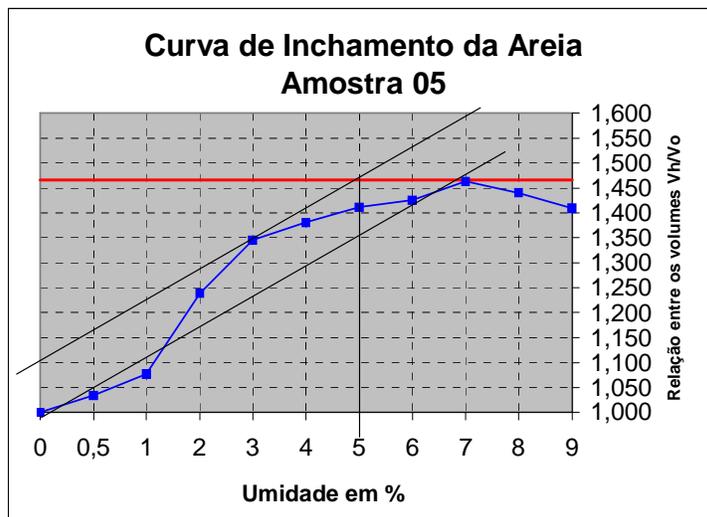
## II.14

Quadro II (12)

### Material: AMOSTRA 05

				TARA:	1,503
Data do Ensaio:16/05/00				VOLUME:	4,370
TEOR DE UMIDADE (%)	Inchamento de Areia				
	Massa Bruta (kg)	Massa Líquida (kg)	Massa Unitária (kg/dm <sup>3</sup> )	do/dh	vh/vo
0	7,900	6,397	1,464	1,000	1,000
0,5	7,720	6,217	1,423	1,029	1,034
1	7,500	5,997	1,372	1,067	1,077
2	6,770	5,267	1,205	1,215	1,239
3	6,400	4,897	1,121	1,306	1,345
4	6,320	4,817	1,102	1,328	1,381
5	6,260	4,757	1,089	1,345	1,412
6	6,260	4,757	1,089	1,345	1,425
7	6,180	4,677	1,070	1,368	1,464
8	6,300	4,797	1,098	1,334	1,440
9	6,450	4,947	1,132	1,293	1,409

Figura II (11)



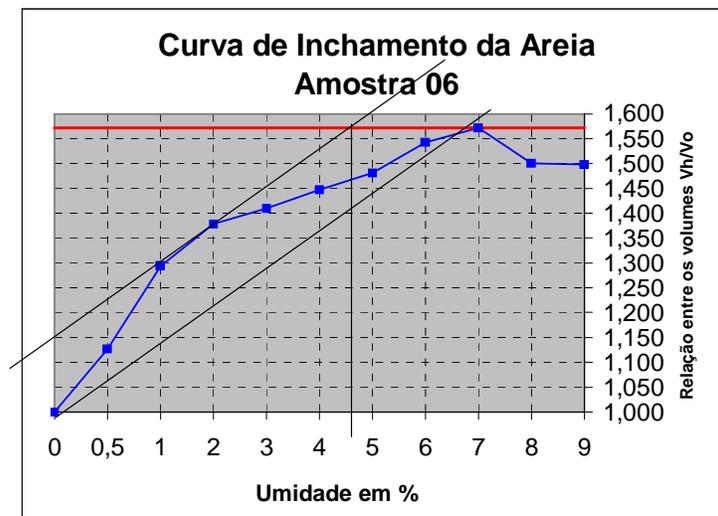
UMIDADE CRÍTICA:	5,10%
COEFICIENTE MÉDIO DE INCHAMENTO:	1,42

Quadro II (13)

**Material: AMOSTRA 06**

				TARA:	1,503
Data do Ensaio:16/05/00				VOLUME:	4,370
TEOR DE UMIDADE (%)	Inchamento de Areia				
	Peso Bruta (Kg)	Massa Líquida (kg)	Massa Unitária (kg/dm <sup>3</sup> )	do/dh	vh/vo
0	7,930	6,427	1,471	1,000	1,000
0,5	7,240	5,737	1,313	1,120	1,126
1	6,520	5,017	1,148	1,281	1,294
2	6,260	4,757	1,089	1,351	1,378
3	6,200	4,697	1,075	1,368	1,409
4	6,120	4,617	1,057	1,392	1,448
5	6,060	4,557	1,043	1,410	1,481
6	5,920	4,417	1,011	1,455	1,542
7	5,880	4,377	1,002	1,468	1,571
8	6,130	4,627	1,059	1,389	1,500
9	6,180	4,677	1,070	1,374	1,498

Figura II (12)



UMIDADE CRÍTICA:	4,70%
COEFICIENTE MÉDIO DE INCHAMENTO:	1,45

**d) Ensaio para a determinação do teor de sais**

Quadro II (14)

<b>TEORES DE SAIS SOLÚVEIS- AREIAS ANALISADAS</b>		
<b>AMOSTRAS</b>	<b>Sulfatos (%)</b>	<b>Cloretos (%)</b>
<b>Areia 01</b>	<b>0,0624</b>	<b>0,0427</b>
<b>Areia 02</b>	<b>*</b>	<b>0,0211</b>
<b>Areia 03</b>	<b>0,2419</b>	<b>0,0131</b>
<b>Areia 04</b>	<b>0,0198</b>	<b>0,0342</b>
<b>Areia 05</b>	<b>*</b>	<b>0,0017</b>
<b>Areia 06</b>	<b>0,0684</b>	<b>0,0016</b>

**e) Ensaio para a determinação da massa volúmica (8.2.1-e)**

Quadro II (15)

<b>AMOSTRAS</b>	<b>MASSA VOLÚMICA (kg/dm<sup>3</sup>)</b>
<b>Areia 01</b>	<b>1,442</b>
<b>Areia 02</b>	<b>1,484</b>
<b>Areia 03</b>	<b>1,386</b>
<b>Areia 04</b>	<b>1,462</b>
<b>Areia 05</b>	<b>1,464</b>
<b>Areia 06</b>	<b>1,471</b>

## II-2 – ENSAIO NAS ARGAMASSAS APLICADAS NOS PAINÉIS EXPERIMENTAIS

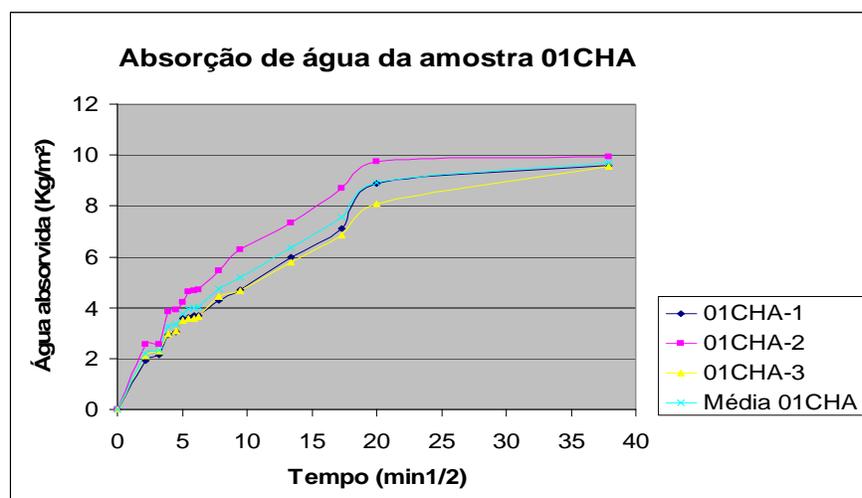
### II-2.1 – Ensaios nos provetes das argamassas de reabilitação preconizadas

#### a) Ensaio de absorção de água por capilaridade e secagem d água absorvida pelos provetes de argamassa de reabilitação

Quadro II (16): Absorção da Amostra 01CHA

Tempo (min)	Água absorvida (g)			Área (cm <sup>2</sup> )			Água absorvida por unidade de área (Kg/m <sup>2</sup> )				Coeficiente de capilaridade por contato
	P1	P2	P3	P1	P2	P3	P1	P2	P3	Média	
0	0,00	0,00	0,00				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
180	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

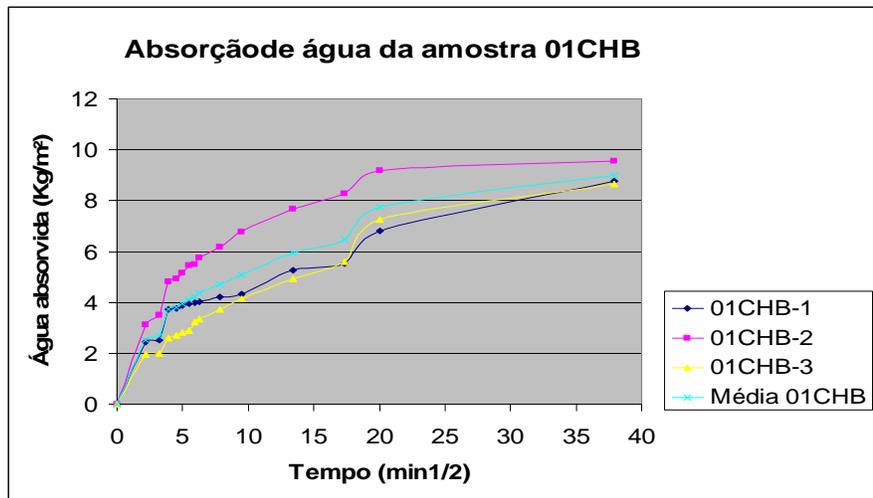
Figura II (13)



Quadro II (17): Absorção da Amostra 01CHB

Tempo (min)	Água absorvida (g)			Área (cm²)			Água absorvida por unidade de área (Kg/m²)				Coeficiente de capilaridade por contato $Coc(Kg/m².min^{1/2})$
	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		$Coc = 1,1270$	
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	5,5	3,22	4,23			
40	25,70	36,90	21,40		4,02	5,77	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		$Coc(90-10) = 0,3795$	
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		$Coc_{24h} = 0,2372$	

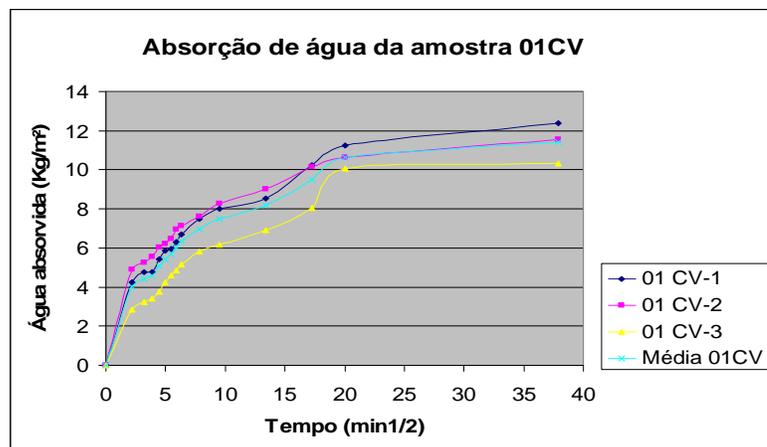
Figura II (14)



Quadro II (18): Absorção da Amostra 01CV

Tempo (min)	Água absorvida (g)			Área (cm <sup>2</sup> )			Água absorvida por unidade de área (Kg/m <sup>2</sup> )				Coeficiente de capilaridade por contato	
	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	39,90	27,10				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

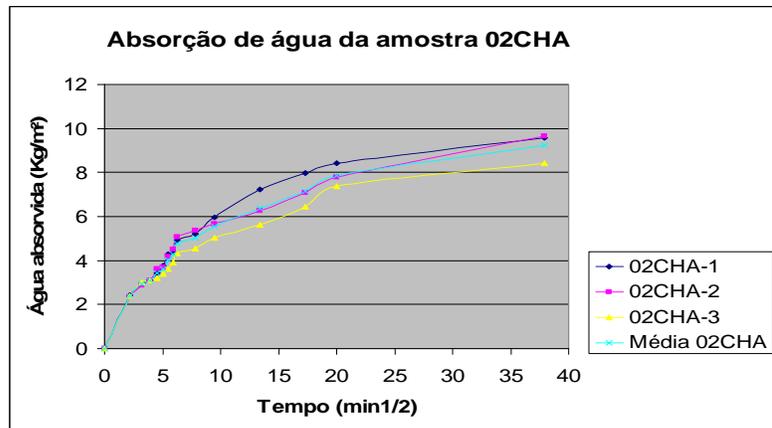
Figura II (15)



Quadro II (19): Absorção da Amostra 02CHA

Tempo (min)	Água absorvida (g)			Área (cm <sup>2</sup> )			Água absorvida por unidade de área (Kg/m <sup>2</sup> )				Coeficiente de capilaridade por contato
	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

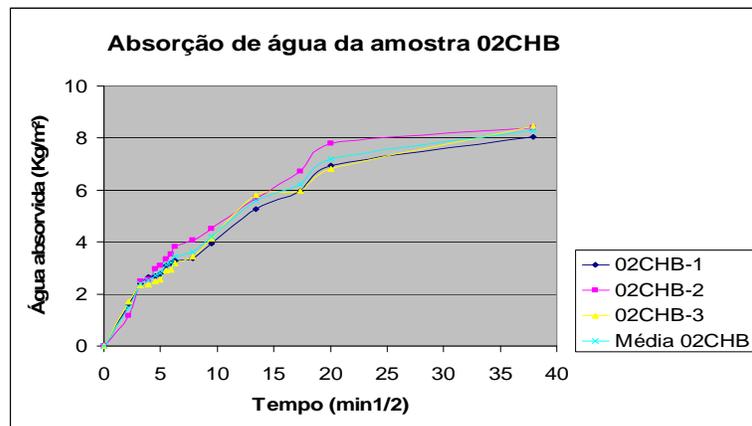
Figura II (16)



Quadro II (20): Absorção da Amostra 02CHB

Tempo (min)	Água absorvida (g)			Área (cm <sup>2</sup> )			Água absorvida por unidade de área (Kg/m <sup>2</sup> )				Coeficiente de capilaridade por contato
	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	C <sub>cc</sub> = 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	C <sub>cc</sub> (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	C <sub>cc</sub> 24h = 0,2185

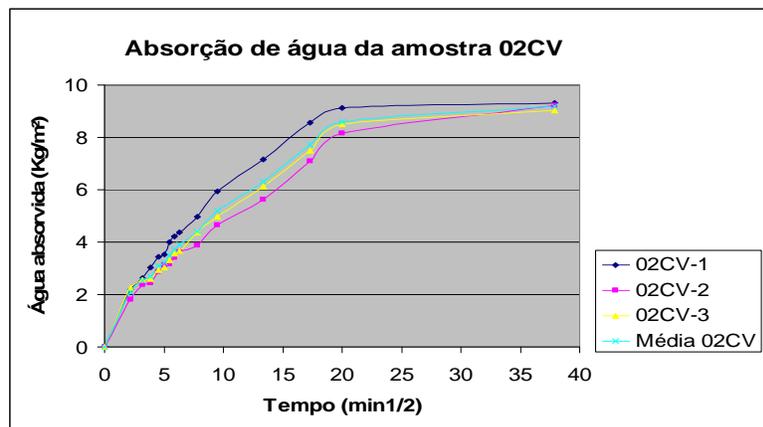
Figura II (17)



Quadro II (21): Absorção da Amostra 02CV

Tempo (min)	Água absorvida (g)			Área (cm <sup>2</sup> )			Água absorvida por unidade de área (Kg/m <sup>2</sup> )				Coeficiente de capilaridade por contato	
	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	14,10	11,60	14,40				2,2	1,81	2,25	2,09	Ccc = 0,9347	
10	16,90	15,30	16,30				2,64	2,39	2,55	2,53		
15	19,30	15,70	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	

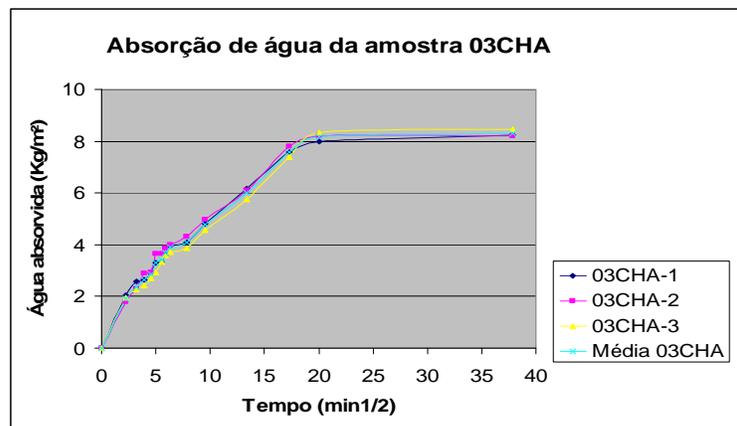
Figura II (18)



Quadro II (22): Absorção da Amostra 03CHA

Tempo (min)	Água absorvida (g)			Área (cm <sup>2</sup> )			Água absorvida por unidade de área (Kg/m <sup>2</sup> )				Coeficiente de capilaridade por contato
	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	C <sub>cc</sub> = 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				3,30	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	C <sub>cc</sub> (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	C <sub>cc</sub> 24h = 0,2190

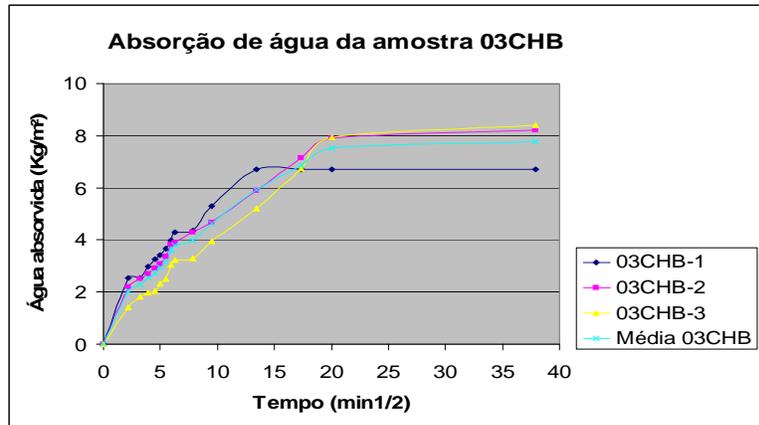
Figura II (19)



Quadro II (23): Absorção da Amostra 03CHB

Tempo (min)	Água absorvida (g)			Área (cm <sup>2</sup> )			Água absorvida por unidade de área (Kg/m <sup>2</sup> )				Coeficiente de capilaridade por contato
	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	16,20	14,00	9,00				2,53	2,19	1,41	2,04	Ccc = 0,9123
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	3,61	
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

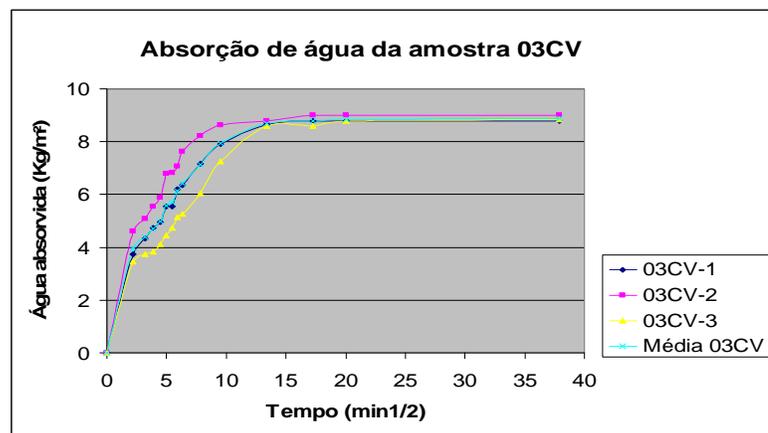
Figura II (20)



Quadro II (24): Absorção da Amostra 03CV

Tempo (min)	Água absorvida (g)			Área (cm <sup>2</sup> )			Água absorvida por unidade de área (Kg/m <sup>2</sup> )				Coeficiente de capilaridade por contato
	P1	P2	P3	P1	P2	P3	P1	P2	P3	Média	
0	0,00	0,00	0,00				0,00	0,00	0,00	0,00	
5	24,00	29,50	22,20	64,00			3,75	4,61	3,47	3,94	Ccc = 1,7620
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	8,8	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

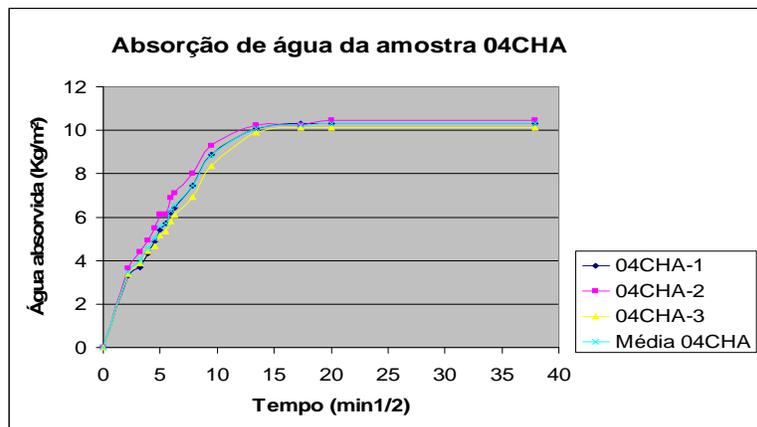
Figura II (21)



Quadro II (25): Absorção da Amostra 04CHA

Tempo (min)	Água absorvida (g)			Área (cm <sup>2</sup> )			Água absorvida por unidade de área (Kg/m <sup>2</sup> )				Coeficiente de capilaridade por contato
	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	21,10	23,40	21,60				3,3	3,66	3,38	3,45	Ccc = 1,5429
10	23,70	28,30	24,70				3,70	4,42	3,86	3,99	
15	27,70	31,60	28,40				4,33	4,94	4,44	4,57	
20	31,30	35,10	29,90				4,89	5,48	4,67	5,01	
25	34,60	39,20	33,00				5,41	6,13	5,16	5,57	
30	36,50	39,30	34,10				5,70	6,14	5,33	5,72	
35	39,70	44,10	37,00				6,20	6,89	5,78	6,29	
40	41,30	45,50	38,90				6,45	7,11	6,08	6,55	
60	47,60	51,40	44,20				7,44	8,03	6,91	7,46	
90	56,90	59,40	53,50				8,89	9,28	8,36	8,84	Ccc(90-10) = 0,8522
180	64,50	65,50	63,20				10,08	10,23	9,88	10,06	
300	66,00	65,50	64,80				10,31	10,23	10,13	10,22	
400	66,00	66,90	64,80				10,31	10,45	10,13	10,30	
1440	66,00	66,90	64,80				10,31	10,45	10,13	10,30	Ccc 24h = 0,2714

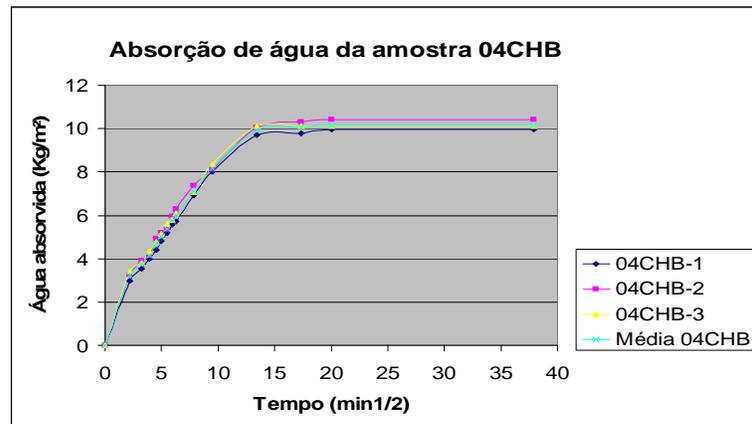
Figura II (22)



Quadro II (26): Absorção da Amostra 04CHB

Tempo (min)	Água absorvida (g)			Área (cm <sup>2</sup> )			Água absorvida por unidade de área (Kg/m <sup>2</sup> )				Coeficiente de capilaridade por contato
	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 = 1,4445
5	19,00	21,00	22,00				2,97	3,28	3,44	3,23	
10	22,70	25,00	24,30				3,55	3,91	3,80	3,75	
15	25,50	26,50	27,80				3,98	4,14	4,34	4,15	
20	28,30	31,60	30,50				4,42	4,94	4,77	4,71	
25	30,80	33,30	33,00				4,81	5,20	5,16	5,06	
30	33,30	34,20	35,90				5,20	5,34	5,61	5,38	
35	35,60	38,00	37,10				5,56	5,94	5,80	5,77	
40	36,50	40,10	39,10				5,70	6,27	6,11	6,03	
60	44,20	47,30	45,20				6,91	7,39	7,06	7,12	
90	51,20	52,00	53,50				8,00	8,13	8,36	8,16	Ccc(90-10) = 0,7795
180	62,10	64,20	64,70				9,70	10,03	10,11	9,95	
300	62,60	65,90	64,70				9,78	10,30	10,11	10,06	
400	63,90	66,70	64,70				9,98	10,42	10,11	10,17	
1440	63,90	66,70	64,70				9,98	10,42	10,11	10,17	Ccc 24h = 0,2680

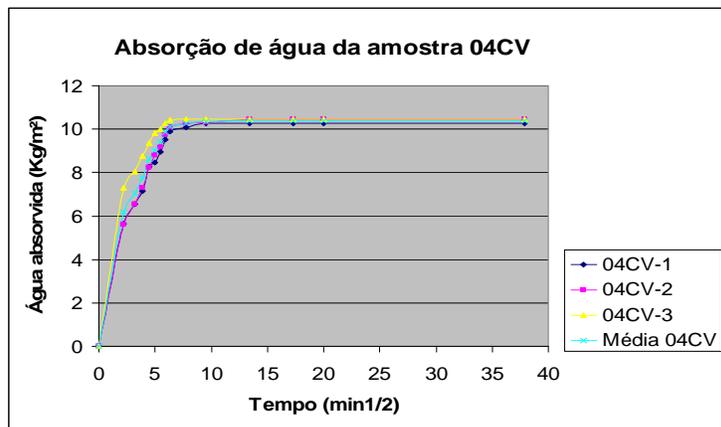
Figura II (23)



Quadro II (27): Absorção da Amostra 04CV

Tempo (min)	Água absorvida (g)			Área (cm²)			Água absorvida por unidade de área (Kg/m²)				Coeficiente de capilaridade por contato	
	P1	P2	P3	P1	P2	P3	P1	P2	P3	Média		
0	0,00	0,00	0,00	64,00	P1	P2	P3	0,00	0,00	0,00	0,00	Ccc = 2,7683
5	36,20	35,80	46,80					5,66	5,59	7,31	6,19	
10	42,00	41,80	51,60					6,56	6,53	8,06	7,05	
15	45,80	46,70	56,20					7,16	7,30	8,78	7,75	
20	52,90	52,60	59,90					8,27	8,22	9,36	8,62	
25	54,10	56,30	62,70					8,45	8,80	9,80	9,02	
30	57,40	58,80	64,00					8,97	9,19	10,00	9,39	
35	60,90	62,40	65,80					9,52	9,75	10,28	9,85	
40	63,40	64,60	66,60					9,91	10,09	10,41	10,14	
60	64,50	65,80	66,80					10,08	10,28	10,44	10,27	
90	65,70	65,90	66,80					10,27	10,30	10,44	10,34	Ccc(90-10) = 0,6562
180	65,70	67,00	66,80					10,27	10,47	10,44	10,39	
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

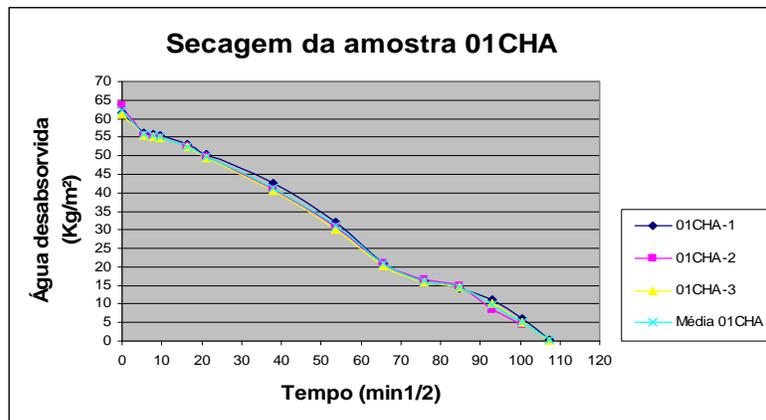
Figura II (24)



Quadro II (28): Secagem da Amostra 01CHA

Tempo (min)	Massa inicial (g)	Água retida por unidade de área (Kg/m <sup>2</sup> )			
		P 1	P 2	P 3	Média
0	P 1 = 537,30 P 2 = 523,70 P 3 = 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		0,10	0,30

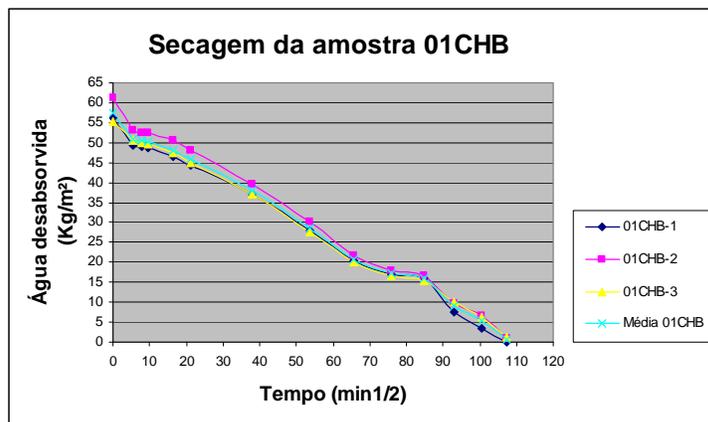
Figura II (25)



Quadro II (29): Secagem da Amostra 01CHB

Tempo (min)	Massa inicial (g)	Água retida por unidade de área (Kg/m <sup>2</sup> )			
		P 1	P 2	P 3	Média
0	P 1 = 522,50 P 2 = 523,20 P 3 = 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	47,40	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	0,90	1,10	0,70

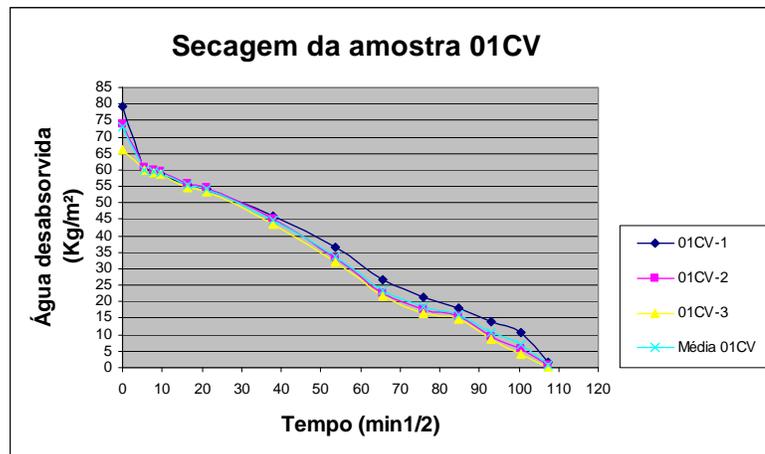
Figura II (26)



Quadro II (30): Secagem da Amostra 01CV

Tempo (min)	Massa inicial (g)	Água retida por unidade de área (Kg/m <sup>2</sup> )			
		P 1	P 2	P 3	Média
0	P 1 = 526,40 P 2 = 542,90 P 3 = 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	33,87
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

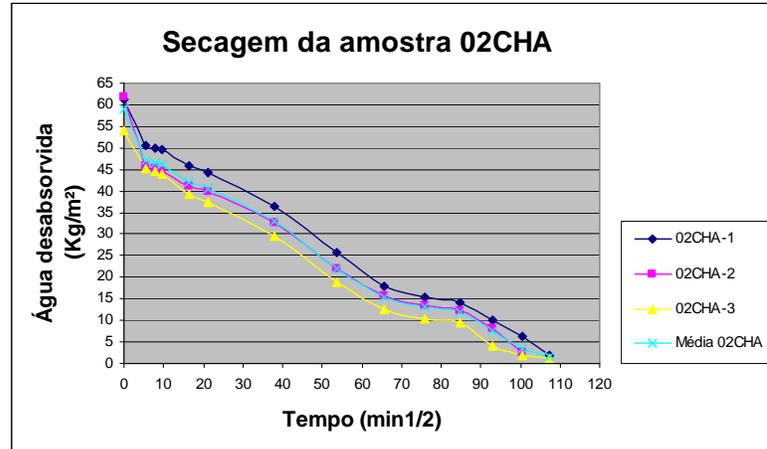
Figura II (27)



Quadro II (31): Secagem da Amostra 02CHA

Tempo (min)	Massa inicial (g)	Água retida por unidade de área (Kg/m <sup>2</sup> )			
		P 1	P 2	P 3	Média
0	P 1 = 531,40 P 2 = 545,50 P 3 = 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		1,10	1,45

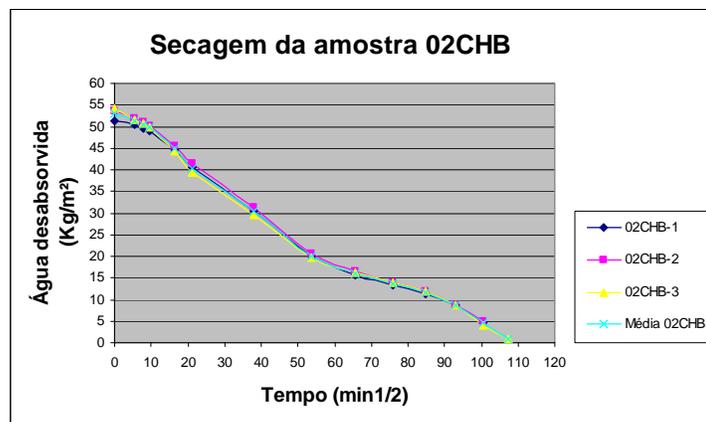
Figura II (28)



Quadro II (32): Secagem da Amostra 02CHB

Tempo (min)	Massa inicial (g)	Água retida por unidade de área (Kg/m <sup>2</sup> )			
		P 1	P 2	P 3	Média
0	P 1 = 555,70 P 2 = 563,60 P 3 = 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				0,90	0,90

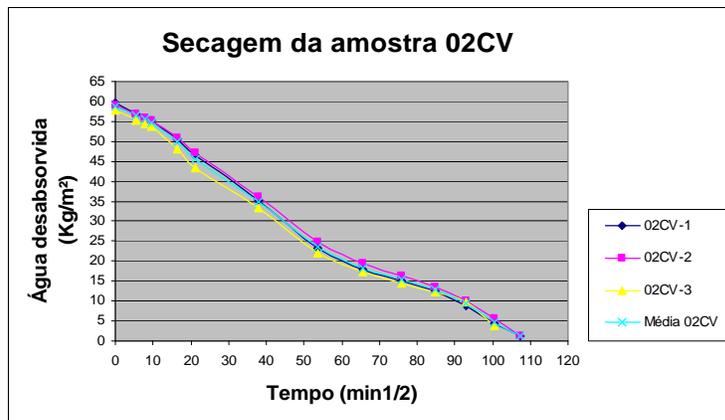
Figura II (29)



Quadro II (33): Secagem da Amostra 02CV

Tempo (min)	Massa inicial (g)	Água retida por unidade de área (Kg/m <sup>2</sup> )			
		P 1	P 2	P 3	Média
0	P 1 = 558,00 P 2 = 561,90 P 3 = 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		1,25

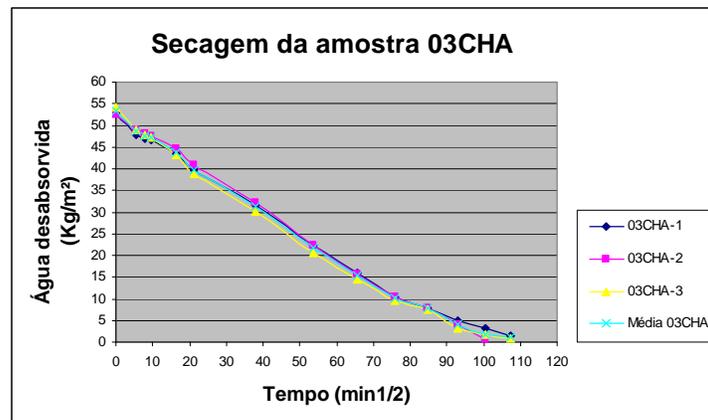
Figura II (30)



Quadro II (34): Secagem da Amostra 03CHA

Tempo (min)	Massa inicial (g)	Água retida por unidade de área (Kg/m <sup>2</sup> )			
		P 1	P 2	P 3	Média
0	P 1 = 495,30 P 2 = 496,80 P 3 = 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		0,80	1,10

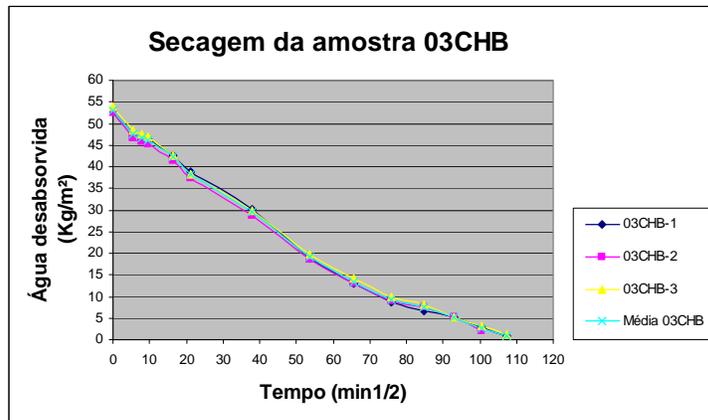
Figura II (31)



Quadro II (35): Secagem da Amostra 03CHB

Tempo (min)	Massa inicial (g)	Água retida por unidade de área (Kg/m <sup>2</sup> )			
		P 1	P 2	P 3	Média
0	P 1 = 503,30 P 2 = 499,70 P 3 = 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		1,20	1,00

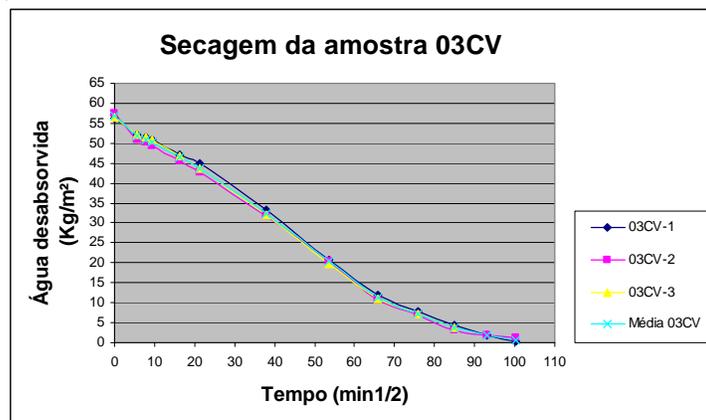
Figura II (32)



Quadro II (36): Secagem da Amostra 03CV

Tempo (min)	Massa inicial (g)	Água retida por unidade de área (Kg/m <sup>2</sup> )			
		P 1	P 2	P 3	Média
0	P 1 = 481,50 P 2 = 517,90 P 3 = 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		1,85
10080		0,40	1,10		0,75

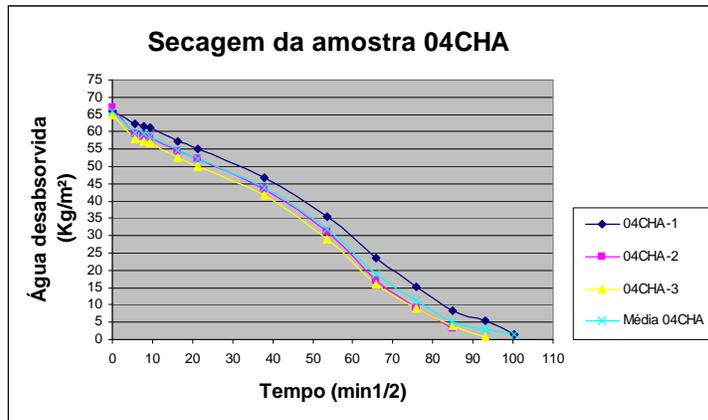
Figura II (33)



Quadro II (37): Secagem da Amostra 04CHA

Tempo (min)	Massa inicial (g)	Água retida por unidade de área (Kg/m <sup>2</sup> )			
		P 1	P 2	P 3	Média
0	P 1 = 530,70 P 2 = 540,60 P 3 = 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	52,27
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		0,60	3,00
10080		1,50			1,50

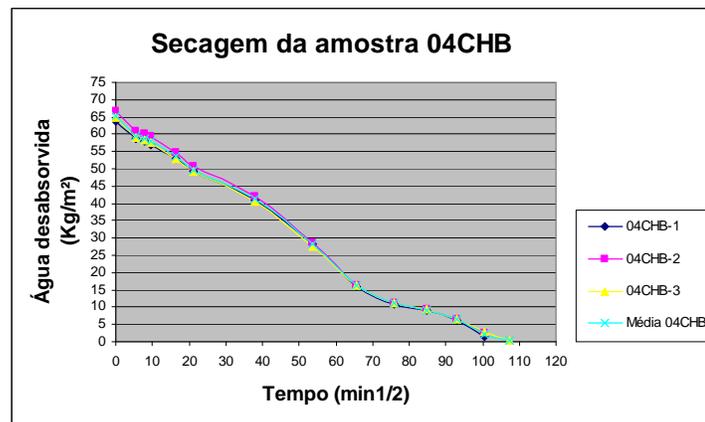
Figura II (34)



Quadro II (38): Secagem da Amostra 04CHB

Tempo (min)	Massa inicial (g)	Água retida por unidade de área (Kg/m <sup>2</sup> )			
		P 1	P 2	P 3	Média
0	P 1 = 518,10 P 2 = 528,90 P 3 = 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				0,30	0,30

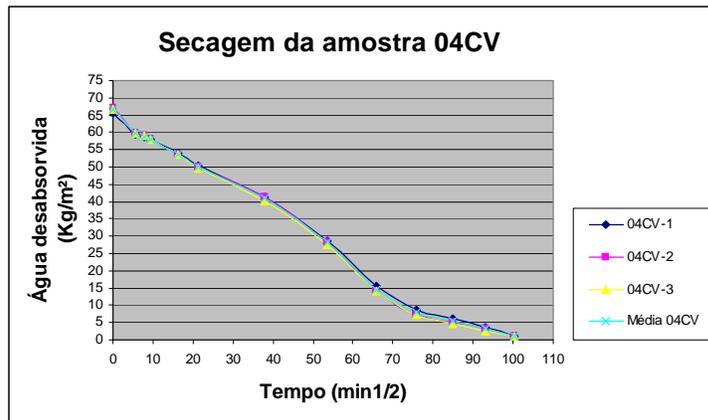
Figura II (35)



Quadro II (39): Secagem da Amostra 04CV

Tempo (min)	Massa inicial (g)	Água retida por unidade de área (Kg/m <sup>2</sup> )			
		P 1	P 2	P 3	Média
0	P 1 = 504,10 P 2 = 494,10 P 3 = 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

Figura II (36)



**b) Ensaio para determinação da massa volúmica e do índice de vazios nos provetes de argamassa de reabilitação**

Quadro II (40): Massa volúmica e índice de vazios

Argamassa	Massa volúmica da amostra Seca (kg/dm <sup>3</sup> )	Massa volúmica da amostra Saturada (kg/dm <sup>3</sup> )	Massa volúmica da amostra saturada/ Fervura (kg/dm <sup>3</sup> )	Massa volúmica real (kg/dm <sup>3</sup> )	Absorção saturação natural (%)	Absorção após fervura (%)	Índice de vazios saturação natural (%)	Índice de vazios após fervura (%)
01CHA	1,8940	2,1026	2,1276	2,4712	11,02	12,33	21,40	23,96
01CHB	1,8951	2,0928	2,1236	2,4564	10,43	12,06	20,40	23,54
01CV	1,7954	2,0193	2,0546	2,4235	12,47	14,44	23,20	27,22
02CHA	1,8323	2,0415	2,0660	2,3912	11,41	12,76	21,44	23,80
02CHB	1,8204	2,0251	2,0455	2,3492	11,25	12,37	20,90	22,98
02CV	1,8032	2,0217	2,0443	2,3760	12,12	13,37	22,35	24,61
03CHA	1,7648	1,9714	2,0232	2,3799	11,71	14,65	21,79	27,22
03CHB	1,7287	1,9371	1,9889	2,3366	12,05	15,05	21,97	26,95
03CV	1,6977	1,9046	1,9744	2,3472	12,19	16,30	22,25	29,51
04CHA	1,8217	2,0569	2,0744	2,4376	12,91	13,87	23,94	25,50
04CHB	1,7377	1,9640	2,0188	2,4170	13,02	16,17	23,94	29,56
04CV	1,7412	1,9712	2,0220	2,4211	13,21	16,13	24,23	29,36

## c) Ensaio de resistência à compressão nos provetes de argamassa de reabilitação

Quadro II (41): Resistência à compressão

Resistência à Compressão - NBR 7215 - Corpos-de-Prova Cilíndricos (Diam = 50mm / h = 100mm / área = 19,63cm²)						
Amostra	Idade (dias)	Carga Ruptura (N)	Limite de Resistência (MPa)	Média (MPa)	Desvio Padrão	Coefficiente de Variação
01CHA	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			
01CHB	7	4180	21,29	20,14	2,00	9,93
	7	4180	21,29			
	7	3500	17,83			
	28	7000	35,66	44,15	7,78	17,63
	28	10000	50,94			
	28	9000	45,85			
01CV	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			
02CHA	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			
02CHB	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			
02CV	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			

Quadro II (42): Resistência à compressão

Resistência à Compressão - NBR 7215 - Corpos-de-Prova Cilíndricos (Diam = 50mm / h = 100mm / área = 19,63cm²)						
Amostra	Idade (dias)	Carga Ruptura (N)	Limite de Resistência (MPa)	Média (MPa)	Desvio Padrão	Coefficiente de Variação
03CHA	7	1800	9,17	9,59	0,53	5,53
	7	1850	9,42			
	7	2000	10,19			
	28	6000	30,57	29,21	1,56	5,33
	28	5400	27,51			
	28	5800	29,55			
03CHB	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			
03CV	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			
04CHA	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			
04CHB	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			
04CV	7	300	1,53	1,53	0,00	0,00
	7	300	1,53			
	7	300	1,53			
	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 de argamassa de reabilitação

Quadro II (43): Resistência à tração na flexão

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
01 CHA	28	250	0,46	0,40	0,07	16,40
	28	250	0,40			
	28	250	0,33			
01 CHB	28	250	0,44	0,42	0,03	6,82
	28	250	0,44			
	28	250	0,39			
01 CV	28	250	0,46	0,45	0,02	3,42
	28	250	0,45			
	28	250	0,43			
02 CHA	28	600	1,06	1,18	0,20	17,17
	28	600	1,06			
	28	800	1,41			
02 CHB	28	130	0,21	0,23	0,18	8,09
	28	150	0,24			
	28	150	0,24			
02 CV	28	100	0,17	0,34	0,18	50,98
	28	300	0,52			
	28	200	0,34			
03 CHA	28	300	0,54	0,54	0,02	2,81
	28	300	0,53			
	28	300	0,56			
03 CHB	28	200	0,37	0,36	0,01	3,18
	28	200	0,37			
	28	200	0,35			
03 CV	28	100	0,18	0,19	0,01	3,09
	28	100	0,19			
	28	100	0,19			
04 CHA	28	100	0,17	0,17	0,00	0,00
	28	100	0,17			
	28	100	0,17			
04 CHB	28	200	0,35	0,30	0,09	31,14
	28	200	0,35			
	28	100	0,19			
04 CV	28	0	0,00	0,00	0,00	0,00
	28	0	0,00			
	28	0	0,00			

## II-2.2 – Ensaios nas argamassas de reabilitação aplicadas nos painéis experimentais montados em laboratório

### a) Ensaio de aderência ao suporte

Quadro II (44)

ENSAIO DE RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO												
Argamassa	01CHA	01CHB	01CV	02CHA	02CHB	02CV	03CHA	03CHB	03CV	04CHA	04CHB	04CV
Cargas kg	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
<b>Média</b>	<b>17,3</b>	<b>13,7</b>	<b>12,3</b>	<b>6,0</b>	<b>8,3</b>	<b>11,7</b>	<b>14,7</b>	<b>8,7</b>	<b>8,3</b>	<b>4,7</b>	<b>7,7</b>	<b>2,0</b>

### b) Ensaio de permeabilidade à água nas argamassas aplicadas nos painéis

Quadro II (45)

Ensaio de Absorção de Água - Método do cachimbo					
Painel	Idade	Ensaio nº	Leitura (cm <sup>3</sup> )		
			5 min	10 min	15 min
01 CHA	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
		<b>Média</b>	<b>0,38</b>	<b>0,56</b>	<b>0,72</b>
<b>Valor Mínimo (cm<sup>3</sup>)</b>			<b>0,30</b>	<b>0,40</b>	<b>0,50</b>
<b>Média (cm<sup>3</sup>)</b>			<b>0,38</b>	<b>0,56</b>	<b>0,72</b>
<b>Valor Máximo (cm<sup>3</sup>)</b>			<b>0,50</b>	<b>0,80</b>	<b>1,00</b>
<b>Variância (cm<sup>3</sup>)</b>			<b>0,007</b>	<b>0,028</b>	<b>0,037</b>
<b>Desvio Padrão</b>			<b>0,084</b>	<b>0,167</b>	<b>0,192</b>
<b>Coefficiente de Variação ( % )</b>			<b>22,02</b>	<b>29,88</b>	<b>26,72</b>

Quadro II (46)

<b>Ensaio de Absorção de Água - Método do cachimbo</b>					
Painel	Idade	Ensaio n <sup>o</sup>	Leitura (cm <sup>3</sup> )		
			5 min	10 min	15 min
<b>01 CHB</b>	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
		<b>Média</b>	<b>0,40</b>	<b>0,62</b>	<b>0,80</b>
<b>Valor Mínimo (cm<sup>3</sup>)</b>			<b>0,30</b>	<b>0,50</b>	<b>0,60</b>
<b>Média (cm<sup>3</sup>)</b>			<b>0,40</b>	<b>0,62</b>	<b>0,80</b>
<b>Valor Máximo (cm<sup>3</sup>)</b>			<b>0,50</b>	<b>0,70</b>	<b>1,00</b>
<b>Variância (cm<sup>3</sup>)</b>			<b>0,005</b>	<b>0,007</b>	<b>0,025</b>
<b>Desvio Padrão</b>			<b>0,071</b>	<b>0,084</b>	<b>0,158</b>
<b>Coefficiente de Variação ( % )</b>			<b>17,68</b>	<b>13,49</b>	<b>19,76</b>

Quadro II (47)

<b>Ensaio de Absorção de Água - Método do cachimbo</b>					
Painel	Idade	Ensaio n <sup>o</sup>	Leitura (cm <sup>3</sup> )		
			5 min	10 min	15 min
<b>01 CV</b>	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
		<b>Média</b>	<b>0,38</b>	<b>0,60</b>	<b>0,82</b>
<b>Valor Mínimo (cm<sup>3</sup>)</b>			<b>0,30</b>	<b>0,50</b>	<b>0,70</b>
<b>Média (cm<sup>3</sup>)</b>			<b>0,38</b>	<b>0,60</b>	<b>0,82</b>
<b>Valor Máximo (cm<sup>3</sup>)</b>			<b>0,40</b>	<b>0,80</b>	<b>1,00</b>
<b>Variância (cm<sup>3</sup>)</b>			<b>0,002</b>	<b>0,015</b>	<b>0,017</b>
<b>Desvio Padrão</b>			<b>0,045</b>	<b>0,122</b>	<b>0,130</b>
<b>Coefficiente de Variação ( % )</b>			<b>11,77</b>	<b>20,41</b>	<b>15,90</b>

Quadro II (48)

<b>Ensaio de Absorção de Água - Método do cachimbo</b>					
Painel	Idade	Ensaio n <sup>o</sup>	Leitura (cm <sup>3</sup> )		
			5 min	10 min	15 min
02 CHA	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 (cm <sup>3</sup> )			0,05	0,10	0,15
Média (cm <sup>3</sup> )			0,18	0,26	0,31
Valor Máximo (cm <sup>3</sup> )			0,35	0,45	0,50
Variância (cm <sup>3</sup> )			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		

Quadro II (49)

<b>Ensaio de Absorção de Água - Método do cachimbo</b>					
Painel	Idade	Ensaio n <sup>o</sup>	Leitura (cm <sup>3</sup> )		
			5 min	10 min	15 min
02 CHB	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 (cm <sup>3</sup> )			0,80	1,00	1,10
Média (cm <sup>3</sup> )			1,36	1,74	1,96
Valor Máximo (cm <sup>3</sup> )			2,10	2,80	3,20
Variância (cm <sup>3</sup> )			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		

Quadro II (50)

<b>Ensaio de Absorção de Água - Método do cachimbo</b>					
Painel	Idade	Ensaio n <sup>o</sup>	Leitura (cm <sup>3</sup> )		
			5 min	10 min	15 min
02 CV	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 (cm <sup>3</sup> )			0,20	0,30	0,30
Média (cm <sup>3</sup> )			0,26	0,34	0,40
Valor Máximo (cm <sup>3</sup> )			0,40	0,40	0,50
Variância (cm <sup>3</sup> )			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		

Quadro II (51)

<b>Ensaio de Absorção de Água - Método do cachimbo</b>					
Painel	Idade	Ensaio n <sup>o</sup>	Leitura (cm <sup>3</sup> )		
			5 min	10 min	15 min
03 CHA	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 (cm <sup>3</sup> )			0,30	0,45	0,55
Média (cm <sup>3</sup> )			0,46	0,61	0,71
Valor Máximo (cm <sup>3</sup> )			0,60	0,80	0,90
Variância (cm <sup>3</sup> )			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		

Quadro II (52)

<b>Ensaio de Absorção de Água - Método do cachimbo</b>					
Painel	Idade	Ensaio nº	Leitura (cm <sup>3</sup> )		
			5 min	10 min	15 min
03 CHB	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 (cm <sup>3</sup> )			0,15	0,20	0,30
Média (cm <sup>3</sup> )			0,43	0,56	0,68
Valor Máximo (cm <sup>3</sup> )			0,70	0,90	1,10
Variância (cm <sup>3</sup> )			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		

Quadro II (53)

<b>Ensaio de Absorção de Água - Método do cachimbo</b>					
Painel	Idade	Ensaio nº	Leitura (cm <sup>3</sup> )		
			5 min	10 min	15 min
03 CV	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 (cm <sup>3</sup> )			0,70	0,90	1,10
Média (cm <sup>3</sup> )			0,92	1,16	1,34
Valor Máximo (cm <sup>3</sup> )			1,20	1,50	1,70
Variância (cm <sup>3</sup> )			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		

Quadro II (54)

<b>Ensaio de Absorção de Água - Método do cachimbo</b>					
Painel	Idade	Ensaio n <sup>o</sup>	Leitura (cm <sup>3</sup> )		
			5 min	10 min	15 min
04 CHA	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 (cm <sup>3</sup> )			0,30	0,50	0,60
Média (cm <sup>3</sup> )			0,42	0,64	0,80
Valor Máximo (cm <sup>3</sup> )			0,70	1,00	1,40
Variância (cm <sup>3</sup> )			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		

Quadro II (55)

<b>Ensaio de Absorção de Água - Método do cachimbo</b>					
Painel	Idade	Ensaio n <sup>o</sup>	Leitura (cm <sup>3</sup> )		
			5 min	10 min	15 min
04 CHB	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	0,80	1,10
		Média	0,60	0,84	1,04
Valor Mínimo (cm <sup>3</sup> )			0,40	0,60	0,70
Média (cm <sup>3</sup> )			0,60	0,84	1,04
Valor Máximo (cm <sup>3</sup> )			0,80	1,10	1,30
Variância (cm <sup>3</sup> )			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		

Quadro II (56)

Ensaio de Absorção de Água - Método do cachimbo					
Painel	Idade	Ensaio n <sup>o</sup>	Leitura (cm <sup>3</sup> )		
			5 min	10 min	15 min
04 CV	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 (cm <sup>3</sup> )			0,80	1,30	1,70
Média (cm <sup>3</sup> )			1,08	1,68	2,16
Valor Máximo (cm <sup>3</sup> )			1,40	2,10	2,70
Variância (cm <sup>3</sup> )			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		

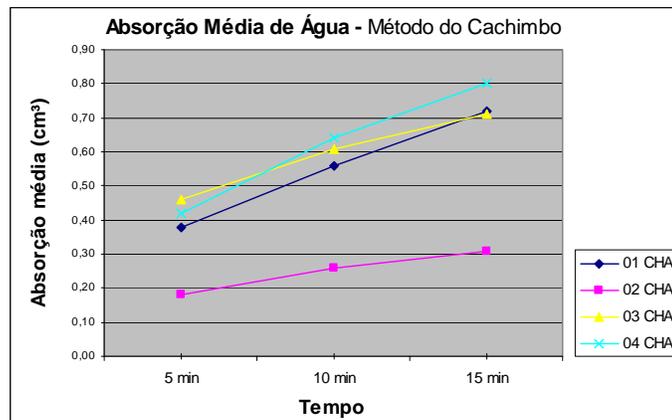


Figura II (37)

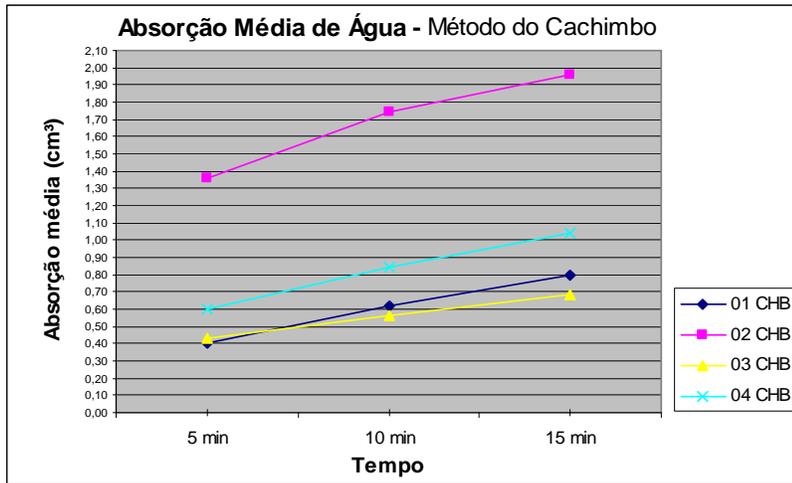


Figura II (38)

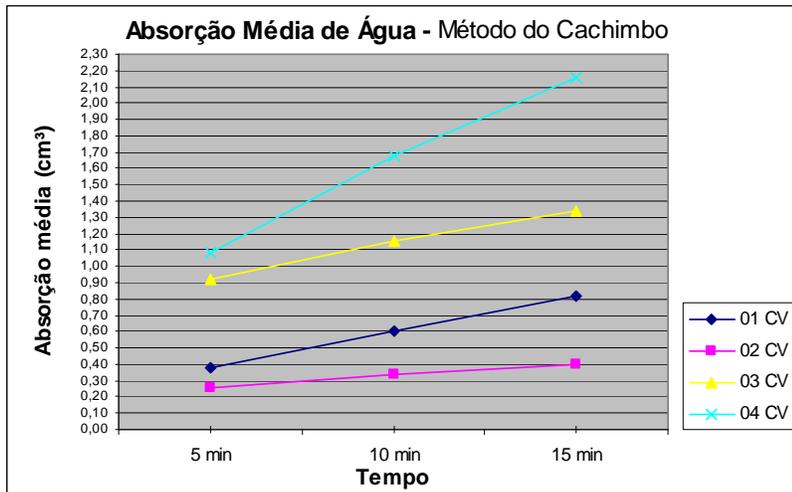


Figura II (39)

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

Quadro II (57)

<b>Análise dos teores de sais solúveis (sulfatos)</b>					
<b>Amostras</b>	<b>Massa original m1 (g)</b>	<b>Massa BaSO4 + cadinho (g)</b>	<b>Massa Cadinho (g)</b>	<b>BaSO4 m2 (g)</b>	<b>% SO4</b>
<b>01CHA</b>	20,0053	30,1203	29,8766	0,2437	<b>1,2547</b>
<b>01CHB</b>	20,0019	29,0682	28,7682	0,3000	<b>1,5449</b>
<b>01CV</b>	20,0023	30,3636	30,1636	0,2000	<b>1,0299</b>
<b>02CHA</b>	20,0022	30,5547	30,1122	0,4425	<b>2,2786</b>
<b>02CHB</b>	20,0027	21,0684	20,8482	0,2202	<b>1,1339</b>
<b>02CV</b>	20,0026	20,1432	20,1229	0,0203	<b>0,1045</b>
<b>03CHA</b>	20,0018	20,9146	20,7831	0,1315	<b>0,6772</b>
<b>03CHB</b>	20,0023	19,9526	19,8344	0,1182	<b>0,6087</b>
<b>03CV</b>	20,0025	29,4416	29,0085	0,4331	<b>2,2302</b>
<b>04CHA</b>	20,0027	30,9712	30,8002	0,1710	<b>0,8805</b>
<b>04CHB</b>	20,0022	37,7205	37,4165	0,3040	<b>1,5654</b>
<b>04CV</b>	20,0019	36,8588	35,9128	0,9460	<b>4,8714</b>

