

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil

Dissertação de Mestrado

TIPIFICAÇÃO DE PATOLOGIAS EM REVESTIMENTOS ARGAMASSADOS

Autora: Beatriz Bernardes Dias Ferreira

Orientador: Prof. Dr. Adriano de Paula e Silva

Co-Orientador: Prof. Dr. Antônio Neves de Carvalho Júnior

Fevereiro de 2010

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil

Beatriz Bernardes Dias Ferreira

TIPIFICAÇÃO DE PATOLOGIAS EM REVESTIMENTOS ARGAMASSADOS

Dissertação de Mestrado apresentada
ao Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Civil da Universidade
Federal de Minas Gerais

Área de Concentração: Materiais de Construção Civil

Linha de Pesquisa: Materiais Cimentícios

Orientador: Prof. Dr. Adriano de Paula e Silva

Co-Orientador: Prof. Dr. Antônio Neves de Carvalho Júnior

Escola de Engenharia da UFMG
Belo Horizonte - Fevereiro de 2010

F383t	<p>Ferreira, Beatriz Bernardes Dias. Tipificação de patologias em revestimentos argamassados [manuscrito] / Beatriz Bernardes Dias Ferreira – 2010. xvi, 192 f., enc.: il.</p> <p>Orientador: Adriano de Paula e Silva. Co-orientadora: Antônio Neves de Carvalho Júnior.</p> <p>Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia. Inclui bibliografia</p> <p>1. Engenharia Civil – Teses. I. Silva, Adriano de Paula e II. Carvalho Júnior, Antônio Neves de. III. Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia IV. Título.</p> <p style="text-align: right;">CDU: 666.97 (043)</p>
-------	---

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil

Beatriz Bernardes Dias Ferreira

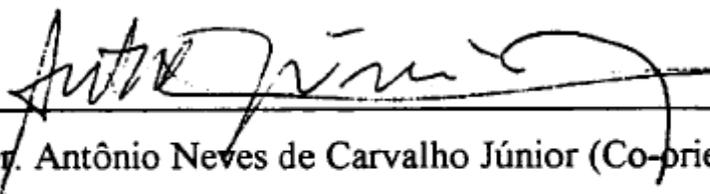
TIPIFICAÇÃO DE PATOLOGIAS EM REVESTIMENTOS ARGAMASSADOS

Dissertação de Mestrado apresentada
ao Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Civil da Universidade
Federal de Minas Gerais

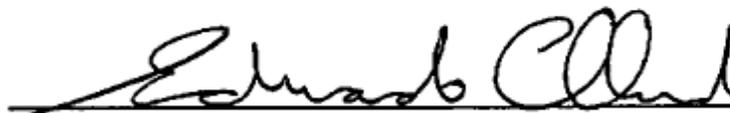
COMISSÃO EXAMINADORA:



Dr. Adriano de Paula e Silva (Orientador) - UFMG



Dr. Antônio Neves de Carvalho Júnior (Co-orientador) - UFMG



Dr. Eduardo Chahud - UFMG



Mestre Luiz Antônio Melgaço Nunes Branco - FUMEC

Belo Horizonte – Fevereiro de 2010

AGRADECIMENTOS

- A Deus por tornar esta etapa possível;
- Aos meus familiares pelo apoio e compreensão;
- Aos professores Doutor Adriano de Paula e Silva e Doutor Antônio Neves de Carvalho Júnior pela orientação, dedicação, confiança e pela amizade que juntos construímos;
- A todos os colegas e professores do Departamento de Materiais de Construção que estiveram presentes e contribuíram para a conclusão desta dissertação;
- À Diretoria Executiva de Engenharia e Gestão Predial do Tribunal de Justiça pelo fornecimento do banco de dados;
- Aos meus colegas de trabalho pelo apoio e encorajamento, em especial agradeço ao Gustavo, ao Miguel e à Ana Paula;
- Aos funcionários do Departamento de Engenharia de Materiais e Construção, de modo especial à Ivonete, e a todos que colaboraram, diretamente ou indiretamente, para a conclusão deste trabalho.

RESUMO

A argamassa é um dos produtos de maior utilização na construção, estando presente no revestimento e assentamento de alvenarias. Apesar do intenso uso dos revestimentos argamassados, é muito frequente a ocorrência de patologias nos mesmos, o que ocasiona prejuízos aos diversos setores envolvidos. Torna-se importante, portanto, o estudo das principais patologias incidentes sobre este tipo de revestimento e a disponibilização desta informação a fim de se evitar a repetição continuada dos mesmos erros. Este trabalho objetiva estudar as principais patologias incidentes nos revestimentos argamassados, enfatizando a influência que as características dos materiais, a mistura dos mesmos, os métodos de execução e a ação de fatores externos, exercem sobre os revestimentos, e a inter-relação entre estes diversos fatores com a durabilidade e o desempenho das argamassas. Para tanto foi realizada uma revisão bibliográfica com o objetivo de reunir informações sobre o tema, além de realizar-se um estudo de caso com visitas a quinze prédios. Nas vistorias buscou-se identificar as principais patologias presentes nos prédios, verificando o índice de ocorrência das mesmas e as suas possíveis causas. Dentre outros aspectos concluiu-se que das patologias identificadas nos prédios vistoriados as que apresentaram o maior percentual de ocorrência foram as fissuras presentes em 87% das edificações, seguida pelos descolamentos com pulverulência com 73% e pelo mofo ou bolor identificado em 47% dos casos estudados.

Palavras-chave: Revestimentos em argamassa; patologias; propriedades das argamassas; materiais constituintes; aplicação da argamassa.

ABSTRACT

The mortar is a product of greater use in construction, being present in the coating and settlement of masonry. Despite the intense use of mortar coating, is very frequent occurrence of pathologies in them, causing damages to several involved sectors. Becomes important, therefore, the study of main incidents pathologies on this type of coating and the release of this information in order to avoid repeating the same mistakes. This work aims to study the major incidents pathologies in mortar coating, emphasizing the influence that the characteristics of materials, the mixing of them, the methods of implementation and the action of external factors, have on the coatings, and the inter relation between these several factors with the durability and performance of mortars. So it was performed a literature review in order to gather information about the subject, also carried out a case study with visits to fifteen buildings. In the surveys sought to identify the main pathologies present in the buildings, checking the rate of occurrence of them and their possible causes. It was concluded that among the identified pathologies in the inspected buildings the ones that showed the highest percentage of occurrence were cracks present in 87% of the buildings, followed by detachments of dustiness with 73% and mold or mildew identified in 47% of the studied cases.

Keywords: Mortar coating, pathologies, properties of mortar, constituent materials, mortar application.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	01
1.1	Objetivos.....	04
1.2	Estrutura e organização do texto.....	05
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	06
2.1	Argamassa.....	06
2.2	Materiais constituintes das argamassas.....	10
2.2.1	Aglomerantes.....	10
2.2.1.1	Cimento.....	10
2.2.1.2	Cal.....	18
2.2.2	Agregados.....	24
2.2.3	Água de amassamento.....	30
2.2.4	Adições e aditivos.....	31
2.3	Proporcionamento de dosagem dos materiais – traços.....	41
2.4	Influência da natureza dos substratos.....	42
2.5	Métodos executivos dos revestimentos argamassados.....	45
2.6	Principais propriedades das argamassas de revestimento.....	53
2.6.1	Trabalhabilidade.....	54
2.6.2	Plasticidade.....	55
2.6.3	Consistência.....	56
2.6.4	Retenção de água.....	57
2.6.5	Retração.....	58
2.6.6	Aderência.....	61
2.6.7	Capacidade de deformação.....	66
2.6.8	Permeabilidade.....	67
2.6.9	Resistência Mecânica.....	69
2.7	Principais patologias dos revestimentos argamassados.....	70
2.7.1	Falhas decorrentes dos mecanismos de retração.....	77
2.7.2	Falhas decorrentes de movimentações higrotérmicas.....	81

2.7.2.1	Falhas causadas por movimentações térmicas.....	81
2.7.2.2	Falhas causadas por movimentações higroscópicas.....	82
2.7.3	Alterações químicas das argamassas.....	84
2.7.4	Patologias com origens na especificação dos materiais e no processo construtivo das argamassas.....	96
2.7.5	Deterioração das argamassas decorrentes de processos biológicos.....	102
2.7.6	Deterioração das argamassas decorrentes de umidade.....	105
2.7.6.1	Umidade ascendente.....	105
2.7.6.2	Umidade de infiltração decorrente da ação da água de chuva.....	106
2.7.6.3	Umidade por condensação.....	108
3	MATERIAIS E MÉTODOS	110
4	RESULTADOS OBTIDOS.....	112
4.1	Dados das especificações técnicas, projetos ou memoriais descritivos.....	112
4.2	Registro das principais patologias.....	113
5	ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	136
5.1	Identificação da amostra.....	136
5.2	Caracterização dos revestimentos argamassados.....	136
5.3	Análise dos dados coletados nas vistorias.....	139
5.3.1	Recomendações para reparos das patologias com maior percentual de ocorrência.....	154
5.3.1.1	Recomendações para recuperação das superfícies com “bolor”	156
5.3.1.2	Recomendações para recuperação dos revestimentos argamassados com descolamentos devido à pulverulência	158
6	CONCLUSÕES.....	160
7	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	162
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	163
	ANEXOS.....	178

LISTA DE FIGURAS:

Figura 1.1 - Deslocamento de revestimento em fachada no Fórum de Leopoldina.....	01
Figura 1.2 - Deslocamento de revestimento de argamassa executado sobre a viga da fachada – prédio “F” do estudo de caso.....	02
Figura 2.1 - Micrografia do silicato de cálcio hidratado em uma pasta de cimento Portland observada por meio de detector de elétrons secundários em um microscópio eletrônico de varredura (CASCUDO, CARASEK e HASPARYK, 2007).....	11
Figura 2.2 - Resistência à compressão das argamassas – NBR7215 (CINCOTTO e BOLORINO, 1997).....	16
Figura 2.3 - Influência dos diferentes cimentos nacionais na resistência de aderência de revestimentos de argamassa de traço 1:1:6 (cimento: cal: areia) em massa, empregando areia natural fina e cal hidratada CH-I (BOLORINO e CINCOTTO, 1997 apud CARASEK, 2001).....	17
Figura 2.4 - Fotografia obtida na lupa estereoscópica com ampliação de 20 vezes. Argamassa 1:3 (cimento e areia, em volume) aplicada sobre bloco cerâmico (CARASEK, 1996).....	21
Figura 2.5 - Fotografia obtida na lupa estereoscópica com ampliação de 20 vezes. Argamassa 1:1/4:3 (cimento, cal e areia, em volume) aplicada sobre bloco cerâmico (CARASEK, 1996).....	21
Figura 2.6 - Argamassa sem aditivo incorporador de ar com aspecto seco (ALVES, 2005).....	33
Figura 2.7 - Argamassa com aditivo incorporador de ar com aspecto plástico (ALVES, 2005).....	33
Figura 2.8 – Influência do teor de ar incorporado na resistência de aderência à tração (ALVES, 2002).....	34
Figura 2.9 – Influência do tempo de mistura na incorporação de ar em argamassas (ALVES, 2002).....	35
Figura 2.10 - Variação da porosidade total da argamassa em função da alteração do tempo de mistura (ROMANO <i>et al.</i> 2007). Adaptado.....	37

Figura 2.11 - Variação da resistência à tração na compressão diametral em função da porosidade total da argamassa. (ROMANO <i>et al.</i> 2007). Adaptado.....	38
Figura 2.12 – Telamento utilizado no encontro de viga diagonal com alvenaria (CARVALHO JR., 2005).....	52
Figura 2.13 – Telamento de encontro alvenaria de platibanda com estrutura – seção transversal (CARVALHO JR., 2005).....	53
Figura 2.14 - Variação da retenção de água para diferentes argamassas (CARASEK, 2007).....	57
Figura 2.15 - Relação água/cimento em função do teor de finos (ANGELIM <i>et al.</i> , 2003).....	60
Figura 2.16 - Representação esquemática do mecanismo de aderência entre argamassas de cimento e cal e os blocos cerâmicos (CARASEK, 1996).....	63
Figura 2.17 - Evolução da permeabilidade do revestimento, nas 7 idades estudadas com ensaios realizados sobre blocos (ALMEIDA e CARASEK, 2003).....	69
Figura 2.18 - Solicitações impostas às superfícies das edificações (CINCOTTO <i>et al.</i> , 1995).....	72
Figura 2.19 - Fissuração decorrente de retração da argamassa (SILVA e ABRANTES, 2007).....	80
Figura 2.20 - O fluxo de água interceptado do peitoril da janela escorre lateralmente, provocando a fadiga do reboco desenvolvendo sua fissuração (THOMAZ, 1989).....	84
Figura 2.21 - Fissuras horizontais no revestimento provocadas pela expansão da argamassa de assentamento (THOMAZ, 1989).....	85
Figura 2.22 - Vesícula formada no reboco, no centro pode ser observada a presença de torrão de argila – prédio “C” do estudo de caso.....	87
Figura 2.23 - Vesículas formadas no reboco - prédio “C” do estudo de caso.....	88
Figura 2.24 - Fissuras na argamassa de revestimento provenientes do ataque por sulfatos (THOMAZ, 1989).....	89
Figura 2.25 - Eflorescência na laje de cobertura do <i>hall</i> de entrada – prédio “A” do estudo de caso.....	92
Figura 2.26 - Eflorescência no revestimento interno - Fórum de Leopoldina.....	93

Figura 2.27 - Eflorescência – cristalização dos sais solúveis na superfície da argamassa de revestimento no prédio “L” do estudo de caso.....	94
Figura 2.28 - Argamassa pulverulenta nos pontos empolados e facilmente removível, exposta a umidade ascendente - prédio “C” do estudo de caso.....	99
Figura 2.29 - Argamassa perde a coesão tornando-se pulverulenta - prédio “C” do estudo de caso.....	99
Figura 2.30 - Descolamento devido à pulverulência da argamassa - prédio “C” do estudo de caso.....	100
Figura 2.31 - Destacamento de reboco rígido (SILVA e ABRANTES, 2007).....	101
Figura 2.32 - Início do aparecimento de fungos no revestimento devido à umidade ascensional - prédio “M” do estudo de caso.....	103
Figura 2.33 - Bolor abaixo do peitoril da janela - prédio “J” do estudo de caso.....	104
Figura 2.34 - Bolor na fachada abaixo do chapim da platibanda - prédio “J” do estudo de caso.....	104
Figura 2.35 - Deterioração do reboco devido à infiltração de água pela janela - prédio “M” do estudo de caso.....	107
Figura 2.36 - Desagregação com descolamento do revestimento devido à infiltração de água na fachada - prédio “E” do estudo de caso.....	107
Figura 2.37 - Desagregação com descolamento do revestimento devido à infiltração de água na fachada - prédio “E” do estudo de caso.....	108
Figura 4.1 – Patologias identificadas no prédio “A”	115
Figura 4.2 - Patologias identificadas no prédio “B”	116
Figura 4.3 - Patologias identificadas no prédio “C”	118
Figura 4.4 - Patologias identificadas no prédio “D”.....	119
Figura 4.5 - Patologias identificadas no prédio “E”.....	121
Figura 4.6 - Patologias identificadas no prédio “F”	123
Figura 4.7 - Patologias identificadas no prédio “G”.....	124
Figura 4.8 - Patologias identificadas no prédio “H”.....	125
Figura 4.9 - Patologias identificadas no prédio “I”.....	126
Figura 4.10 - Patologias identificadas no prédio “J”	128

Figura 4.11 - Patologias identificadas no prédio “K”.....	130
Figura 4.12 - Patologias identificadas no prédio “L”.....	131
Figura 4.13 - Patologias identificadas no prédio “M”.....	133
Figura 4.14 - Patologias identificadas no prédio “N”.....	135
Figura 5.1 - Identificação da idade dos prédios que compõem a amostra estudada.....	136
Figura 5.2 - Caracterização dos revestimentos internos.....	137
Figura 5.3 - Caracterização dos revestimentos externos.....	137
Figura 5.4 – Fissuras por deficiência de contra-vergas nas aberturas de janelas – prédio “B” do estudo de caso.....	145
Figura 5.5 - Fissuração típica nos cantos das aberturas sob atuação de sobrecargas (THOMAZ, 1989).....	146
Figura 5.6 – Configurações das eflorescências identificadas no prédio “L” do estudo de caso.....	147
Figura 5.7 - Sequência do transporte de sais solúveis e formação de eflorescência (GONÇALVES, 2007) Adaptado.....	148
Figura 5.8 - Descolamento do revestimento de argamassa aplicado sobre face inferior da viga - prédio “F” do estudo de caso.....	149
Figura 5.9 - Presença de “bolor” devido à infiltração de água pela cobertura – prédio “L” do estudo de caso.....	151
Figura 5.10 - Formação de mofo devido às deficiências do peitoril da janela – prédio “J” do estudo de caso.....	151
Figura 5.11 - (1) Abertura da fissura com disco de corte; (2) vista da largura ao longo da fissura e remoção do acabamento com 12 cm de largura; (3) calafetação da fissura com massa acrílica; (4) detalhe da fissura calafetada com massa acrílica em 2 demãos. (SAHADE, 2005).....	155
Figura 5.12 - (1) Imprimação; (2) 1ª demão de impermeabilizante acrílico; (3) aplicação da 2ª demão de impermeabilizante acrílico com tela de poliéster com bandagem central (SAHADE, 2005).....	156

LISTA DE TABELAS:

Tabela 2.1 – Principais compostos químicos do clínquer (RIBEIRO, 2002).....	12
Tabela 2.2 – Tipos e constituição dos cimentos Portland normatizados no Brasil (ABCP, 2002).....	14
Tabela 2.3 - Cal hidratada para construção – exigências químicas (NBR 6453/03, ABNT, 2003).....	20
Tabela 2.4 - Característica da argamassa no estado endurecido, segundo NBR 7222/83 (ANGELIM e CARASEK, 2003).....	27
Tabela 2.5 - Resultados médios da resistência de aderência à tração das argamassas aplicadas sobre blocos cerâmicos e de concreto, aos 28 dias de idade (PAES, BAUER E CARASEK, 2005).....	44
Tabela 2.6 - Exigências físicas e mecânicas para argamassas industrializadas (NBR 13281/2005).....	51
Tabela 2.7 - Retrações segundo procedimento adaptado da NBR 8490/ 84 (ANGELIM <i>et al.</i> , 2003).....	61
Tabela 2.8 - Resistência de aderência à tração para argamassas de emboço e camada única – NBR 13749 (ABNT, 1996).....	65
Tabela 2.9 - Valores médios da resistência de aderência e da forma de ruptura avaliados nas diversas idades para o substrato seco (CARASEK e SCARTEZINI, 1999).....	66
Tabela 4.1 - Caracterização das argamassas utilizadas nos revestimentos dos prédios em estudo.....	113
Tabela 5.1 - Patologias identificadas nos revestimentos internos e externos de argamassa com seus respectivos percentuais de ocorrência.....	140
Tabela 5.2 - Patologias identificadas nos revestimentos externos de argamassa com seus respectivos percentuais de ocorrência.....	141
Tabela 5.3 - Patologias identificadas nos revestimentos internos de argamassa com seus respectivos percentuais de ocorrência.....	142
Tabela 5.4 - Patologias identificadas nos revestimentos argamassados dos prédios com idade de até 05 anos.....	153

LISTA DE QUADROS:

Quadro 2.1 - Classificação das argamassas (CARASEK, 2007).....	07
Quadro 2.2 - Classificação das argamassas de acordo com sua função (CARASEK, 2007).....	08
Quadro 2.3 - Influência dos componentes na argamassa (GALLEGOS, 2005).....	18
Quadro 2.4 - Influência da granulometria da areia nas propriedades das argamassas.....	27
Quadro 2.5 - Alteração das propriedades das argamassas por incorporador de ar (resumida da RILEM, 1992 apud MONTE <i>et al.</i> , 2003).....	35
Quadro 2.6 - Classificação dos processos de deterioração das argamassas (CARASEK, 2007).....	73
Quadro 2.7 - Manifestações patológicas dos revestimentos de argamassa (CINCOTTO, SILVA e CARASEK, 1995).....	74
Quadro 2.8 - Natureza química das eflorescências (BAUER, 1994).....	95
Quadro 4.1 - Patologias identificadas no prédio “A”.....	115
Quadro 4.2 - Patologias identificadas no prédio “B”.....	116
Quadro 4.3 - Patologias identificadas no prédio “C”.....	117
Quadro 4.4 - Patologias identificadas no prédio “D”.....	119
Quadro 4.5 - Patologias identificadas no prédio “E”.....	120
Quadro 4.6 - Patologias identificadas no prédio “F”.....	122
Quadro 4.7 - Patologias identificadas no prédio “G”.....	124
Quadro 4.8 - Patologias identificadas no prédio “H”.....	125
Quadro 4.9 - Patologias identificadas no prédio “I”.....	126
Quadro 4.10 - Patologias identificadas no prédio “J”.....	127
Quadro 4.11 - Patologias identificadas no prédio “K”.....	129
Quadro 4.12 - Patologias identificadas no prédio “L”.....	131
Quadro 4.13 - Patologias identificadas no prédio “M”.....	132
Quadro 4.14 - Patologias identificadas no prédio “N”.....	134
Quadro 4.15 - Patologias identificadas no prédio “O”.....	135

LISTA DE NOTAÇÕES

ABREVIATURAS

ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas

ABCP : Associação Brasileira de Cimento Portland

ASTM: American Society for Testing and Materials

CETE : Centre d'Études Techniques de l'Équipement du Sud-Quest

CH-I: cal hidratada tipo um

CH-II: cal hidratada tipo dois

CH-III: cal hidratada tipo três

CP I: cimento Portland comum

CP I-S: cimento Portland com adição

CP II: cimento Portland composto

CP II – E: cimento Portland com escória

CP II-E-32: cimento Portland com escória e classe de resistência de 32 MPa

CP II – Z: cimento Portland com pozolana

CP II – F: cimento Portland com filler

CP III: cimento Portland de Alto-Forno

CP IV: cimento Portland Pozolânico

CPV: cimento Portland de Alta Resistência Inicial

CP V ARI-RS: cimento Portland de alta resistência inicial e resistente a sulfatos

CSTC: Centre Scientifique et Technique de la Construction

EEUFMG: Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais

MF: módulo de finura

NBR: Norma Brasileira Registrada

RILEM :Réunion Internationale des Laboratoires et Experts des Matériaux

UR: umidade relativa

IPT: instituto de pesquisas tecnológicas

PVAc : poli (acetato de vinila)

UNIDADES

cm^2 : centímetro quadrado

cm^3 : centímetro cúbico

dm^3 : decímetro cúbico

g/cm^2 : grama por centímetro quadrado

g/dm^3 : grama por decímetro cúbico

Kgf/cm^2 : quilograma força por centímetro quadrado

Kg/m^3 : quilograma por metro cúbico

m^2 : metro quadrado

mm: milímetro

N: Newton

MPa: megaPascal

μm : micrometro

#: mesh (malha de peneira)

$^{\circ}\text{C}$: graus celsius

€ : euro

SÍMBOLOS E COMPOSTOS QUÍMICOS

Al_2O_3 : alumina

Ca: cálcio

CaCO_3 : carbonato de cálcio

$\text{CaCO}_3.\text{MgCO}_3$: carbonato de cálcio e magnésio

CaO: óxido de cálcio

CaO (ou C): cal livre

$2\text{CaO}.\text{SiO}_2$ (ou C_2S): silicato dicálcico

$3\text{CaO}.\text{SiO}_2$ (ou C_3S): silicato tricálcico

$3\text{CaO}.\text{Al}_2\text{O}_3$ (ou C_3A): aluminato tricálcico

$3\text{CaO}.\text{Al}_2\text{O}_3.3\text{CaSO}_4.32\text{H}_2\text{O}$: trissulfoaluminato de cálcio hidratado

$4\text{CaO}.\text{Al}_2\text{O}_3.\text{Fe}_2\text{O}_3$ (ou C_4AF): ferro aluminato tetracálcico

Ca(OH)_2 : hidróxido de cálcio

CO_2 : gás carbônico

CSH: silicato de cálcio hidratado

FeO : óxido de ferro

H_2O : água

K_2O : óxido de potássio

MgO : óxido de magnésio

SiO_2 : sílica

$\text{Na}_2 + \text{K}_2\text{O}$: álcalis

1 INTRODUÇÃO

A argamassa é um dos produtos de maior utilização na construção, estando presente no revestimento e assentamento de alvenarias. Os sistemas de revestimentos de argamassa são integrantes das vedações e fundamentais para a durabilidade dos edifícios, desempenham as funções de absorver as deformações naturais a que as alvenarias estão sujeitas, de revestir e de proteger de maneira uniforme as alvenarias contra agentes agressivos externos.

Apesar do intenso uso dos revestimentos argamassados, é muito frequente a ocorrência de patologias nos mesmos, o que ocasiona prejuízos aos diversos setores envolvidos, podendo, em algumas circunstâncias, causar graves acidentes. Nas figuras 1.1 e 1.2 podem ser observados dois casos de deslocamentos de revestimentos.



Figura 1.1 - Deslocamento de revestimento em fachada no Fórum de Leopoldina

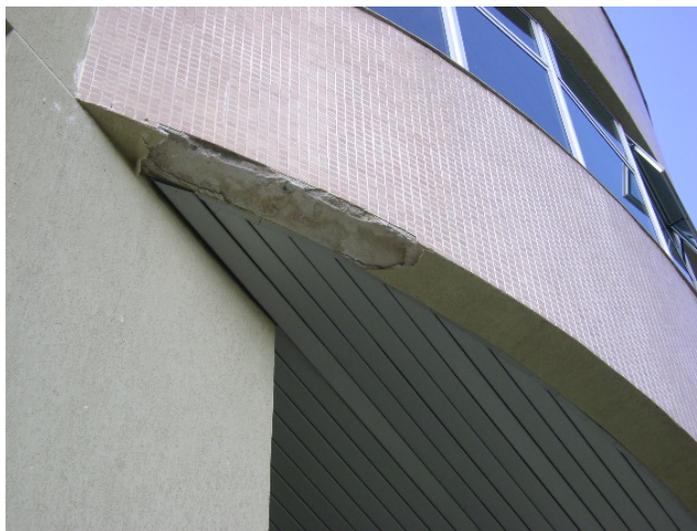


Figura 1.2 - Deslocamento de revestimento de argamassa executado sobre a viga da fachada – prédio “F” do estudo de caso.

“Principalmente, no caso das fachadas, as patologias dos revestimentos comprometem a imagem da Engenharia e Arquitetura do país, sendo uma agressão às vistas da população, à integridade das edificações e ferindo o conceito de habitabilidade, direito básico dos proprietários das unidades imobiliárias. Além da desvalorização natural do imóvel devido aos aspectos visuais, a base dos revestimentos (alvenaria ou concreto), sem o adequado acabamento final, torna-se vulnerável às infiltrações de água e gases, o que consequentemente conduz a sérias deteriorações no interior dos edifícios, podendo ser as mesmas de ordem estética ou até mesmo estrutural”. (CARVALHO JR. *et al.*, 1999).

Pesquisadores como Bauer (1997) e Cincotto *et al.*, (1995) atribuem os problemas das argamassas de revestimento a diversos fatores. A inexistência de projeto, desconhecimento das características dos materiais empregados, utilização de materiais inadequados, erros de execução, desconhecimento ou não observância de Normas Técnicas e falhas na manutenção são indicados por Bauer. Para Cincotto além das características dos materiais e da mistura dos mesmos, a ação de fatores externos sobre o revestimento e a inter-relação entre os diversos fatores afetam a durabilidade e o desempenho das argamassas.

Para Carasek (2007), a deterioração prematura dos revestimentos de argamassa é decorrente de processos físicos, mecânicos, químicos e biológicos. No entanto a autora afirma que os fenômenos frequentemente se sobrepõem sendo necessário considerar também as suas interações. A ação destes processos sobre as argamassas se manifesta através de efeitos físicos nocivos como a desagregação, descolamento do revestimento, vesículas, fissuração e aumento da porosidade e da permeabilidade.

Uma abordagem que inclui não somente as propriedades das argamassas e seu custo quando da construção da edificação, mas também ao longo de sua vida útil, incluindo os custos de operação e de manutenção foi defendida pelo professor Bernard-jean Lamarque, do CETE (Centre d'Études Techniques de l'Équipement du Sud-Quest), localizado em Bordeaux, França, durante o Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, realizado em Vitória em 1999 (CINCOTTO *et al.*, 1999).

Outro enfoque apontado por Freitas e Alves (2009) são os custos da não qualidade na construção. Quantificados em países que dispõem de sistemas de seguros da construção, estes custos atingiram na França 380.000.000 € no período compreendido entre 1995 e 2006. Em Portugal, algumas empresas de construção gastam, no período de garantia (5 anos após a construção), mais de 2% do custo total da obra. Pode afirmar-se que a patologia da construção é um problema técnico e econômico muito relevante.

A diminuição da incidência de patologias pode contribuir na redução dos custos para as construtoras, durante o período de garantia, bem como na redução dos custos de operação e de manutenção, citados pelo professor Lamarque.

Diante deste contexto, torna-se importante o estudo das principais patologias incidentes sobre os revestimentos argamassados e a disponibilização desta informação como forma de se evitar o aparecimento sucessivo das patologias e a repetição continuada dos mesmos erros.

1.1 Objetivos

Este trabalho tem como objetivo estudar as principais patologias incidentes nos revestimentos argamassados, por meio de estudos teóricos e estudo de caso constituído de levantamento e análise das manifestações patológicas em 15 edificações. O estudo de caso servirá para evidenciar as principais patologias presentes nos prédios, verificar o índice de ocorrência das mesmas e identificar as suas possíveis causas.

Para se atender ao objetivo proposto, foram estabelecidos alguns objetivos específicos tais como:

- produzir uma revisão bibliográfica sobre o tema descrevendo os diversos fatores condicionantes do desempenho dos revestimentos argamassados, incluindo a caracterização dos materiais utilizados na confecção das argamassas, dosagem dos mesmos, métodos executivos, propriedades das argamassas e principais patologias;
- identificar as principais manifestações patológicas presentes nos revestimentos argamassados dos 15 prédios visitados;
- realizar a análise dos dados levantados nas vistorias, bem como estabelecer um paralelo entre estes e as informações coletadas na revisão bibliográfica;
- fazer o diagnóstico das patologias, identificadas com maior frequência, com base na bibliografia pesquisada e na tipologia das manifestações patológicas;
- indicar os métodos adotados para correção das patologias que apresentam maior percentual de ocorrência.

1.2 Estrutura e organização do texto

O texto da dissertação está organizado em sete capítulos, cujo conteúdo será apresentado nos próximos parágrafos.

O primeiro capítulo consiste na parte introdutória do trabalho. Inicialmente é realizada a contextualização e a justificativa do tema levando-se em consideração o cenário atual dos revestimentos de argamassa nas edificações. Em seguida são estabelecidos o objetivo geral e os objetivos específicos do estudo. Por fim, é divulgada a forma como a informação está distribuída e a organização do texto.

No capítulo 2 é realizada uma pesquisa bibliográfica sobre o tema contemplando os materiais constituintes das argamassas, os procedimentos executivos, as propriedades e as patologias dos revestimentos argamassados.

Segue-se no capítulo 3 a apresentação da metodologia adotada, a qual tem por base os critérios adotados para escolha da amostra objeto do estudo de caso, a coleta dos dados e a análise dos mesmos, e a proposição de solução para patologias identificadas como mais frequentes.

No capítulo 4 serão apresentados os resultados obtidos a partir das vistorias realizadas, dando sequência no capítulo 5 com a discussão e análise dos resultados. Os dois últimos capítulos contemplam as conclusões do trabalho e as sugestões para continuidade da pesquisa sobre o tema.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Argamassa

As argamassas de revestimento basicamente são constituídas por aglomerantes (cimento e cal), areia e água, podendo também conter aditivos e adições, normalmente acrescidos com o objetivo de dar plasticidade à massa ou de melhorar outras características e propriedades específicas (CARASEK *et al.*, 2001).

Para Fiorito (1994), a destinação das argamassas determina o tipo de aglomerante ou a mistura de tipos diferentes de aglomerantes. As argamassas de cimento são utilizadas em alvenarias de alicerces pela resistência exigível e especialmente pela condição favorável de endurecimento. São também utilizadas para chapisco, nos revestimentos onde as condições de impermeabilidade são exigíveis, tais como no interior de reservatórios de água e outras obras hidráulicas. As argamassas mistas, feitas com os aglomerantes cimento e cal, são utilizadas para emboço ou reboco, pela sua plasticidade, condições favoráveis de endurecimento, elasticidade, e porque proporcionam acabamento esmerado, plano e regular. Encontram também aplicação no assentamento de alvenarias de vedação.

Carasek (2007) faz uma classificação mais ampla das argamassas segundo alguns critérios, apresentados no quadro 2.1 e no quadro 2.2.

Quadro 2.1 - Classificação das argamassas (CARASEK, 2007)

Critério de classificação	Tipo
Quanto à natureza do aglomerante	<ul style="list-style-type: none"> • Argamassa aérea • Argamassa hidráulica
Quanto ao tipo de aglomerante	<ul style="list-style-type: none"> • Argamassa de cal • Argamassa de cimento • Argamassa de cimento e cal • Argamassa de gesso • Argamassa de cal e gesso
Quanto ao número de aglomerantes	<ul style="list-style-type: none"> • Argamassa simples • Argamassa mista
Quanto à consistência da argamassa	<ul style="list-style-type: none"> • Argamassa seca • Argamassa plástica • Argamassa fluida
Quanto à plasticidade da argamassa	<ul style="list-style-type: none"> • Argamassa pobre ou magra • Argamassa média ou cheia • Argamassa rica ou gorda
Quanto à densidade de massa da argamassa	<ul style="list-style-type: none"> • Argamassa leve • Argamassa normal • Argamassa pesada
Quanto à forma de preparo ou fornecimento	<ul style="list-style-type: none"> • Argamassa preparada em obra • Mistura semipronta para argamassa • Argamassa industrializada • Argamassa dosada em central

Segundo a autora as argamassas podem também ser classificadas segundo sua função na construção conforme quadro 2.2.

Quadro 2.2 - Classificação das argamassas de acordo com sua função (CARASEK, 2007)

FUNÇÃO	Tipos
Para construção de alvenarias	Argamassa de assentamento (elevação de alvenaria)
	Argamassa de fixação ou encunhamento
Para revestimento de paredes e tetos	Argamassa de chapisco
	Argamassa de emboço
	Argamassa de reboco
	Argamassa de camada única
	Argamassa para revestimento decorativo monocapa
Para revestimento de pisos	Argamassa de contrapiso
	Argamassa de alta resistência para piso
Para revestimentos cerâmicos	Argamassa de assentamento de peças cerâmicas - colante
	Argamassa de rejuntamento
Para recuperação de estruturas	Argamassa de reparo

Quanto à forma de preparo e ao fornecimento das argamassas, segundo Carvalho Jr. (2005), as argamassas podem ser preparadas em obra, dosadas em central, ou industrializadas que são comercializadas ensacadas.

Nas argamassas preparadas em obra os constituintes são adquiridos e estocados no canteiro até o momento de sua mistura. De maneira geral apresentam custo inferior às industrializadas ensacadas e às dosadas em central, se considerado somente o valor do produto, sem análises dos benefícios introduzidos no processo de produção.

As argamassas industrializadas apresentam em suas composições aditivos e adições que lhes conferem propriedades especiais. Esses aditivos podem ser plastificantes, retentores de água e incorporadores de ar. São comercializadas pré-misturadas, ensacadas (em estado anidro), necessitando para utilização apenas uma dosagem adequada de água. Dentre as vantagens da sua utilização estão:

- A simplificação e organização do canteiro, principalmente quando não se dispõe de espaço físico suficiente para armazenamento dos materiais;
- Podem ser preparadas próximo ao local onde serão utilizadas;
- Garantia de qualidade por parte do fabricante;
- Materiais constituintes medidos em peso, o que garante mais precisão no traço e uniformidade.

Nas argamassas dosadas em centrais, a dosagem de todos os constituintes, inclusive a água, já se encontra definida, são fornecidas em caminhões do tipo betoneira e devem seguir as recomendações do fabricante quanto ao seu armazenamento e tempo para utilização (tempo este que é função do aditivo retardador de pega utilizado).

Quanto à forma de aplicação as argamassas podem ser aplicadas sobre a base manualmente ou através de projeção mecânica. O lançamento manual da argamassa é feito com a colher. Para lançamento mecânico, há pelo menos duas formas de executar o serviço: com bombas e mangote na ponta ou jateador a ar comprimido (CAVANI, 2004).

2.2 Materiais constituintes da argamassa

2.2.1 Aglomerantes

2.2.1.1 Cimento

O cimento é composto de partículas angulares com dimensões que variam de 1 a 50 μm , produzido a partir da moagem do clínquer com uma pequena quantidade de sulfato de cálcio, sendo o clínquer uma mistura heterogênea de vários compostos produzidos por reações a alta temperatura, entre óxido de cálcio e sílica, alumina e óxido de ferro (MEHTA e MONTEIRO, 2008).

Os autores enumeram os principais constituintes do cimento Portland: o calcário (CaCO_3), a dolomita ($\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$), a sílica (SiO_2), a alumina (Al_2O_3), o óxido de ferro (Fe_2O_3), álcalis ($\text{Na}_2 + \text{K}_2\text{O}$) e o gesso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). As argilas são fontes de alumina (Al_2O_3), óxido de ferro (Fe_2O_3) e álcalis, compostos minerais necessários para um efeito mineralizante na produção de silicatos de cálcio. Os silicatos de cálcio hidratados (C-S-H), formados pela hidratação do cimento Portland, são os principais responsáveis por sua característica adesiva e são estáveis em meios aquosos.

A figura 2.1 registra uma das morfologias do C-S-H, favos de mel, observada em uma pasta de cimento Portland (CASCUDO, CARASEK e HASPARYK, 2007).

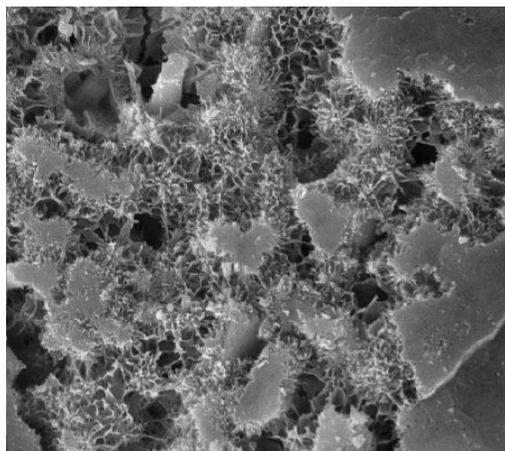


Figura 2.1 - Micrografia do silicato de cálcio hidratado em uma pasta de cimento Portland observada por meio de detector de elétrons secundários em um microscópio eletrônico de varredura - fonte: Furnas Centrais Elétricas S.A. (CASCUDO, CARASEK e HASPARYK, 2007).

Os principais compostos químicos do clínquer e as propriedades deles decorrentes são mostrados na tabela 2.1.

Tabela 2.1 – Principais compostos químicos do clínquer (RIBEIRO, 2002)

Compostos	Fórmula química (% em massa)	Abreviatura	Propriedades específicas decorrentes dos compostos do clínquer
Silicato tricálcico	$3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ (50 - 65%)	C_3S	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Endurecimento rápido ▪ Alto Calor de hidratação ▪ Alta resistência inicial
Silicato dicálcico	$2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ (15 - 25%)	C_2S	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Endurecimento lento ▪ Baixo Calor de hidratação ▪ Baixa resistência inicial
Aluminato tricálcico	$3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ (6-10%)	C_3A	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Pega muito rápida controlada com a adição de gesso ▪ Suscetível ao ataque de sulfatos ▪ Alto calor de hidratação, alta retração ▪ Baixa resistência final
Ferro aluminato tetracálcico	$4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ (3 - 8%)	C_4AF	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Endurecimento lento ▪ Resistente a meios sulfatados ▪ Não tem contribuição para resistência
Cal livre	CaO (0,5 - 1,5%)	C	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Aceitável somente em pequenas quantidades

Quando o cimento é disperso em água, o sulfato de cálcio e os compostos de cálcio formados a alta temperatura começam a entrar em solução, e a fase líquida se torna rapidamente saturada com várias espécies de íons. Como resultado da interação entre cálcio, sulfato, aluminato e íons hidroxilas, e dentro de poucos minutos da hidratação do cimento, começam a aparecer cristais aciculares de trissulfoaluminato de cálcio hidratado, conhecido como etringita. Poucas horas mais tarde, grandes cristais prismáticos de hidróxido de cálcio e pequenos cristais fibrosos de silicato de cálcio hidratado começam a preencher os espaços vazios antes ocupados por água e partículas de cimento em dissolução. Depois de alguns dias, dependendo da relação alumina-sulfato do cimento Portland, a etringita pode se tornar instável e se decompor para formar o

monossulfoaluminato hidratado, que tem a forma de placa hexagonal (MEHTA e MONTEIRO, 2008).

Para os pesquisadores acima citados a análise da microestrutura da pasta de cimento hidratada apresenta quatro fases sólidas:

- a fase silicato de cálcio hidratado, abreviada como C-S-H, compõe de 50 a 60% do volume de sólidos, é a fase mais importante determinando as propriedades da pasta;
- a fase de hidróxido de cálcio, chamada de portlandita $\{Ca (OH)_2\}$, constitui 20 a 25% do volume de sólidos na pasta de cimento hidratada;
- os sulfoaluminatos de cálcio ocupam de 15 a 20% do volume sólido da pasta;
- grãos de clínquer não hidratados - dependendo da distribuição do tamanho das partículas do cimento anidro e do grau de hidratação, alguns grãos podem ser encontrados na microestrutura da pasta.

A velocidade da hidratação depende da finura das partículas de cimento, para uma evolução rápida da resistência é necessária uma grande finura. Neville (1997) explica que a hidratação se inicia na superfície das partículas, desta forma, é a área total da superfície do cimento que representa o material disponível para hidratação.

No Brasil os cimentos são classificados conforme as adições introduzidas junto com a moagem do clínquer, desta forma, conforme o tipo de material adicionado tem-se vários tipos de cimento Portland. As adições mais comuns são: a escória de alto forno, a pozolana e o “filler” calcário (calcário finamente moído).

- Cimento Portland Comum – CP I
- Cimento Portland Composto – CP II (com adições de escória de alto-forno, pozolana e filler)
- Cimento Portland de Alto Forno – CP III (com adição de escória de alto-forno, apresentando baixo calor de hidratação)

- Cimento Portland Pozolânico – CP IV (com adição de pozolana, apresentando baixo calor de hidratação)
- Cimento Portland de Alta Resistência Inicial – CP V (com maiores proporções de silicato tricálcico, que lhe confere alta resistência inicial e alto calor de hidratação)

Segundo a Associação Brasileira de Cimento Portland – ABCP (2002) existem também alguns cimentos consumidos em menor escala, quer seja pela menor oferta ou pelas características especiais de aplicação:

- Cimento Portland Resistente a Sulfatos
- Cimento Portland de Baixo Calor de Hidratação
- Cimento Portland Branco
- Cimento para poços petrolíferos

Os principais tipos de cimentos Portland nacionais estão listados a seguir na tabela 2.2.

Tabela 2.2 – Tipos e constituição dos cimentos Portland normatizados no Brasil (ABCP, 2002)

Tipo de cimento Portland	Sigla	Composição (% de massa)				Norma ABNT
		Clínquer + gesso	Escória (sigla E)	Pozolana (sigla Z)	Mat. Carbonático (sigla F)	
Comum	CP I	100%		0%		NBR 5732
	CP I - S	95 a 100%		1 a 5%		
Composto	CP II - E	56 a 94%	6 a 34%	0%	0 a 10%	NBR 11578
	CP II - Z	76 a 94%	0%	6 a 14%	0 a 10%	
	CP II - F	90 a 94%	0%	0%	6 a 10%	
Alto Forno	CP III	25 a 65%	35 a 70%	0%	0 a 5%	NBR 5735
Pozolânico	CP IV	50 a 85%	0%	15 a 50%	0 a 5%	NBR 5736
Alta Resistência Inicial	CP V - ARI	95 a 100%	0%	0%	0 a 5%	NBR 5733

Souza *et al.* (1996) salientam que a escolha do tipo de cimento para cada uso depende das características desejadas em relação ao tempo de desforma, à cura do concreto ou da argamassa e às necessidades de resistência mecânica e química. Para usos comuns, podem ser utilizados os cimentos CP I, CP II, CP III ou CP IV. No caso dos cimentos CP II (alto-forno) e CP IV (pozolânico), deve ser verificado o tempo de início e fim de pega a fim de que não seja prejudicado o serviço em questão, principalmente para a execução de chapisco ou outros serviços que demandem de tempo de cura acelerado. Vale ressaltar que seu uso é recomendado em ambientes mais agressivos, sujeitos a ataque químico (atmosfera muito poluída, água ou solo poluído/contaminado). O cimento CP V não tem seu uso recomendado para a execução de argamassas, devendo-se evitar sua utilização também em ambientes sujeitos ao ataque químico.

Cincotto e Bolorino (1997) afirmam que o tipo de cimento altera as propriedades das argamassas. As autoras avaliaram os cimentos Portland CPII E, CPII F, CPIII, CPV ARI e CPV ARI RS, na confecção de argamassas mistas, de cimento: cal: areia, na proporção 1:1:6, em massa. As cales utilizadas foram as CH I (cálcica) e CH III (dolomítica). Em relação à resistência à compressão axial, os valores mais baixos foram encontrados na utilização do CPII F, com adição de filler calcário, e os mais elevados foram encontrados na utilização do CPV ARI RS com teor elevado de C_3S , conforme pode ser notado na figura 2.2.

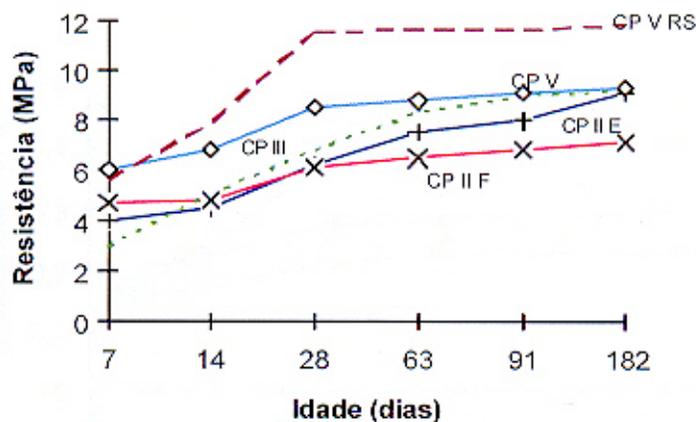


Figura 2.2 - Resistência à compressão das argamassas – NBR – 7215 (CINCOTTO e BOLORINO, 1997)

Observaram também que os cimentos que contêm escória (CPII E e CPIII) apresentaram crescimento da resistência até 63 dias, ao contrário dos restantes, que apresentaram um patamar a partir dos 28 dias.

Na referida pesquisa, durante a realização de painéis revestidos com as argamassas produzidas, foi constatado que quando da utilização do cimento CPIII, a retração não levou à formação de fissuras nos revestimentos, devido à menor velocidade de hidratação deste tipo de cimento. Por outro lado, nos painéis onde se utilizou o cimento CPV ARI RS, verificou-se o surgimento de fissuras, fenômeno que pode ser justificado pela velocidade de hidratação acelerada e maior retração inicial.

O tipo e as características físicas do cimento podem influenciar os valores de aderência da argamassa ao substrato. Um dos parâmetros mais significativos na resistência é a finura do cimento. Quanto mais fino o cimento maior a resistência de aderência obtida, tanto a resistência final (em idades superiores a 6 meses) quanto principalmente as iniciais (3 a 14 dias). Assim, maiores valores de resistência de aderência são obtidos quando se emprega o

CP V – ARI (alta resistência inicial) em comparação com os demais cimentos Portland. Entretanto em virtude de sua maior finura, cimentos de alta resistência inicial podem levar à fissuração do revestimento de modo mais fácil do que outros cimentos, considerando-se o mesmo consumo (CARASEK *et al.* 2001). A figura 2.3 ilustra a influência de diferentes cimentos nacionais na resistência de aderência.

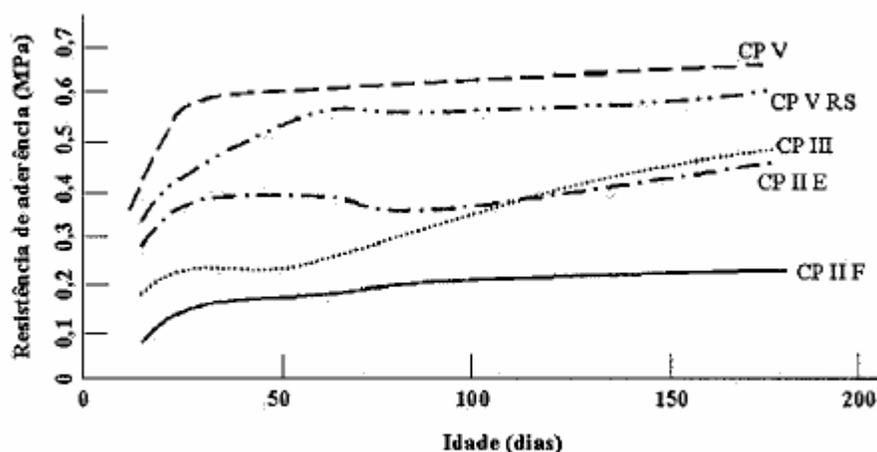


Figura 2.3 - Influência dos diferentes cimentos nacionais na resistência de aderência de revestimentos de argamassa de traço 1:1:6 (cimento: cal: areia) em massa, empregando areia natural fina e cal hidratada CH-I (BOLORINO e CINCOTTO, 1997 apud CARASEK, 2001)

Segundo Gallegos (2005) o cimento é responsável pela aderência e resistência à compressão das argamassas. Mas as argamassas compostas somente com cimento, sem a adição de cal, tendem a ser ásperas com pouca trabalhabilidade, produzem áreas com extensão de aderência reduzida de forma localizada e pontual. Por outro lado o cimento se caracteriza por produzir contrações que tendem a retrair a argamassa comprometendo o ganho de aderência. A superfície específica da cal é da ordem de cinco vezes a do cimento. Sua finura reduz a tensão de aderência e, ao mesmo tempo, aumenta a plasticidade e a retenção, variáveis associadas à extensão de contato e homogeneização da aderência. O

cimento promove valores unitários de aderência elevada e a cal possibilita a máxima extensão. O quadro 2.3 mostra a influência dos componentes na argamassa.

Quadro 2.3 - Influência dos componentes na argamassa (GALLEGOS, 2005)

	Cimento	cal	Areia	Água
Consistência				•
Retenção		•		
Coesão	•	•		
Estabilidade dimensional			•	
Aderência	•	•		
Extensão da aderência		•		
Durabilidade da aderência		•		
Resistência à compressão	•	•		

2.2.1.2 Cal

Para Guimarães (2002) a cal é um produto químico aglomerante derivado das rochas carbonatadas calco-magnesianas, composto de óxidos anidros de cálcio e, eventualmente, de magnésio, sendo obtido por calcinação da matéria-prima sob temperaturas entre 900° C e 1200° C. A calcita (carbonato de cálcio – CaCO_3) é o mineral mais importante dessas rochas. Alguns pesquisadores consideram que a calcita seja resultante da precipitação direta de soluções, originando, a seguir a dolomita (carbonato de cálcio e de magnésio – CaCO_3 MgCO_3).

“A composição da matéria prima e as condições do processo de produção influenciam no desempenho da cal”. Esta afirmação de Cincotto, Quarcioni e John (2007) está em consonância com a abordagem de Guimarães (2002). Para este autor, a qualidade da cal é influenciada por fatores como a granulometria da rocha carbonatada, o controle sobre a marcha da carga no forno, até a completa calcinação da matéria-prima, e os equipamentos empregados na calcinação, classificação e posterior hidratação. As impurezas também têm um grande significado para a qualidade da cal virgem, principalmente quando são ligadas aos óxidos de cálcio e magnésio desde as origens e não são eliminadas pelo calor de calcinação.

As cales podem ser classificadas segundo a sua composição química em:

- cálcica com teor de CaO $\geq 90\%$;
- magnésiana com teor de CaO entre 65% e 90%;
- dolomítica com teor de CaO $\leq 65\%$

A norma NBR 7175 (ABNT, 2003) classifica as cales hidratadas em três tipos: CH I, CH II e CH III. A cal do tipo CH I é a cal hidratada especial, que apresenta maior teor de óxidos totais, sendo mais reativa que as demais. Este fator contribui para a melhoria das propriedades da argamassa, com relação principalmente à retenção de água e à trabalhabilidade. A cal CH II é a cal hidratada comum, e a cal CH III é a cal hidratada comum com a adição de carbonatos finamente moídos. Outros requisitos considerados pela norma, além do teor de óxidos, são: a finura, a estabilidade, a plasticidade, a retenção de água e o índice de incorporação de areia.

A norma citada recomenda que a mistura da cal virgem com a água deve maturar por um tempo mínimo de uma semana antes da sua utilização. A mistura da cal hidratada com a água deve ser deixada em maturação por um tempo mínimo de 16 horas. Para se evitar o enrijecimento e a formação de grumos é recomendável manter-se a mistura permanentemente úmida.

São requisitos essenciais para avaliar a qualidade da cal hidratada os teores químicos de anidrido carbônico (CO_2), óxidos não hidratados e óxidos totais, além da exigência física da finura. Os teores máximos de anidrido carbônico (CO_2), pela NBR 7175 para cales tipo CH I e CH II, são de 5% e para cal CH III é de 13%. O teor de óxidos não hidratados serve para avaliar a hidratação da cal virgem. Quanto menor o teor de óxidos não hidratados maior será o teor de cal hidratada disponível no produto final (GUIMARÃES, 2002).

As presenças de óxidos de cálcio e magnésio não hidratados são limitadas em, no máximo, 10% para a cal tipo CH I e de 15% para cales tipos CH II e CH III conforme a NBR 7175. (tabela 2.3).

Tabela 2.3 - Cal hidratada para construção – exigências químicas (NBR 6453/03, ABNT, 2003)

Requisitos		Critérios Limite		
		CH I	CH II	CH III
Anidrido carbônico	Na fábrica	≤ 5%	≤ 5%	≤ 13%
	No depósito	≤ 7%	≤ 7%	≤ 15%
Óxidos de cálcio e de magnésio não hidratados (CaO + MgO)		≤ 10%	≤ 15%	≤ 15%
Óxidos totais na base de não voláteis (CaO + MgO)		≥ 90%	≥ 88%	≥ 88%

O efeito favorável na aderência propiciado pela adição de pequenas quantidades de cal hidratada ficou comprovado no estudo de Carasek (1996), onde foram comparadas duas argamassas semelhantes de traços em volume, 1:3 (cimento e areia) e 1:0,25:3 (cimento, cal e areia). A segunda argamassa contendo apenas 6% de cal em relação à massa dos constituintes secos, resultou em um maior valor de resistência de aderência à tração quando ela foi aplicada a diferentes blocos de alvenaria. O ganho na extensão de aderência, proporcionado pela adição de cal fica comprovado na figura 2.4. e na figura 2.5.

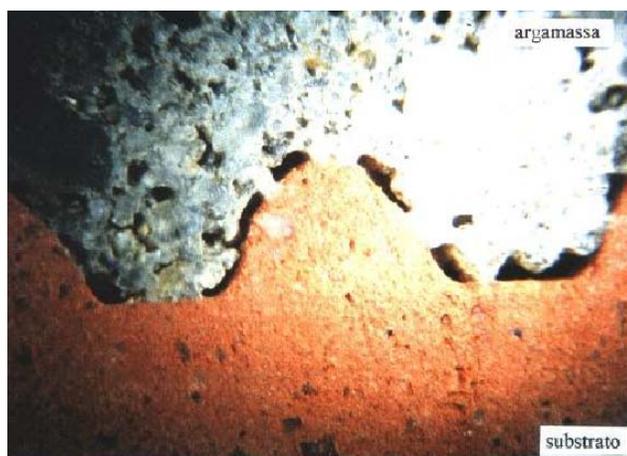


Figura 2.4 - Fotografia obtida na lupa estereoscópica com ampliação de 20 vezes. Argamassa 1:3 (cimento e areia , em volume) aplicada sobre bloco cerâmico (CARASEK, 1996).



Figura 2.5 - Fotografia obtida na lupa estereoscópica com ampliação de 20 vezes. Argamassa 1:1/4:3 (cimento, cal e areia , em volume) aplicada sobre bloco cerâmico (CARASEK, 1996).

Carasek *et al.* (2001) explicam o efeito do aumento da resistência de aderência em argamassas:

“A cal além de aglomerante possui importantes propriedades plastificantes e de retenção de água, em função da sua finura. Dessa forma, as argamassas contendo cal preenchem mais facilmente e de maneira mais completa toda a superfície do substrato, propiciando maior extensão de aderência. A durabilidade da aderência é proporcionada pela capacidade da cal em evitar fissuras e preencher vazios, o que é conseguido através da reação de carbonatação que se processa ao longo do tempo”.

Joisel (1965) confirma a tese das pesquisadoras ressaltando que é possível obter adequada aderência do revestimento e boa trabalhabilidade da argamassa com aglomerantes de elevada finura, pois atuam como lubrificantes sólidos entre os grãos do agregado. Guimarães (2002) ratifica a afirmação de Joisel quando declara que quanto menor a partícula da cal hidratada maior o poder aglomerante da mesma, influenciando diretamente, e de forma positiva, na trabalhabilidade das argamassas.

Segundo Cincotto *et al.* (1995) a cal confere plasticidade às pastas e argamassas no estado fresco, permitindo maiores deformações no estado endurecido e sem fissuração, o que não ocorre, com frequência, em caso de se empregar somente cimento Portland. Guimarães (2002) complementa esclarecendo que as argamassas com cal absorvem pequenas tensões provocadas por movimentos de acomodação desiguais das estruturas. O pesquisador explica que a capacidade de auto-refazer muitas pequenas fissuras que ocorrem no decorrer do tempo, ou seja, reconstituição autógena das fissuras, deve-se à carbonatação da cal que demanda um tempo prolongado para se completar.

Os benefícios da utilização da cal na argamassa são reforçados por Gallegos (2005):

- a cal permite aumentar a extensão de aderência;
- endurece com lentidão mantendo a argamassa elástica;
- restabelece as fissuras de maneira autógena com o decorrer de sua carbonatação.

Uma vez que a carbonatação desenvolve-se com redução do volume dos poros, devido ao incremento de cristais de carbonato de cálcio, influencia também as características de absorção e permeabilidade das argamassas (AGOSTINHO, 2008). Outra propriedade da cal hidratada enfatizada pela pesquisadora é a retenção de água. Por ter cristalinos muito pequenos e com capacidade de reter em sua volta uma película líquida de água firmemente aderida, a cal acrescenta melhorias sensíveis às argamassas. Algumas vantagens decorrentes da capacidade de retenção de água da cal hidratada na argamassa são:

- permite regular perda de água para elementos construtivos vizinhos com alta porosidade;
- melhor interface bloco construtivo com a argamassa;
- melhor trabalhabilidade das argamassas;
- melhor absorção das acomodações iniciais da estrutura, em função da maior flexibilidade das ligações;
- melhor estocagem da água necessária ao desenvolvimento das reações que provocam o aparecimento de constituintes cimentantes.

A retenção de água esta certamente ligada à área superficial das partículas e também às propriedades superficiais das partículas (NEHDI *et al.*, 1998 apud JOHN, 2003). Assim a presença de partículas mais finas com maior afinidade com a água favorece a retenção de água. As cales possuem os mais altos teores de partículas, abaixo de 1 μ m, e também de retenção de água.

Em pesquisa sobre a aderência de argamassas à base de cimento Portland e a substratos porosos, Carasek (1996) faz referência à relação entre a proporção de hidróxido de magnésio presente na cal hidratada e a resistência de aderência, justificada a nível macroscópico pela superior capacidade de retenção de água das argamassas constituídas de cal dolomítica. Segundo a autora à medida que se aumenta a proporção de hidróxido de magnésio na composição da cal, há um aumento na capacidade de aderência da argamassa. Em nível macroscópico, este fato pode ser explicado pela diferença da retenção de água das argamassas. A argamassa constituída de cal dolomítica apresenta retenção superior

àquela observada com cal cálcica. No nível de microestrutura, observou-se que na pasta aglomerante de cal dolomítica, ocorre a formação de grandes cristais de carbonato de cálcio (macrocristais), enquanto que nas argamassas com cal cálcica resultam monocristais.

A influência da cal hidratada nas propriedades das argamassas, no estado fresco e endurecido, é sintetizada por Melo *et al.* (2007):

“No estado fresco, podem-se destacar como propriedades, impactadas pela presença da cal, a plasticidade e a retenção de água. A plasticidade é obtida a partir do contato da água com as partículas da cal hidratada, as quais são muito finas e funcionam como lubrificante, reduzindo o atrito entre os grãos de areia presentes na argamassa, proporcionando maior trabalhabilidade e boa aderência. A segunda propriedade mencionada é obtida pela excelente capacidade que a cal possui de reter água em torno de suas partículas. Esta característica é importante no desempenho da argamassa, relativo ao sistema alvenaria/revestimento, por não permitir a absorção excessiva de água pela alvenaria. Ao reagir com o CO₂ a cal libera a água retida em torno de suas partículas e assim colabora também na cura do cimento. No estado endurecido pode-se destacar a capacidade de absorver deformações, devido ao baixo módulo de elasticidade, das argamassas à base de cal”.

2.2.2 Agregados

As propriedades das argamassas de revestimento são determinadas, principalmente, pelas características das matérias-primas (agregados e finos) e o proporcionamento das mesmas na formulação. A mineralogia dos agregados e a composição química dos finos reativos (ligantes) são fatores determinantes nas propriedades mecânicas do revestimento, sendo que a última ainda tem papel fundamental na cinética de consolidação do material (CARDOSO *et al.* 2009).

Quanto às dimensões os agregados são classificados em graúdos e miúdos, sendo que a NBR 7211/83 – Agregado para concreto - define agregado miúdo como: “areia de origem natural ou resultante do britamento de rochas estáveis, ou a mistura de ambas, cujos grãos passam pela peneira ABNT de 4,8 mm e ficam retidos na peneira ABNT de 0,075 mm”.

Os agregados podem ser classificados quanto à origem, segundo Neto (2005), em naturais (não necessitam de beneficiamento, passam somente por um processo de lavagem), britados, artificiais (derivados de processos industriais) e os reciclados – podem ser resíduos industriais granulares que tenham propriedades adequadas ao uso como agregado, ou provenientes de entulho de construção ou demolição, selecionado para esta aplicação (escória de alto-forno, entulho de construção, etc..). Segundo Tristão (2005) as areias mais utilizadas são as naturais provenientes dos leitos de rios, areia de cava ou de barranco e as areias eólicas. Dentre as areias naturais, a areia de leito de rio é a mais utilizada no país, enquanto que a areia artificial mais utilizada é a areia de britagem.

Os tamanhos são normalmente expressos em termos de composição granulométrica obtida em ensaio de peneiramento, sendo que, na construção civil brasileira, utilizam-se as peneiras de malha quadrada especificadas na NBR 5734/88 (TRISTÃO, 2005).

Utiliza-se também para definir o tipo de areia a ser empregada em argamassas, o módulo de finura que as classificam em areia fina, média ou grossa, de acordo com intervalos de valores adotados por tecnologistas de argamassa. O módulo de finura corresponde à soma das porcentagens retidas acumuladas, em massa, de um agregado, nas peneiras da série normal, dividida por 100 (CINCOTTO e CARNEIRO, 1999).

$MF > 3,0$ – areia grossa

$3,0 \geq MF \geq 2,0$ – areia média

$MF < 2,0$ – areia fina

Porém, os autores afirmam que o módulo de finura não é um parâmetro adequado, não atende à carência nacional de caracterização de areias, pois areias de mesma faixa de

módulo de finura podem ter massas unitárias diferentes, resultante de distribuição granulométrica diferentes, com reflexos nas propriedades das argamassas.

Neville (1997) já alertava que um parâmetro, a média, não pode ser representativo de uma distribuição, desta forma um mesmo módulo de finura pode representar um número infinito de distribuições de tamanhos ou curvas granulométricas completamente diferentes. O módulo de finura não deve ser usado como uma representação simples da granulometria, mas é útil para detectar pequenas variações do agregado de uma mesma origem. Ele pode dar indicação do comportamento provável de uma mistura feita de um agregado com uma determinada granulometria. O valor do módulo de finura é tanto maior quanto mais grosso for o agregado.

A distribuição granulométrica e a morfologia dos agregados têm grande impacto sobre o comportamento das argamassas. Ambas influenciam no empacotamento dos agregados e, conseqüentemente, na quantidade de pasta necessária para preencher os vazios entre os mesmos, a fim de produzir uma argamassa coesa, contínua e aplicável. A quantidade de pasta entre os agregados afeta propriedades das argamassas tanto no estado fresco (consumo de água, coesão e comportamento reológico) quanto depois de endurecidas - permeabilidade, retração e propriedades mecânicas (CARDOSO *et al.* 2009).

A distribuição granulométrica da areia interfere na trabalhabilidade da argamassa e no consumo de aglomerantes e água. No revestimento acabado, exerce influência na fissuração, rugosidade, permeabilidade e resistência de aderência (ANGELIM e CARASEK, 2003).

Em pesquisa realizada com areias de distribuições granulométricas diferentes os autores observaram, dentre outras características das argamassas no estado endurecido, que os revestimentos executados a partir de argamassas elaboradas com areia fina apresentaram valores de resistência de aderência à tração superiores aos dos revestimentos executados a

partir de argamassas elaboradas com areia muito fina. Foram utilizados cimento Portland CPII, cal hidratada CH I e areia natural quartzosa (tabela 2.4).

Tabela 2.4 - Característica da argamassa no estado endurecido, segundo NBR 7222/83 (ANGELIM e CARASEK, 2003)

Identificação das argamassas	Classificação da areia	Resistência à tração (Mpa)
AF1 - traço (1: 1: 6)	Fina	1,73
AMF1 - traço (1:1:6)	Muito fina	1,29

A granulometria da areia ou agregado tem grande influência nas propriedades das argamassas conforme quadro 2.4, apresentada por Guimarães (2002).

Quadro 2.4 - Influência da granulometria da areia nas propriedades das argamassas

Propriedades	Características da areia		
	Quanto menor o módulo de finura	Quanto mais descontínua for a granulometria	Quanto maior o teor de grãos angulosos
Trabalhabilidade	Melhor	Pior	Pior
Retenção de água	Melhor	Variável	Melhor
Elasticidade	Pior	Pior	Pior
Retração na secagem	Aumenta	Aumenta	Variável
Porosidade	Variável	Aumenta	Variável
Aderência	Pior	Pior	Melhor
Resistência mecânica	Variável	Pior	Variável
Impermeabilidade	Pior	Pior	Variável

As propriedades mecânicas das areias que interferem no comportamento das argamassas, segundo Guimarães (2002), são os seguintes:

- **Inchamento**

A areia seca absorve água, que passa a formar uma película em torno dos grãos. Como os vazios da areia chegam, por vezes, a ser tão delgados quanto à espessura da película de água, esta afasta os grãos entre si, produzindo inchamento.

- **Higroscopia**

A areia seca tem duas fases: sólidos (grãos) e vazios (ar); a areia úmida tem três fases: sólidos, água e ar; a areia saturada, duas fases: sólidos e água. Os vazios (espaço entre os grãos) da areia seca são de dimensões muito pequenas, de modo que a areia pode apresentar higroscopia ou ascensão capilar, isto é: quando a areia entra em contato com água na base, a água no interior da massa alcança nível acima da água no exterior, devido à capilaridade. Quanto mais fina é a areia, mais alta é a ascensão capilar. Por estas razões, a areia tem sempre um certo teor de umidade, caso não seja aquecida artificialmente.

- **Coesão aparente**

O valor cresce rapidamente de zero (para o teor de umidade nulo) até o máximo, para decrescer em seguida até se anular novamente para a areia saturada.

- **Friabilidade**

A areia perde qualidade se conter grãos friáveis. Para verificar, em primeira aproximação, a presença de grãos friáveis em tempo mais curto do que o necessário para o ensaio de qualidade, pode ser feito um teste de esmagamento. A areia é colocada em um molde e recoberta por um êmbolo sobre o qual se exerce força crescente, necessária para atingir a pressão de 40 MPa em um minuto. Essa pressão é conservada constante por quatro minutos. Determinam-se os módulos de finura antes e depois do ensaio e calcula-se a sua porcentagem de redução, que se compara com a da areia normal.

O autor alerta que a areia utilizada nas argamassas não deve conter impurezas como placas de micas (biotita ou muscovita), grãos de minerais em estágio de alteração (feldspato evoluindo para caolim), magnetita e hematita evoluindo para limonita/goetita, matéria orgânica (folhas, raízes, caules) e torrões de minerais.

Pesquisando a influência da areia na aderência das argamassas Carasek *et al.* (2001) afirmam que a capacidade de aderência das argamassas depende dos teores e das características da areia empregada. Com o aumento do teor de areia há uma redução na resistência de aderência, mas por outro lado, é a areia por manter-se indeformável na massa, que garante a durabilidade da aderência pela redução da retração.

Segundo os pesquisadores, as areias muito grossas não produzem argamassas com boa capacidade de aderir porque prejudicam a sua trabalhabilidade e conseqüentemente a sua aplicação ao substrato, reduzindo a extensão de aderência. No entanto, no campo das areias que produzem argamassas trabalháveis, uma granulometria mais grossa garante melhores resultados de resistência de aderência. Areias ou composições inertes com altos teores de finos (principalmente partículas inferiores a 0,075) podem prejudicar a aderência. A primeira explicação para este fato é que quando da sucção exercida pelo substrato, os grãos muito finos da areia podem penetrar no interior de seus poros tomando o lugar de produtos de hidratação do cimento que se formariam na interface e produziriam o encunhamento da argamassa.

Para Gallegos (2005) existem evidências de que as areias grossas aumentam a resistência à compressão e produzem argamassas ásperas, enquanto que as areias finas melhoram a resistência de aderência. A aderência da argamassa feita com areia grossa é menor devido às partículas grossas reduzirem o contato entre o aglomerante e a superfície. Como consequência, deve-se dar preferência a areias com granulometria bem graduada pois produzem argamassas trabalháveis e com boa aderência.

Segundo Neville (1997) a forma das partículas de agregado miúdo têm influência sobre as propriedades das misturas de cimento, sendo que partículas angulosas exigem mais água para uma mesma trabalhabilidade.

A forma das partículas de areia desempenha um papel importante no comportamento das argamassas. Influencia a aderência da pasta de ligante ao agregado, a trabalhabilidade do material fresco e a compacidade do material endurecido. Por outro lado, a forma é determinante no valor da superfície específica da areia; deste modo, influencia a quantidade de água de amassamento e, indiretamente, as variações de comportamento que lhe estão associadas (RATO, 2006 apud CRUZ, 2008).

2.2.3 Água de amassamento

“A água tem duas funções primordiais na argamassa: como único líquido, possibilita que a mistura seja trabalhável; e combina-se quimicamente com os aglomerantes proporcionando o endurecimento e a resistência da argamassa.” (CARASEK *et al.* 2001)

A água é um elemento fundamental na formulação das argamassas dado que reage com os ligantes hidráulicos, promovendo a sua hidratação e pondo em evidência as suas propriedades aglutinantes, conferindo ainda a consistência necessária à sua aplicação.

A quantidade de água utilizada na produção das argamassas condiciona a sua consistência, o processo de endurecimento, a aderência ao suporte, as características no estado endurecido e a qualidade final dos revestimentos. Dada a importância da água nas características das argamassas, é necessário estimar corretamente a quantidade a utilizar no amassamento, pois irá influenciar fortemente quer a aplicação quer a qualidade final do revestimento. A quantidade de água depende de vários fatores, tais como o tipo de ligante, o traço da mistura, entre outros. Uma das formas de se regular esta quantidade passa por controlar a consistência da mistura mantendo o traço constante, isto é, a quantidade de água

adicionada está relacionada diretamente com a consistência da argamassa, dando origem a uma argamassa com maior ou menor fluidez. Deve-se assim utilizar o volume mínimo de água de amassamento necessária para garantir a consistência necessária para que a argamassa possa ser devidamente aplicada (AGOSTINHO, 2008).

A autora afirma que a água utilizada no amassamento deve ser estabelecida de modo a que, mesmo com alguma evaporação, seja suficiente para garantir o desenvolvimento das reações necessárias ao endurecimento. Contudo, esta água não deve ser excessiva dado que a água não utilizada nas reações irá evaporar e dará lugar a vazios que vão incrementar a porosidade e reduzir a resistência mecânica.

Sobre as patologias provocadas pela água de amassamento Carasek (2007) afirma que um dos principais problemas está relacionado à presença de sais solúveis, que poderão gerar as eflorescências nos revestimentos e também acelerar a pega da argamassa. A presença de matéria orgânica pode retardar a pega e o endurecimento da argamassa. Desta forma não se pode empregar água do mar e outras águas com alto teor de sais solúveis e outras substâncias nocivas. A água a ser utilizada no amassamento deve ser potável da rede pública de abastecimento ou no caso da necessidade de utilização de água não tratada, devem ser realizados testes para verificar a sua qualidade.

2.2.4 Adições e aditivos

A NBR 13529 (ABNT, 1995) define aditivo como sendo um produto que é adicionado à argamassa, em pequena quantidade, com a finalidade de melhorar uma ou mais propriedades no estado fresco ou endurecido. Segundo a mesma norma existem vários tipos de aditivos com funções específicas e podem influenciar uma ou mais propriedades da argamassa. O aditivo hidrofugante reduz a absorção da água da argamassa por capilaridade. O aditivo incorporador de ar melhora a trabalhabilidade e reduz o consumo de água. O aditivo redutor de permeabilidade reduz a permeabilidade da argamassa sujeita à água sob

pressão. O aditivo retentor de água reduz a evaporação e exsudação de água da argamassa fresca e lhe confere a capacidade de retenção de água frente à sucção por bases absorventes.

Para Carasek (2007) um dos aditivos mais empregados para argamassas é o incorporador de ar. Este aditivo quando incorporado em pequenas quantidades à argamassa propicia a criação de microbolhas de ar, homoganeamente distribuídas, conferindo-lhe principalmente melhor trabalhabilidade e redução do consumo de água de amassamento, o que pode ajudar a reduzir o risco de fissuração. Sentone *et al.* (2009) explica que as microbolhas são responsáveis pelo aumento do volume de pasta e afastamento dos agregados, melhorando a fluidez. Outros benefícios gerados, pela utilização deste aditivo, são a capacidade de isolamento termo-acústico, e redução no custo final do material.

O aditivo incorporador de ar possui moléculas com uma extremidade polar (hidrofilica) e outra extremidade apolar (hidrofóbica). Assim, podem se localizar na interface ar-água, formando pequenas bolhas de ar que se repelem e se mantêm no meio líquido. A melhoria da trabalhabilidade possibilita maior rendimento na aplicação da argamassa. O aumento da área revestida por quilo de material utilizado, também deve ser considerada. Assim, a demanda por materiais como cimento e cal é reduzida (ROMANO *et al.* 2007).

A mudança provocada pelos aditivos incorporadores de ar nas argamassas de revestimento pode ser observada nas fotos abaixo, onde se tem uma argamassa com 20% de cimento (figura 2.6) e uma argamassa com o mesmo proporcionamento, apenas com o acréscimo de 0,05% de um aditivo incorporador de ar, em relação à massa de cimento (figura 2.7).

Nota-se que os aditivos causam uma grande alteração na trabalhabilidade das argamassas, já que a mesma passa de um aspecto seco e áspero, para um aspecto plástico, devido à incorporação de ar. É essa capacidade dos aditivos alterarem positivamente a trabalhabilidade das argamassas, que permite a confecção de argamassas sem cal, apenas com o aditivo incorporador de ar como agente plastificante (ALVES, 2005).



Figura 2.6 - Argamassa sem aditivo incorporador de ar com aspecto seco (ALVES, 2005)



Figura 2.7 - Argamassa com aditivo incorporador de ar com aspecto plástico (ALVES, 2005)

Carasek (2007) alerta, no entanto, que estes aditivos devem ser empregados com cautela, se o ar for incorporado em teores muito elevados a aderência da argamassa ao substrato poderá ser prejudicada. Argamassas com teores de ar acima de 20% a 25% podem representar problemas para os revestimentos. Abaixo desses valores o ar incorporado pode melhorar a aderência ao substrato, devido ao ganho na trabalhabilidade, resultando em um aumento na extensão da ligação.

Para Alves (2005) a possível redução na resistência de aderência encontrada em argamassas com ar incorporado é atribuída à diminuição da superfície de contato entre a

argamassa e o substrato, e pela redução de propriedades mecânicas devido ao incremento da porosidade na argamassa, após a incorporação de uma certa quantidade de ar. O autor constatou em pesquisas que o aumento do teor de ar, para qualquer aditivo, acima de um certo valor, reduz a aderência das argamassas. Foi encontrada uma redução de até 55% no valor da resistência de aderência à tração, com o aumento do teor de ar em argamassas de revestimento (figura 2.8). Com o aumento do tempo de mistura, ocorrerá o aumento do teor de ar, conforme ilustra a figura 2.9, sendo que, com a continuação da mistura, ocorrerá um ponto em que o teor de ar pode começar a diminuir.

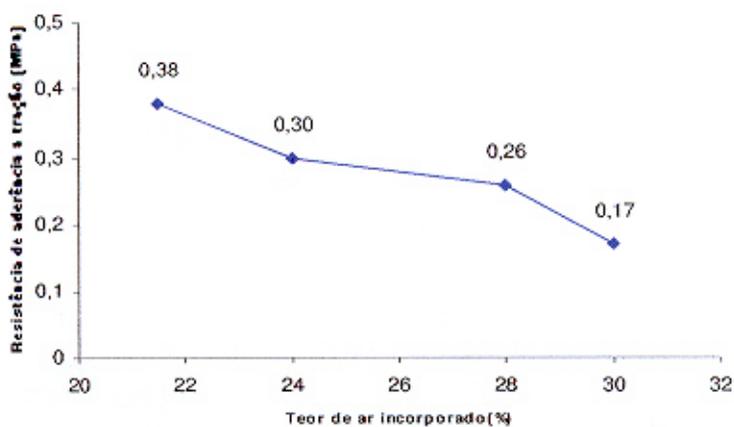


Figura 2.8 – Influência do teor de ar incorporado na resistência de aderência à tração (ALVES, 2002).

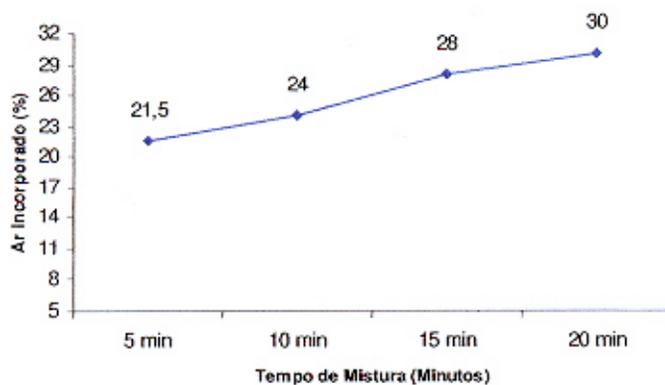


Figura 2.9 – Influência do tempo de mistura na incorporação de ar em argamassas (ALVES, 2002)

As alterações das propriedades no estado fresco e endurecido das argamassas por aditivos incorporadores de ar são apresentadas no quadro 2.5.

Quadro 2.5 - Alteração das propriedades das argamassas por incorporador de ar (resumida da RILEM, 1992 apud MONTE *et al.*, 2003)

PROPRIEDADES		EFEITOS DO ADITIVO IAR
Estado fresco	Índice de consistência	Aumenta para o mesmo a/c
	Densidade de massa aparente	Diminui
	Teor de ar	Aumenta
	Retenção de água	Aumenta
Estado endurecido	Resistência mecânica	Diminui para o mesmo a/c
	Resistência de aderência	Diminui para o mesmo a/c
	Absorção capilar	Diminui
	Retração por secagem	Igual ou aumenta
	Densidade de massa específica	Diminui
	Módulo de elasticidade	Diminui
	Durabilidade	Aumenta(ciclos degelo/degelo)

Sentone *et al.* (2009) também chamam atenção para os cuidados com a etapa de processamento das argamassas com aditivo incorporador de ar. Observa-se que estas argamassas têm seu volume aumentado de 25% a 75% somente devido à alteração do tempo de mistura. Essa sensibilidade de argamassas à etapa de mistura é um problema bastante comum no setor construtivo, uma vez que pode afetar as características do material tanto em seu estado fresco quanto endurecido. Diferentes tipos de misturadores, com energias de processamento desiguais, assim como diferentes tempos de mistura podem produzir argamassas, compostas pelas mesmas matérias-primas, com características reológicas significativamente distintas.

Romano *et al.* (2007) realizaram um estudo para avaliar as propriedades das argamassas no estado fresco e correlacionar com o estado endurecido a partir da variação do tempo de mistura. No estado endurecido, foram avaliadas a porosidade, permeabilidade e resistência à tração na compressão diametral. A seguir são apresentados alguns dados da pesquisa:

- O aumento do ar incorporado foi diretamente proporcional ao tempo de mistura. A maior incorporação de ar ocorreu entre 2 e 4 minutos sendo provavelmente explicada pela eficiência na desaglomeração do material após esse intervalo de tempo.
- Após o endurecimento, as bolhas de ar tornam-se poros na argamassa que são responsáveis pela deterioração da permeabilidade e a resistência à tração na compressão diametral. Quando se compara a porosidade total deixada após 2 minutos de mistura com a porosidade deixada após 10 minutos, nota-se um aumento de 8%. A figura 2.10 ilustra a variação da porosidade total da argamassa em função dos diferentes tempos de mistura.

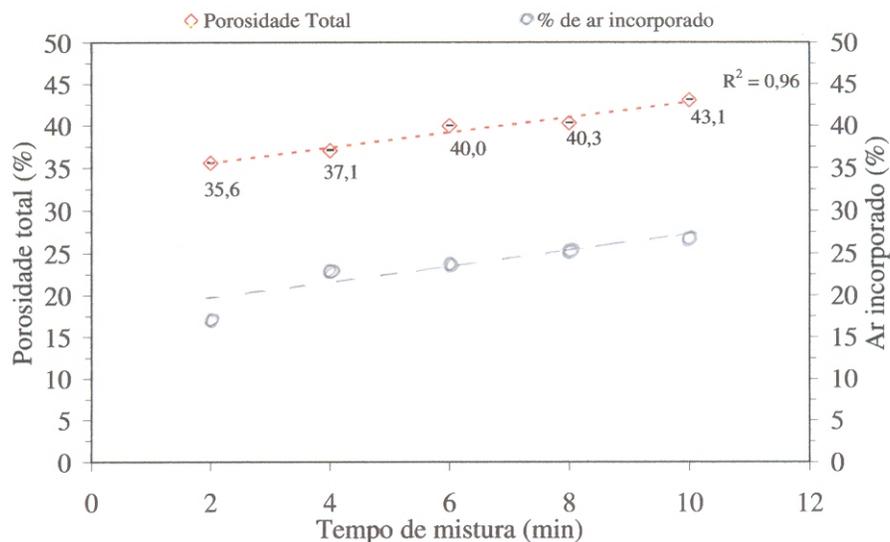


Figura 2.10 - Variação da porosidade total da argamassa em função da alteração do tempo de mistura (ROMANO *et al.* 2007). Adaptado

- O aumento na quantidade de poros, provocado pela variação do tempo de mistura, reduz o valor da tensão de ruptura da argamassa. Um aumento de cerca de 8% na porosidade total da argamassa ocasionou uma queda na resistência mecânica de 0,55 MPa para 0,35 MPa (aproximadamente 36% de redução na resistência à tração na compressão diametral). A quantificação dos efeitos provocados pelo aumento dos vazios na resistência mecânica foi realizada a partir da avaliação da resistência à tração na compressão diametral, conforme figura 2.11.

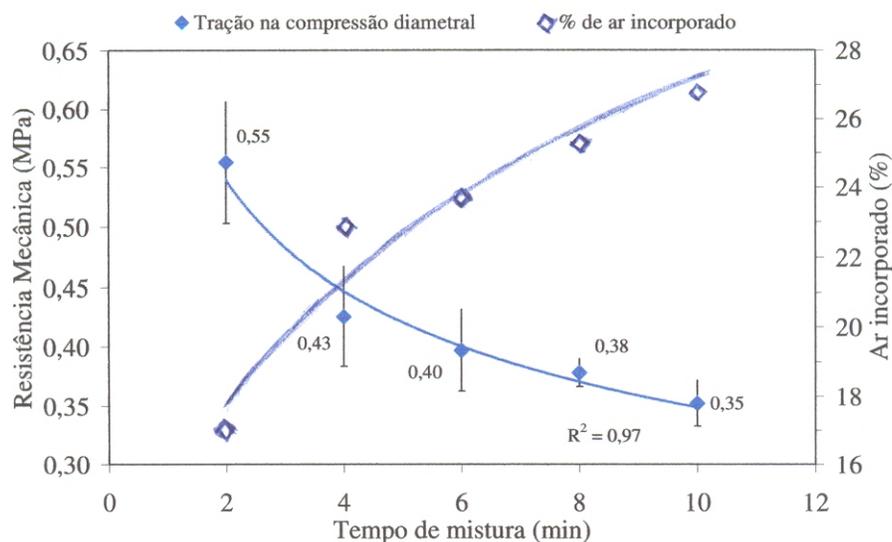


Figura 2.11 - Variação da resistência à tração na compressão diametral em função da porosidade total da argamassa. (ROMANO *et al.* 2007). Adaptado.

Nos aditivos hidrofugantes a redução da capilaridade da argamassa se dá, geralmente, pelo abaixamento da tensão capilar no interior das mesmas. São geralmente constituídos por finas partículas hidrófugas insolúveis, em geral sais metálicos de ácidos orgânicos (estearatos de cálcio, zinco, alumina, magnésio) existindo, quer nesta forma no produto, quer formando-se no meio, por reação com a cal livre ou com a cal do cimento. Outros produtos tensoativos, cargas minerais, dispersantes, podem entrar na composição do hidrófugo para adaptar a sua atuação ao cimento. De maneira geral, entopem os poros e os capilares criados pela eliminação da água em excesso, participam na hidratação dos aglomerantes e estabilizam o meio aquoso durante a “pega” (RODRIGUES, 1993 apud CARVALHO JR.,2005).

Segundo a NBR 13529 (ABNT, 1995), adições são materiais inorgânicos naturais ou industriais finamente divididos, adicionados às argamassas para modificar as suas propriedades e cuja quantidade é levada em consideração no proporcionamento. Dentre as adições para argamassas está o saibro, o solo fino, o filito cerâmico e o pó calcário.

Carvalho Jr. (2005) cita como adições mais comuns presentes nas argamassas as pozolanas (materiais provenientes de rochas vulcânicas e outros com atividade pozolânica), o pó calcário, também conhecido como filer (material muito fino constituído de calcário ou dolomitos) e os pigmentos. Nascimento (2005) ressalta que as adições, na maioria das vezes, não possuem poder aglomerante, atuando como agregados, de modo geral elas possuem poder aglutinante.

Os materiais finos provenientes dos aglomerantes (cimento e cal) ou provenientes dos argilominerais (presentes nos saibros) ou de outros materiais inertes (por exemplo, pó calcário) tem, em função de sua alta área específica, papel de plastificante das argamassas. À medida que se aumentam os finos inertes nas argamassas ganha-se em trabalhabilidade e perde-se pelo aumento da pulverulência e da fissuração dos revestimentos, sendo portanto, necessária a definição do teor ideal desse tipo de material nas argamassas (PAES *et al.* 2009).

Os autores realizaram pesquisas com a substituição parcial crescente da areia por pó calcário, em quatro traços. Com o aumento do teor de finos foi observado um aumento na incidência de fissuras. Possivelmente, esta fissuração foi devido à retração, que pode ser explicada em função da granulometria da areia e do pó calcário. A areia atua como “estrutura” para evitar a retração da argamassa; e quando se substitui parte desse material por um mais fino facilita-se a fissuração, visto que quanto menor o diâmetro dos agregados maior a retração.

Aguilar *et al.* (2002, apud Carvalho Jr.,2005) avaliaram o desempenho de argamassas com adições de rejeitos industriais, no caso, sílica ativa (sílica no estado amorfo obtida como

subproduto da fabricação de ferro-silício ou silício metálico) e escória de alto-forno granulada finamente moída, adicionando também fibras poliméricas. As fibras se mostraram muito efetivas para redução do módulo de elasticidade dinâmico das argamassas (situação desejável no sentido da redução da fissuração por secagem dos revestimentos). O uso conjunto de fibras e sílica possibilita ganhos de resistência mecânica. O uso somente de sílica produziu diminuição da permeabilidade da mistura.

As adições minerais geralmente são empregadas como substitutivos da cal hidratada, visando garantir a plasticidade da massa, com um custo mais reduzido. Os saibros foram amplamente empregados no Brasil com essa finalidade, recebendo as mais variadas designações regionais, tais como: taguá, arenoso, caulim, massara, piçarra, salmorão, argila de goma, barro, areia de reboco, areia de meia liga, areia rosa, etc. Este material, constituído em parte por argilominerais, empregado indiscriminadamente é causa frequente de manifestações patológicas nos revestimentos de argamassa, sendo as principais: fissuração, pulverulência, eflorescência e descolamento. Salienta-se que nem todo saibro é deletério, mas que este material deve ser empregado com grande cautela, pois além dos inconvenientes listados anteriormente, ele é um material proveniente de decomposição de rochas, muito heterogêneo e, portanto, de difícil controle para dosagem na obra (CARASEK, 2007; THOMAZ, 2000).

Os minerais naturais, como filitos, arenosos, etc. possuem características muito variáveis e devem ser considerados em grande medida incompatíveis com a moderna construção civil. Inexistem quaisquer especificações técnicas para o uso destes produtos. O emprego destes produtos em teores excessivos pode levar à formulação de argamassas de excelente desempenho no estado plástico, mas com grandes falhas de desempenho no estado endurecido, que muitas vezes tem causado grandes prejuízos a construtores e usuários. Existe também uma variedade de aditivos orgânicos que são dosados em baixos teores e requerem processos de mistura muito controlados. Por esta razão, de uma forma geral estes materiais são de difícil utilização efetiva fora de produção industrial (JOHN, 2003).

2.3 Proporcionamento de dosagem dos materiais – traços

A dosagem das argamassas deve considerar as características dos materiais, adequando-os ao tipo de revestimento e de acabamento especificados, ao tipo de substrato e à agressividade do meio (BOLORINO e CINCOTTO,1999).

Carasek (2007) alerta que os traços propostos por conceituadas instituições técnicas nacionais e estrangeiras, deveriam servir apenas como um ponto de partida para a dosagem de argamassas. Estudos de dosagem ou no mínimo ajustes nos traços pré-fixados são necessários, pois os materiais constituintes da argamassa diferem muito de uma região para outra, principalmente a areia (granulometria, teor de finos, natureza mineralógica, etc.), podendo gerar, quando da adoção direta da proporção preestabelecida, argamassas de comportamento inadequado.

Neste sentido o traço experimental constitui eficaz ferramenta para verificação do traço a ser efetivamente utilizado e garantia do desempenho esperado na sua aplicação. Antes de sua aplicação na obra devem ser verificadas as propriedades no estado fresco e endurecido, utilizando-se o traço experimental. A seguir serão expostos alguns traços propostos por pesquisadores do assunto em questão.

Guimarães (2002) recomenda que na falta de indicações específicas, as proporções (traços) mais usadas, tanto para assentamento como para revestimento, são as 1:1:6 (cimento, cal e areia) e 1:2:9.

Baseados em ensaios mecânicos de aderência e análises ao microscópio eletrônico de varredura, Lawrence e CAO (1988 apud Carasek, 2001) propõem um traço próximo de 1:0,5:4,5 (cimento, cal e areia, em volume) para uma argamassa ótima visando resistência de aderência e durabilidade.

Segundo Cincotto e Carneiro (1999) a composição e a dosagem das argamassas adotadas no Brasil são feitas com base em traços descritos em massa ou volume, ou especificados em normas internacionais e nacionais ABNT, IPT e cadernos de encargos. Para as argamassas de revestimento, tem-se adotado com mais frequência os traços: 1:1:6 e 1:2: 9 (cimento: cal: areia) em volume, numa proporção aglomerante: agregado de 1:3 ou 1:4. Os traços de dosagem citados representam, em média, 20% de aglomerante (cimento e cal) e 80% de agregado, a areia, em massa, sendo a areia especificada por porcentagens retidas em uma série de peneiras, cuja razão das aberturas de malha é igual a 2.

2.4 Influência da natureza dos substratos

O processo de aderência da argamassa inicia-se imediatamente após o contato da argamassa com o substrato e é devido ao movimento da água (contendo os produtos do cimento e da cal) em direção à base, que exerce sucção capilar. Assim, no que diz respeito à aderência do revestimento, tão importante quanto as características adesivas da argamassa são as propriedades e características do substrato, podendo-se destacar a matéria-prima, a porosidade (estrutura e distribuição dos tamanhos dos poros), a capacidade de absorção de água e a textura superficial como sendo as de maior importância (CARASEK *et al.*, 2001).

A base do revestimento (substrato), através da sua capacidade de absorção de água, é normalmente a maior responsável pela perda de água da argamassa após aplicação. Dentre os diferentes tipos de bases sobre os quais são aplicados os revestimentos, destacam-se as paredes de alvenaria e os elementos estruturais (vigas, lajes e paredes). Dentre os materiais mais comuns na composição das alvenarias estão os blocos cerâmicos, os de concreto, os de concreto celular e outros. Cada um destes tem características distintas e peculiares que serão fundamentais para promover uma aderência satisfatória entre a base e o revestimento em argamassa (PAES, BAUER E CARASEK, 2005).

Pesquisa realizada pelos autores para analisar os resultados das avaliações da estrutura de poros de duas argamassas mistas de revestimento, com diferentes granulometrias, aplicadas sobre blocos cerâmicos e concreto, por meio da técnica de porosimetria por intrusão de mercúrio, conclui:

- O diâmetro, estrutura, volume e distribuição dos poros do substrato, aliados às suas características superficiais influem na quantidade e velocidade de água transportada para seu interior e, conseqüentemente, na alteração das propriedades da argamassa em contato com a base absorvente;
- A porosidade das argamassas, aliada à interação com o tipo de substrato sobre os quais estas são aplicadas, em virtude do maior ou menor poder de sucção destes, influem diretamente sobre propriedades fundamentais do revestimento, como a resistência de aderência;
- O bloco cerâmico apresenta uma superfície mais compacta e lisa, o que pode dificultar o transporte de água da argamassa, uma vez que esta água encontra-se mais restringida em um sistema de poros saturados. Este fator pode ocasionar na argamassa uma região, próxima da interface, mais porosa conduzindo a valores mais baixos de resistência de aderência;
- O bloco de concreto apresenta maior rugosidade superficial o que proporciona um aumento da área de contato entre este e a argamassa, permite uma melhor penetração da pasta aglomerante no interior do bloco, contribuindo para a melhoria da resistência de aderência. A tabela 2.5 apresenta os resultados médios da resistência de aderência à tração das argamassas obtidas com cimento, cal CH I e areia, aplicadas sobre blocos cerâmicos e de concreto. Argamassa A (1:1,24:6,82, em volume) e argamassa B (1:1,80:6,82, em volume).

Tabela 2.5 - Resultados médios da resistência de aderência à tração das argamassas aplicadas sobre blocos cerâmicos e de concreto, aos 28 dias de idade (PAES, BAUER E CARASEK, 2005).

Natureza do Substrato	Argamassa	Amostras	Resistência de aderência à tração (Mpa)
Bloco cerâmico	A	9	0,17
	B	9	0,2
Bloco de concreto	A	9	0,3
	B	9	0,46

A textura do substrato (rugosidade) é importante no desenvolvimento da aderência. As rugosidades são pontos de ancoragem da argamassa aplicada, auxiliando na aderência. Por sua vez, substratos rugosos possuem maior área de contato com a argamassa aplicada, melhorando potencialmente as condições de aderência. Substratos lisos, geralmente levam a valores de aderência menores, devendo-se sempre preparar as superfícies com o intuito de torná-las adequadamente rugosas. Quanto aos aspectos superficiais do substrato, a porosidade (diâmetro, estrutura, volume, distribuição e interconectividade de poros) é fundamental, por influenciar no transporte de água (sucção da água da argamassa), principalmente nos momentos iniciais pós aplicação (BAUER E.,2005).

2.5 Métodos executivos dos revestimentos argamassados

Os fatores que influenciam no desempenho dos revestimentos de argamassa são principalmente as características reológicas das argamassas, as características superficiais das bases ou substratos, as técnicas de execução e as condições ambientais (CANDIA e FRANCO, 1998)

Segundo os autores para melhorar a resistência de aderência entre o substrato e o revestimento, muitas vezes, é necessário realizar o tratamento prévio do substrato ou preparo da base. O tratamento deve ser escolhido em função das características superficiais da base e executado usando materiais e técnicas apropriadas para melhorar as condições de aderência do revestimento à base, principalmente criando uma superfície com rugosidade apropriada e regularizando a capacidade de absorção inicial da base.

As recomendações sugeridas por Candia e Franco (1998), Bauer E. (2005) para a execução do preparo da base são as seguintes:

- Remoção com água pressurizada dos resíduos: materiais pulverulentos, graxas, óleos, desmoldantes, etc.;
- Remoção das irregularidades: excessos de argamassas de assentamento e encunhamento, rebarbas de concretagem;
- Remoção das incrustações metálicas: pregos, fios, barras usadas nas formas;
- Regularização da base ou substrato através do preenchimento dos furos, rasgos e depressões localizadas;
- Lavagem e pré-umedecimento;
- Finalmente, execução do preparo da base.

Cavani (2004) chama a atenção para a importância do preparo de base quando esta é constituída por concreto de alto desempenho (pouco poroso) ou de blocos cerâmicos (lisos), nestes casos é fundamental tal procedimento para melhorar a aderência à camada de

revestimento. Muitas vezes um traço adequado é prejudicado pela falta de aderência à superfície. Bauer E. (2005) sugere, nas estruturas executadas com concretos de alto desempenho, a execução do apicoamento da superfície antes da aplicação do chapisco. Outra questão apontada pelo pesquisador é a utilização de desmoldantes nas formas das estruturas em concreto que reduzem consideravelmente o poder de aderência do chapisco na superfície.

Pesquisa realizada por Nascimento (2005), sobre o comportamento de aderência de argamassas de chapisco em superfície de concreto de cimento Portland CPIII, baseado nos ensaios de resistência de aderência à tração, conclui que a adição de adesivos, à base de PVAc – poli (acetato de vinila) nas argamassas de chapisco, proporciona valores mais elevados de resistência à tração. Com relação ao tipo de cimento utilizado no chapisco, os painéis de teste que receberam chapisco com cimento CPV ARI PLUS e adição de sílica ativa, foram aqueles que apresentaram melhores resultados de aderência.

Quando se usa chapisco comum sobre alvenaria não é necessário incorporar aditivo, desde que os materiais utilizados para a fabricação da argamassa e as técnicas de aplicação sejam apropriados, já no caso dos substratos de estrutura de concreto, a incorporação de aditivos é imprescindível (CANDIA e FRANCO, 1998).

Para Fiorito (1994) a argamassa do chapisco deve ser lançada com energia cobrindo todo o paramento, quando ainda úmido, com fina camada, cerca de 5mm (praticamente o tamanho do agregado). A intenção é obter uma superfície o mais regular possível e com ancoragens mecânicas suficientes para perfeita aderência da camada seguinte. Deve-se aguardar o endurecimento e a resistência mecânica do chapisco antes do lançamento da próxima camada. De acordo com as recomendações da NBR 7200 (ABNT,1998), em regiões de clima muito seco e quente, o chapisco deve ser protegido da ação direta do sol e do vento através de processos que mantenham a umidade da superfície. Sugere-se que o mesmo seja curado duas vezes ao dia durante 3 dias.

Para Guimarães (2002), o alto teor de cimento, a elevada granulometria e a pequena espessura de aplicação são as características básicas do chapisco que lhe conferem boa aderência aos mais variados tipos de bases. O chapisco promove um aumento da rugosidade e conseqüente ampliação da área de adesão. Para Bauer E. (2005) além da textura, o chapisco tem função de regular a capacidade de sucção por parte do substrato. Assim, substratos de altíssima sucção (como por exemplo as alvenarias de concreto celular) têm no chapisco um elemento que diminui a intensidade do transporte de água das argamassas para o substrato. Em contraposição, substratos com sucção muito baixa (como é o caso dos elementos estruturais em concreto), necessitam do chapisco como elemento incrementador da sucção de água da argamassa, com o intuito do desenvolvimento adequado da aderência argamassa-substrato.

De acordo com Cavani (2004), no chapisco convencional usa-se, normalmente, a mistura de cimento e areia com traço de 1:3 e aditivo quando necessário. Em caso de excesso de aditivo a aderência à base é otimizada, mas a aderência às camadas posteriores é prejudicada. Outra possibilidade é utilizar chapisco colante, indicado para superfícies de concreto. Nesse caso, a retenção de água é maior.

Bauer E. (2005) reforça as afirmações de Cavani, segundo o pesquisador é comum se especificar o emprego de polímeros adesivos (látex acrílico ou estireno-butadieno, dentre outros), com o intuito de melhorar a aderência do chapisco ao substrato. Entretanto com o emprego de teores muito altos de polímero, a aderência do chapisco ao substrato é fortemente incrementada, mas o polímero no interior da matriz porosa do chapisco forma filmes que obstruem (ao menos parcialmente) a rede de poros. Como conseqüência, a sucção necessária que o chapisco deve apresentar quando do lançamento da argamassa de revestimento, é preocupadamente reduzida. Assim, a aderência da argamassa de revestimento ao chapisco é prejudicada com resultados de desempenho muito críticos.

O tipo de produção da argamassa varia de acordo com a tecnologia escolhida para sua execução, pode-se optar por argamassa mista rodada em obra, ou por produtos

industrializados, onde o controle de materiais e dosagem é feito pelo fabricante do produto, requerendo apenas a adição de água. No caso de argamassas industrializadas, devem ser observadas as orientações do fabricante, quanto à mistura.

A preparação de argamassas mistas de cimento, cal e areia deve ser realizada em duas etapas. A primeira consta de mistura intermediária de cal, areia e parte da água, que deverá permanecer em repouso por 16 horas para a maturação da cal (NBR 7200/98). Na segunda etapa adiciona-se o cimento e o restante da água para a mistura final. Segundo Cincotto (1985) o objetivo da maturação é complementar a hidratação dos óxidos. Por condições termodinâmicas de decomposição, nas cales dolomíticas, o óxido de magnésio é sempre supercalcinado em relação ao óxido de cálcio e, conseqüentemente, de hidratação mais lenta.

Nakakura e Cincotto (2001) chamam a atenção para o tempo de mistura das argamassas industrializadas. Um tempo de mistura excessivo pode levar a uma incorporação de ar elevada alterando as propriedades da argamassa. O teor de ar incorporado depende do teor de aditivo e é influenciado pela forma de mistura. A NBR 13276 estabelece que o tempo de mistura deve ser de 4 minutos na velocidade lenta. Entretanto as pesquisadoras alertam que cada fabricante formula a sua argamassa para uma utilização específica, supondo a forma de mistura e que pode não ter o tempo de mistura de 4 minutos, logo padronizar esse valor sem a preocupação com a modificação das características da argamassa, mostra-se um procedimento inadequado. Para Yoshida e Barros (1995) o tempo e a velocidade de mistura das argamassas industrializadas podem alterar suas propriedades tais como a incorporação de ar e a consistência.

Segundo a NBR 7200 (ABNT, 1998), para uma argamassa preparada em obra as bases ou substratos devem ter as seguintes idades mínimas:

- 28 dias de idade para estruturas de concreto e alvenarias armadas estruturais;

- 14 dias de idade para alvenarias não armadas estruturais e alvenaria sem função estrutural de tijolos, blocos cerâmicos, blocos de concreto e concreto celular, admitindo-se que os blocos de concreto tenham sido curados durante pelo menos 28 dias antes de sua utilização;
- 03 dias de idade do chapisco para aplicação do emboço ou camada única, sendo que, para climas quentes e secos, com temperatura acima de 30°C, este prazo pode ser reduzido para 02 dias;
- 21 dias de idade para o emboço de argamassa de cal, para o início dos serviços de reboco;
- 07 dias de idade do emboço de argamassas mistas ou hidráulicas, para início dos serviços de reboco;
- 21 dias de idade do revestimento de reboco ou camada única, para execução de acabamento decorativo.

Para Carvalho Jr.(2005) as principais recomendações em relação ao preparo da mistura são:

- No processo mecanizado, o tempo de mistura não deve ser inferior a 3 minutos nem superior a 5 minutos. No processo de mistura manual, devem ser preparados volumes de argamassa inferiores a 0,05 m³ de cada vez.
- Para obras que empreguem mistura prévia de cal e areia deve-se misturar primeiramente a areia e a cal, e após, acrescentar água, atingindo-se consistência seca. A mistura produzida deve ser deixada em maturação durante 16 horas no mínimo.
- No preparo de argamassas mistas, o cimento deve ser adicionado no momento de sua aplicação, atendido o prazo de maturação da pasta ou da mistura cal e areia. No preparo das argamassas industrializadas, seguir as instruções de documento técnico que acompanham o produto. No preparo de argamassas com entulho reciclado, seguir as instruções do emprego do equipamento de preparo e mistura.
- O volume de produção de argamassa de cimento ou mista deve ser controlado de modo que seja utilizado em prazo máximo de 2 horas e 30 minutos. Para temperaturas acima de 30°C, forte insolação direta sobre o estoque de argamassa, ou umidade relativa do ar inferior a 50%, o prazo deve ser reduzido para 1 hora e 30 minutos. Estes prazos

estabelecidos podem ser alterados pelo emprego de aditivos retardadores, seguindo-se as recomendações de uso previamente estudadas.

As espessuras admissíveis para a camada do revestimento de argamassa de fachada devem respeitar os valores recomendados pela norma NBR 13749 (ABNT, 1996), podendo variar de 20 a 30mm. Se a espessura da camada de revestimento for superior à admissível, devem ser adotadas soluções que garantam sua aderência: para revestimentos entre 30 e 50 mm, a aplicação da argamassa deve ser feita em duas demãos, respeitando um intervalo de 16 horas entre elas; se a espessura for de 50 a 80mm, a aplicação deve ser feita em 3 demãos, utilizando-se telas metálicas. O reforço do revestimento com tela metálica galvanizada deve ser previsto nas regiões de elevadas tensões da interface alvenaria-estrutura (MACIEL E MELHADO,1999).

Segundo Fiorito (1994) a argamassa deve ser chapada com energia sobre o chapisco, depois sarrafeada e em seguida alisada com desempenadeira de madeira, e na seqüência aplica-se o feltramento. O autor recomenda utilizar uma tela metálica soldada de malha de 5x5cm e fio de 1,6mm aproximadamente, chumbada na estrutura suporte, sempre que por motivos construtivos a espessura da argamassa exceder às indicadas pela NBR 13749 (ABNT, 1996). A finalidade será absorver a retração da argamassa e como suporte do peso próprio da espessa camada de argamassa. O chumbamento da tela é feito em quatro pontos por metro quadrado e, nos cantos, três pontos por metro linear.

De acordo com a NBR 13281/2005 - especificação para argamassas industrializadas para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos - são apresentadas na tabela 2.6 as exigências físicas e mecânicas de acordo com as propriedades ensaiadas.

Tabela 2.6 - Exigências físicas e mecânicas para argamassas industrializadas (NBR 13281/2005)

Propriedade	Identificação	Limites
Resistência à compressão aos 28 dias (Mpa)	I	$> 0,1 \text{ e } < 4$
	II	$\geq 4 \text{ e } \leq 8$
	III	> 8
Capacidade de Retenção de água (%)	Normal	$\geq 80 \text{ e } \leq 90$
	Alta	> 90
Teor de ar incorporado (%)	A	< 8
	B	$\geq 8 \text{ e } \leq 18$
	C	> 18

A importância da cura dos revestimentos foi ressaltada por Pereira, Carasek e Francinete (2005), segundo os pesquisadores a cura úmida proporciona aumento de resistência de aderência à tração, reduz a permeabilidade e a capacidade de absorção dos revestimentos. Para Bauer (1994) em dias muito quentes, principalmente em locais expostos ao sol, os revestimentos devem ser mantidos úmidos por pelo menos 48 horas após aplicação

A cura das argamassas – mediante proteção contra a secagem precoce por ação do vento ou do sol e eventual umedecimento – constitui uma peça chave para a prevenção da fissuração por retração hidráulica, uma vez que, apesar de não diminuir o valor final da retração, esta ocorre num período em que as argamassas já têm resistência mecânica suficiente (SILVA e ABRANTES, 2007).

O uso de tela nos revestimentos tem função de dissipar a fissuração, ou seja, transformar as grandes fissuras em pequenas ou microfissuras, que sejam esteticamente identificáveis e

não causem significativos prejuízos ao desempenho do revestimento (falhas de estanqueidade à água de chuva, por exemplo). Neste sentido, a tela fina deve ser posicionada internamente à camada de argamassa, ou seja, não deve estar em contato com o substrato (bloco de alvenaria ou chapisco). Os locais de uso deste tipo de tela seriam regiões potencialmente fissuráveis como: encontro pilar-alvenaria, região de encunhamento da alvenaria, região de verga e contraverga de janelas (BAUER E.,2005).

Segundo Carvalho Jr. (2005) quando a base for composta por diferentes materiais e for submetida a esforços que gerem deformações diferenciais consideráveis (tais como balanços, platibandas e últimos pavimentos), deve-se utilizar tela metálica, plástica ou de outro material semelhante na junção destes materiais, criando uma zona capaz de suportar as movimentações diferenciais a que estará sujeita. Exemplos de bases contíguas teladas são apresentados nas figuras 2.12. e 2.13.

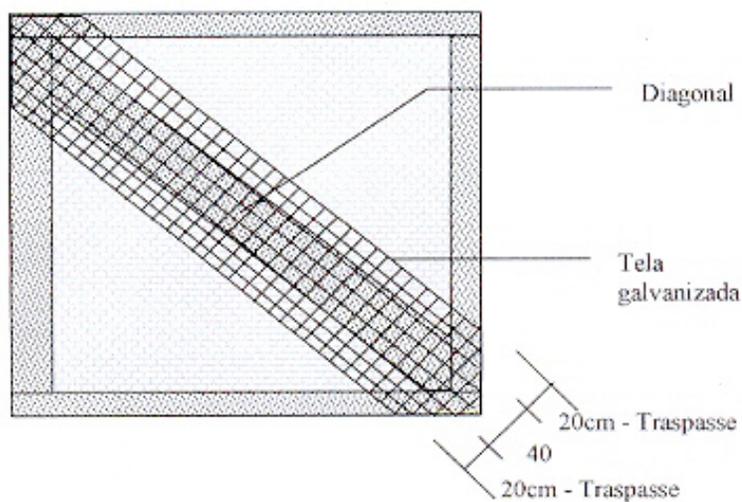


Figura 2.12 – Telamento utilizado no encontro de viga diagonal com alvenaria (CARVALHO JR., 2005).

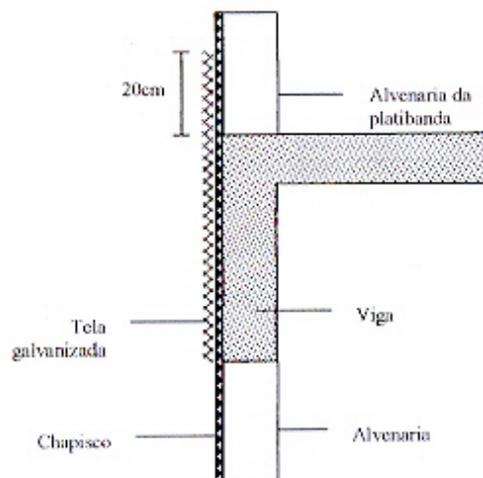


Figura 2.13 – Telamento de encontro alvenaria de platibanda com estrutura – seção transversal (CARVALHO JR., 2005).

A importância das juntas nos revestimentos de fachadas é enfatizada por Bauer E. (2005), para ele as juntas são elementos estratégicos para alívio dos esforços no sistema de revestimento. Genericamente falando, pode-se dizer que o papel da junta é conduzir a fissuração potencial para uma região localizada na junta - a junta por constituir-se de uma redução da espessura do revestimento concentra as possíveis.

2.6 Principais propriedades das argamassas de revestimento

Segundo Carasek (2007), as principais funções de um revestimento de argamassa são:

- proteger a alvenaria e a estrutura contra a ação do intemperismo, no caso de revestimentos externos;
- integrar o sistema de vedação dos edifícios contribuindo com o isolamento térmico e acústico, com a estanqueidade da água e com a segurança ao fogo;
- regularizar a superfície dos elementos de vedação e servir como base para acabamentos decorativos.

Para que as argamassas de revestimento possam atender às funções citadas, algumas propriedades como a trabalhabilidade, a retração, a plasticidade, a aderência, a permeabilidade à água, a resistência mecânica, dentre outras, tornam-se essenciais para as mesmas.

2.6.1 Trabalhabilidade

Trabalhabilidade é a propriedade das argamassas no estado fresco que determina a facilidade com que elas podem ser misturadas, transportadas, aplicadas, consolidadas e acabadas, em uma condição homogênea. Uma argamassa é chamada trabalhável quando permite que o aplicador execute o serviço com boa produtividade, garantindo que o revestimento fique adequadamente aderido à base e apresente o acabamento superficial especificado. A trabalhabilidade é uma propriedade complexa, resultante da conjugação de diversas outras propriedades, tais como: consistência, plasticidade, retenção de água, coesão interna (forças físicas de atração existentes entre as partículas sólidas da argamassa e as ligações químicas da pasta aglomerante), tixotropia (propriedade pela qual um material sofre transformações isotérmicas reversíveis, do estado sólido para o estado de gel - massa coesiva de aglomerante na pasta, mais densa após a hidratação), densidade de massa e adesão inicial (Cincotto e Bolorino, 1997).

Para Carasek (2007), a trabalhabilidade garantirá não só as condições de execução, como também o adequado desempenho do revestimento em serviço. As propriedades da argamassa no estado endurecido serão afetadas pelas condições de aplicação (estado fresco). Se a argamassa não possuir a trabalhabilidade satisfatória e não garantir a sua correta aplicação, a aderência da mesma ao substrato poderá ser comprometida.

As características físicas dos agregados também influenciam nesta propriedade, principalmente a granulometria e o índice de forma do agregado. A trabalhabilidade é

alterada de forma positiva, à medida que decresce o módulo de finura do agregado, mantém-se a continuidade da granulometria e decresce o teor de grãos angulosos. A utilização da cal repercute favoravelmente na trabalhabilidade da argamassa (CINCOTTO, SILVA e CARASEK, 1995).

Outra propriedade associada à trabalhabilidade é a adesão inicial, ou seja, a capacidade de união da argamassa no estado fresco ao substrato. Ao ser lançada à parede, a argamassa deve se fixar imediatamente à superfície, sem escorrer ou desprender, permitindo manipulações que visam espalhá-la e acomodá-la, além de garantir o contato efetivo entre os materiais, proporcionando sua aderência após o endurecimento (CINCOTTO, SILVA e CARASEK, 1995).

Uma trabalhabilidade adequada à aplicação é determinante para garantir aderência das argamassas ao suporte e, conseqüentemente, criar condições para a distribuição de tensões que se desenvolvem entre o revestimento e o suporte. Esta propriedade depende de diversos fatores, nomeadamente das suas características no estado fresco, da granulometria e da forma dos agregados (AGOSTINHO, 2008).

2.6.2 Plasticidade

Para Guimarães (2002), a plasticidade de um sistema é a expressão da possibilidade de uma pequena força externa causar o deslocamento de partículas em relação a outras, sem saírem de suas esferas de atração. No caso das argamassas, a plasticidade é definida como a característica que as tornam deslizantes e de fácil espalhamento, sem separação da água ou segregação do material sólido da mistura.

A plasticidade é influenciada pelos tipos e pelas quantidades de aglomerantes e agregados, pelo tempo e pela intensidade de mistura, e pela presença de aditivos como o aditivo incorporador de ar (CINCOTTO *et al.* 1995).

A plasticidade adequada para cada mistura, de acordo com a finalidade e forma de aplicação da argamassa, demanda uma quantidade ótima de água, a qual significa uma consistência ótima que, por sua vez é função do proporcionamento e natureza dos materiais. Assim, consistência e plasticidade são os principais fatores condicionantes da propriedade trabalhabilidade e, por isso, algumas vezes são confundidas como sinônimos de trabalhabilidade (CARASEK, 2007).

2.6.3 Consistência

Segundo Cincotto *et al.* (1995) a consistência das argamassas diz respeito à sua maior ou menor fluidez, está associada à capacidade da mistura em resistir ao escoamento. A argamassa pode ter a consistência seca, plástica ou fluida. Aquelas com consistência mais fluidas representam misturas com menores valores de tensão de escoamento.

Carasek (2007) explica que o ajuste que o pedreiro faz no sentido de corrigir a trabalhabilidade da argamassa alterando a quantidade de água, uma vez que as proporções dos componentes são pré-fixadas, diz respeito à consistência ou fluidez da argamassa.

A consistência define como a argamassa resiste às tensões impostas ainda no estado fresco, estando diretamente relacionada com a quantidade de água e com a trabalhabilidade. A quantidade de água, por sua vez, pode influenciar as características do revestimento final, alterando a resistência de aderência, a permeabilidade à água e a capacidade de absorver deformações (CRUZ, 2008).

2.6.4 Retenção de água

Segundo Cincotto *et al.* (1995) a retenção de água pode ser definida como a capacidade da argamassa fresca em manter sua consistência ou trabalhabilidade quando sujeita a solicitações que provocam perda de água de amassamento, seja por evaporação, por sucção ou por absorção pelo componente. Sem retenção adequada de água além de não se manter plástica o tempo suficiente para seu manuseio adequado, terá menor resistência quando endurecida. Argamassas de cal têm maior capacidade de retenção de água que as de cimento (maior finura, maior superfície específica, maior capacidade de adsorção de suas partículas e formação de um gel na superfície das partículas com até 100% de água em função do volume da partícula). O aumento da capacidade de retenção de água pode ser conseguido com aditivos (a base de celulose ou incorporadores de ar).

Além de interferir no comportamento da argamassa no estado fresco (como no processo de acabamento e na retração plástica), afeta também as propriedades da argamassa endurecida. Para que as reações químicas de endurecimento dos aglomerantes se efetuem de maneira apropriada, as argamassas dependem, em grande parte, de uma adequada retenção de água. A retenção de água é alterada em função da composição das argamassas (CARASEK, 2007). A figura 2.14 ilustra, de forma qualitativa, o aumento da retenção de água para diferentes argamassas.

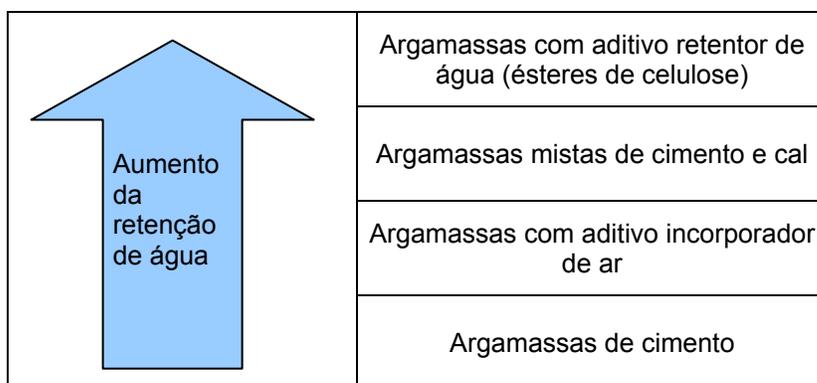


Figura 2.14 - Variação da retenção de água para diferentes argamassas (CARASEK, 2007)

As argamassas com cal apresentam características favoráveis de retenção de água pela elevada superfície específica da cal e pela grande capacidade de adsorção de seus cristais. A utilização de aditivos que impedem a perda de água para o componente aumenta a capacidade de retenção de água, é o caso dos derivados de celulose e dos incorporadores de ar (CINCOTTO, SILVA e CARASEK, 1995).

Segundo as autoras a retenção de água influi sobre as propriedades do estado endurecido, na medida em que determina as condições de hidratação do cimento e a carbonatação da cal, responsáveis pela evolução do processo de endurecimento. A resistência mecânica e de aderência do revestimento são afetadas pela retenção de água na medida em que esta interfere nas condições de contato da argamassa com a base.

2.6.5 Retração

De acordo com Cincotto *et al.* (1995) a argamassa endurecida, exposta a um ambiente com umidade relativa baixa, tende a perder água para o ambiente e se contrair, devido à tendência de aproximação das paredes dos poros capilares quando da saída da água, com a conseqüente contração volumétrica do elemento endurecido. Este fenômeno é conhecido como retração hidráulica (ou retração por secagem).

A retração nas argamassas acontece principalmente por causa da perda de água da argamassa para o ambiente, por evaporação, e para a base de aplicação. A retração evolui durante a pega e após o endurecimento das argamassas, em condições normais de exposição ao ar. A retração que ocorre com a argamassa ainda fresca é uma questão de contração volumétrica do material pela saída da água de mistura. Na argamassa endurecida, após a saída da água livre presente nos vazios capilares, a retração é provocada pela perda da água adsorvida, isto é, perda da água que está fisicamente aderida à parede dos vazios capilares da pasta. Em condições especiais severas de secagem, estudos sobre pastas de cimento

descrevem também a retração pela saída de água interlamelar, presente entre as camadas da estrutura do silicato de cálcio hidratado (MEHTA e MONTEIRO, 2008).

Segundo Bastos *et al.* (2001) a perda de água é uma das principais causas da retração em compósitos à base de cimento. No estado saturado após a mistura, estes materiais normalmente são expostos a ambiente de umidade relativa abaixo de 100% e perde-se água por secagem. A sucção de água também pode ocorrer por um substrato poroso, como nas argamassas de revestimento aplicadas diretamente sobre componentes de alvenaria em fachadas. As trocas de água entre a argamassa e o meio e entre a argamassa e a base dependem de fatores como composição da argamassa, condições ambientais e características da base como porosidade e teor de umidade.

Valdehita Rosello (1976, apud Carasek, 2007) explica que a pasta retrai ao perder água em excesso de sua composição, principalmente se possui alta relação água/aglomerante. Parte dessa retração é consequência das reações químicas de hidratação do cimento, mas a parcela principal é devida à secagem. A retração se inicia no estado fresco e prossegue após o endurecimento do material.

Quando o clima está quente, seco e com ventos fortes acelerando a evaporação, a perda de água gera fissuras de retração. O mesmo ocorre quando a argamassa é aplicada sobre uma base muito absorvente. No entanto, quando a secagem é lenta a argamassa tem tempo para atingir uma resistência à tração necessária para suportar as tensões internas que surgem (JOISEL, 1965).

A retração é influenciada pela granulometria da areia, quanto maior o volume de vazios a ser preenchido pela pasta, maior o teor de pasta e conseqüentemente maior a retração. Argamassas muito ricas em cimento estão mais sujeitas a tensões de tração que causarão fissuras. Os materiais pulverulentos (grãos com tamanho inferior a 0,075mm) têm grande influência sobre a retração das argamassas. De uma forma geral, quanto maior o teor de

finos, maior a retração, principalmente quando os grãos possuem dimensões inferiores a 0,005mm, chamados de argila. Estes finos requerem uma maior quantidade de água de amassamento, devido à sua alta superfície específica e à sua natureza, gerando maior retração e fissuração (CARASEK, 2007).

Pesquisas, sobre a influência da adição de finos calcários, silicosos e argilosos nas propriedades das argamassas, realizadas por Angelim *et al.* (2003) demonstraram que com exceção da argamassa de calcário, o aumento do teor de finos aumenta a relação água/cimento das argamassas. Na pesquisa foi considerada uma mistura de referência 1:1:6 (cimento, cal e areia), foram feitas substituições de parte da areia até se atingir os teores de finos totais prefixados em 30%, 35% e 40% de pó calcário, pó de granulito, pó de micaxisto e saibro. A figura 2.15 mostra a relação água/cimento necessária para obtenção de uma consistência plástica e trabalhável para argamassas de revestimento preparadas com finos de diferentes naturezas: argila – saibro; silicosos – micaxisto e granulito; e calcário. A tabela 2.7 apresenta os valores de retração após 12 semanas de secagem para argamassas com teores máximos de finos.

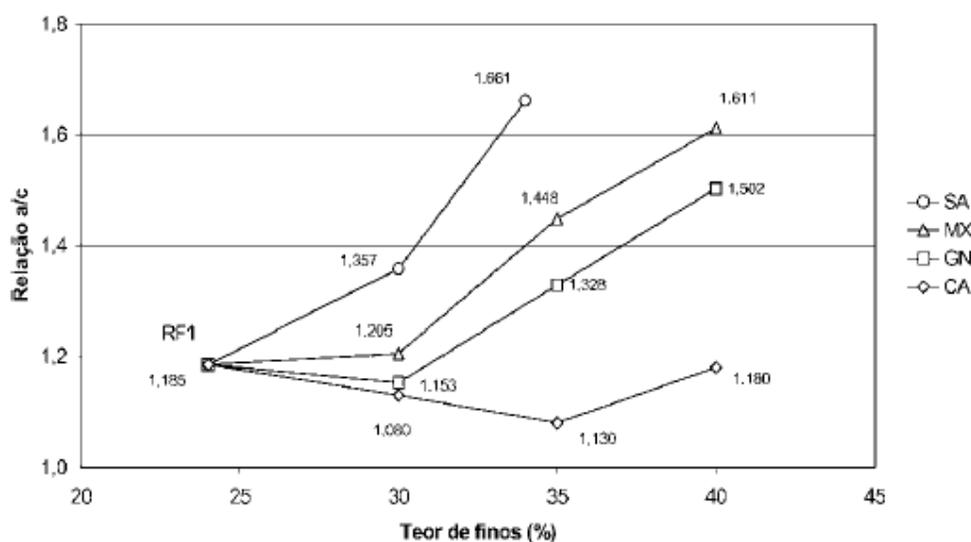


Figura 2.15 - Relação água/cimento em função do teor de finos (ANGELIM *et al.*, 2003)

Tabela 2.7 - Retrações segundo procedimento adaptado da NBR 8490/ 84 (ANGELIM *et al.*, 2003)

Retração após 12 semanas	
Argamassa / teor de finos	ϵ (%)
Referência	0,094
Calcário / 40%	0,091
Granulito / 40%	0,132
Micaxisto / 40%	0,123
Saibro / 34%	0,182

2.6.6 Aderência

A aderência da argamassa endurecida ao substrato é um fenômeno essencialmente mecânico devido à penetração da pasta aglomerante ou da própria argamassa nos poros ou entre as rugosidades da base de aplicação. Quando a argamassa no estado plástico entra em contato com a superfície absorvente do substrato, parte da água de amassamento, que contém os componentes do aglomerante (em dissolução ou em estado coloidal), penetra pelos poros e cavidades desse substrato. No interior deste, ocorrem fenômenos de precipitação dos produtos de hidratação do cimento e da cal, após algum tempo com a cura, esses precipitados intracapilares exercem ação de ancoragem da argamassa à base (CARASEK *et al.* 2001).

Cincotto e Bolorino (1997) ressaltam que a aderência da argamassa ao substrato é fundamental pois a argamassa deve resistir às tensões existentes na interface com a base. A água de amassamento, saturada dos íons resultantes da dissolução de compostos de cimento, é succionada pelos poros da base, precipitando compostos hidratados no seu interior e promovendo a aderência da argamassa à base.

A aderência é uma propriedade relevante na interação das argamassas de revestimento com o suporte, sendo determinante para o seu comportamento mecânico e durabilidade, a qual será tanto mais elevada quanto maior for a compatibilidade do revestimento ao suporte. Esta propriedade está associada à capacidade da argamassa em absorver tensões normais ou tangenciais na superfície de interface com o suporte, isto é, a capacidade para resistir a deslocamentos por tração e por cisalhamento, sem causar danos, tais como destacamentos (AGOSTINHO, 2008).

Para Carvalho Jr. (2005) é importante a aderência tanto da argamassa fresca como da argamassa endurecida. A aderência é significativamente influenciada pelas condições da base, como a porosidade e absorção de água, resistência mecânica, textura superficial e pelas próprias condições de execução do assentamento de componentes da base. A capacidade de aderência da interface base-argamassa depende, ainda, da capacidade de retenção de água, da consistência e do teor de ar incorporado da argamassa.

O termo aderência é usado para descrever a resistência e a extensão do contato entre a argamassa e uma base. Assim, não se pode falar em aderência de uma argamassa sem especificar em que material ela está aplicada, pois a aderência é uma propriedade que depende da interação dos dois materiais (CARASEK, 2007). Para a autora a aderência deriva da conjugação de três propriedades da interface argamassa-substrato:

- a resistência de aderência à tração;
- a resistência de aderência ao cisalhamento;
- a extensão de aderência, sendo esta correspondente à razão entre a área de contato efetivo e a área total possível de ser unida.

Pesquisando a interação entre os diversos tipos de substrato e as diferentes características das argamassas de revestimento à base de cimento Portland, Carasek (1997) concluiu que o tipo de substrato, bem como o tipo de argamassa e o teor de umidade do substrato exercem influência na resistência de aderência. A autora obteve como resultado que com o aumento

do teor de cimento resulta em um aumento na resistência de aderência, mas salienta que misturas muito ricas em cimento produzem revestimentos rígidos, que tendem a fissurar e, conseqüentemente, perder resistência de aderência ao longo do tempo. “As argamassas mistas com cal são mais flexíveis permitindo acomodar pequenas deformações, sem rompimento da ligação, apresentando portanto maior durabilidade da aderência”.

Através de estudos em nível microestrutural, Carasek (1996) confirmou, empregando microscópio eletrônico de varredura, que a aderência decorre do intertravamento principalmente de etringita (um dos produtos da hidratação do cimento) no interior dos poros do substrato, conforme apresentado na figura 2.16.

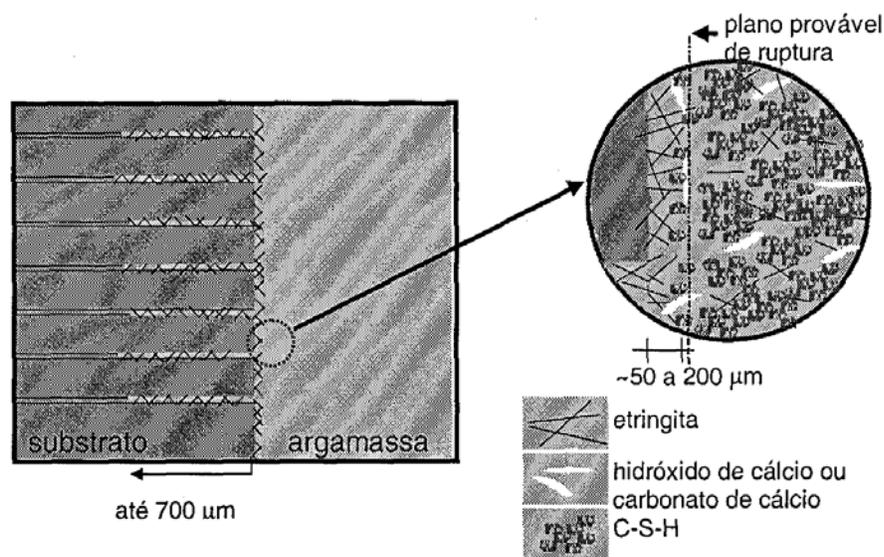


Figura 2.16 - Representação esquemática do mecanismo de aderência entre argamassas de cimento e cal e os blocos cerâmicos (CARASEK, 1996)

A autora informa que esse aumento local da concentração de etringita surge quando, ao se misturar o cimento Portland com água, a gipsita empregada como reguladora de pega do cimento dissolve-se e libera íons sulfato e cálcio. Estes íons são os primeiros a entrar em solução, seguidos dos íons aluminato e cálcio provenientes da dissolução do C_3A do

cimento. Devido ao efeito de sucção ou absorção capilar causado pela base porosa, tais íons em solução são transportados para regiões mais internas do substrato formando no interior dos poros o trissulfoaluminato de cálcio hidratado, também denominado de etringita. A etringita preenche prioritariamente os poros capilares, o que explica a sua maior abundância na zona de contato argamassa/substrato e em poros superficiais da base. Com menos espaço para precipitação, outros produtos de hidratação do cimento, como o C-S-H por exemplo, ou mesmo produtos posteriores da carbonatação da cal como a calcita, aparecem em menor quantidade.

A aderência é influenciada pelo tipo de cimento utilizado na argamassa. Quanto mais fino o cimento, maior a resistência de aderência obtida. Maiores valores de resistência de aderência são obtidos quando se emprega o CPV-ARI (alta resistência inicial) em comparação com os demais cimentos Portland. No entanto, deve-se ter atenção com o uso desta informação, uma vez que em virtude de sua maior finura, cimentos de alta resistência inicial podem levar à retração e fissuração do revestimento de modo mais fácil do que outros cimentos, considerando-se o mesmo consumo (CARASEK, 2007).

Ainda segundo a mesma autora, argamassas contendo cal preenchem mais facilmente e de maneira mais completa toda a superfície do substrato, propiciando maior extensão de aderência. Por sua vez, a durabilidade da aderência é propiciada pela habilidade da cal em evitar fissuras e preencher vazios, o que é conseguido através da reação de carbonatação que se processa ao longo do tempo. Esse aspecto particular da cal, conhecido como restabelecimento ou reconstituição autógena, representa uma das vantagens do uso deste aglomerante nas argamassas de revestimento.

A tabela 2.8 apresenta as especificações quanto à resistência de aderência à tração para argamassas de emboço e camada única segundo a NBR 13749 (ABNT, 1996).

Tabela 2.8 - Resistência de aderência à tração para argamassas de emboço e camada única – NBR 13749 (ABNT, 1996).

Local		Acabamento	Ra (MPa)
Parede	Interna	Pintura ou base para reboco	$\geq 0,20$
		cerâmica ou laminado	$\geq 0,30$
	Externa	Pintura ou base para reboco	$\geq 0,30$
		Cerâmica	$\geq 0,30$
Teto		$\geq 0,20$	

Sobre a evolução da resistência de aderência, estudos feitos por Carasek e Scartezini (1999) em argamassa mista (1:1:6, cimento, cal e areia, em volume) sobre bloco cerâmico sem aplicação de chapisco, apontam para um crescimento da resistência de aderência até aos 14 dias, quando então ocorre uma queda aproximada de 15%, mantendo-se logo após os níveis obtidos aos 23 dias. Os valores podem ser analisados pela tabela 2.9.

Tabela 2.9 - Valores médios da resistência de aderência e da forma de ruptura avaliados nas diversas idades para o substrato seco (CARASEK e SCARTEZINI, 1999)

Idade (dias)	N	Resistência de Aderência (Mpa)	Ruptura na Interface (%)	Ruptura na argamassa (%)	Ruptura no substrato (%)
2	11	0,20	28,6	71,4	0,0
7	12	0,24	52,5	47,1	0,4
14	11	0,26	56,4	34,5	9,1
23	12	0,21	81,3	15,0	3,8
121	9	0,14	80,6	14,4	5,0
244	9	0,24	95,0	2,4	2,8
344	9	0,15	98,0	0,0	2,0

N- número de CPs considerados no cálculo da média

2.6.7 Capacidade de deformação

A capacidade de deformação é uma propriedade das argamassas no estado endurecido que influi no desempenho das argamassas de revestimento. É a capacidade da argamassa deformar-se sem que ocorra ruptura - capacidade do material retornar às dimensões iniciais quando cessam as solicitações que lhe são impostas, durante a fase elástica. Quando o material está sob tensão surgem fissuras as quais, dependendo do nível de tensões, se propagarão, podendo prejudicar a aderência, a estanqueidade e a durabilidade do revestimento. As tensões são causadas por retração de secagem, nas primeiras idades, por movimentações provocadas por variação térmica e ou higroscópica e por ações extrínsecas ao revestimento, atuando isoladamente ou associadas (SELMO,1989 apud GODOY,1999).

O revestimento de argamassa deve apresentar capacidade de absorver pequenas deformações, para se deformar sem ruptura ou por meio de microfissuras, de maneira a não comprometer a sua aderência, estanqueidade e durabilidade. Esta capacidade de deformação do revestimento endurecido é caracterizada pelo módulo de deformação, o qual será tanto maior quanto mais rígido for o revestimento. Está associada ao módulo de elasticidade e à resistência mecânica das argamassas e influenciará tanto na fissuração como na aderência dos revestimentos (CARASEK,2007;CSTB,1982 apud CARNEIRO,1995)

Um revestimento de argamassa, quando submetido a tensões, deve ter a capacidade de absorver deformações sem sofrer ruptura ou fissuração que prejudiquem o seu desempenho, principalmente em relação à estanqueidade e à aderência. Esta característica está intimamente relacionada com o módulo de elasticidade da argamassa e é, em geral, diminuída por elevadas dosagens de cimento (CRUZ, 2008).

2.6.8 Permeabilidade

A permeabilidade à água é uma propriedade que está relacionada com a função de estanqueidade da parede, que ganha bastante importância quando se trata de revestimentos de fachada. A umidade infiltrada pelas paredes poderá causar problemas que comprometem a saúde dos usuários e a estética do edifício, além de estar associada a manifestações patológicas como eflorescências, descolamentos e manchas de bolor e mofo (CARASEK,2007). A autora adverte, entretanto, que de nada adianta uma argamassa de baixa permeabilidade à água, se o revestimento estiver todo fissurado, permitindo a penetração da água pelas aberturas.

A velocidade com que os líquidos e gases movem-se no interior de um material é determinada pela permeabilidade. A permeabilidade e a absorção capilar influem na durabilidade dos materiais, uma vez que os agentes agressivos do meio ambiente, como a

água de chuva que incide nas fachadas, dependem dessas características para penetrar no seu interior. Um revestimento de fachada, com elevada absorção de água, pode permanecer úmido por um longo período de tempo e facilitar a deposição de partículas de poluição presentes na atmosfera, facilitando a proliferação de microorganismos (CHEW e PING, 2003 apud UEMOTO, SATO e JOHN, 2009).

A granulometria do agregado, a natureza e o teor do aglomerante exercem particular influência sobre a permeabilidade. De modo geral, as argamassas de cimento são menos permeáveis, diminuindo com o aumento do teor de cimento. É diretamente proporcional à relação água/aglomerante(s) e inversamente proporcional à resistência da pasta aglomerante (CINCOTTO, SILVA e CARASEK, 1995).

Em estudos realizados por Almeida e Carasek (2003) sobre a avaliação da permeabilidade e da absorção de revestimentos, utilizando o “método do cachimbo” proposto pelo Centre Scientifique et Technique de la Construction – CSTC e pela Réunion Internationale des Laboratoires et Experts des Matériaux – RILEM, foi observado que a absorção de água do revestimento foi diminuindo dos 7 dias até os 2 meses. A explicação da redução, segundo as autoras, é que nesse período ocorre uma importante alteração na porosidade e na microestrutura das argamassas devido à hidratação do cimento e à carbonatação do hidróxido de cálcio proveniente da cal e do cimento, que levam à redução da porosidade e, conseqüentemente, à redução da permeabilidade e da absorção de água. O substrato utilizado foi o de alvenaria de blocos cerâmicos assentados com argamassa industrializada, a mesma do revestimento. A figura 2.17 expõe os dados da pesquisa.

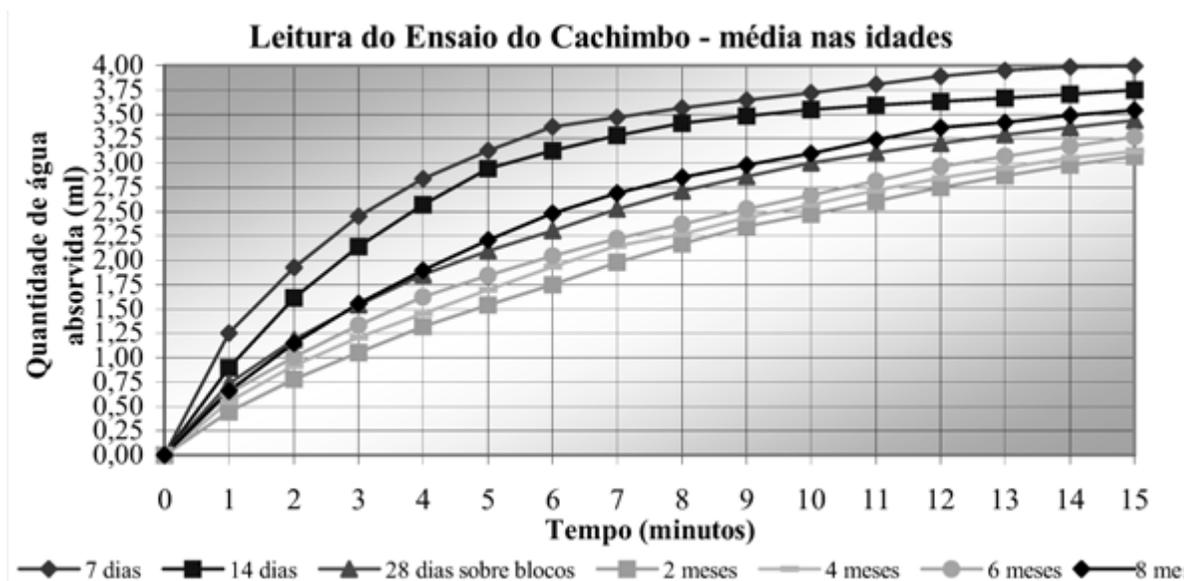


Figura 2.17 - Evolução da permeabilidade do revestimento, nas 7 idades estudadas com ensaios realizados sobre blocos (ALMEIDA e CARASEK, 2003).

2.6.9 Resistência Mecânica

A resistência mecânica é a propriedade dos revestimentos de possuírem um estado de consolidação interna capaz de suportar esforços mecânicos das mais diversas origens e que se traduzem por tensões simultâneas de tração, compressão e cisalhamento. Um dos principais problemas nos revestimentos, associado à resistência mecânica da argamassa, é a baixa resistência superficial, que se traduz na pulverulência, prejudicando a fixação das camadas de acabamento como a pintura (CARASEK, 2007). Os esforços que geram as tensões nos revestimentos provêm de cargas estáticas ou dinâmicas decorrentes do tipo de uso da edificação e das solicitações decorrentes de fenômenos térmicos ou climáticos que, por sua vez, dependem das condições de exposição das superfícies (CINCOTTO, SILVA e CARASEK, 1995).

Segundo Carvalho Jr. (2005) a resistência mecânica é influenciada basicamente pela natureza dos aglomerantes, natureza dos agregados, proporção aglomerante/agregado, relação água/cimento da mistura fresca e pela técnica de execução do revestimento.

A resistência à compressão manifesta-se na argamassa a partir do seu endurecimento. O endurecimento em argamassas de cimento ocorre pelas reações de hidratação do cimento quando, na presença de água, os silicatos e aluminatos constituintes do cimento resultam em produtos hidratados na pasta endurecida. As propriedades mecânicas da pasta hidratada dependem da estrutura física dos produtos resultantes da hidratação, especialmente das forças físicas e químicas de coesão, da relação água/cimento e do teor do aglomerante (CINCOTTO, SILVA e CARASEK, 1995).

2.7 Principais patologias dos revestimentos argamassados

A durabilidade do revestimento está vinculada às suas propriedades, à ação dos agentes degradantes, às condições de exposição que determinam tal ação e às decisões tomadas ao longo do processo de produção, ao uso e à manutenção da edificação e do revestimento (CINCOTTO, SILVA e CARASEK, 1995).

Segundo Bauer (1994) as falhas que ocorrem nos revestimentos podem ter as seguintes causas:

- deficiências de projeto;
- por desconhecimento das características dos materiais empregados e/ou emprego de materiais inadequados;
- por erros de execução, seja por deficiência de mão-de-obra, desconhecimento ou não observância de Normas Técnicas;
- por problemas de manutenção.

Cincotto *et al.* (1995) destacam que as condições de desempenho de um revestimento de argamassa são afetadas por diversos fatores extrínsecos e intrínsecos aos mesmos distribuídos por várias fases do processo de produção, uso e manutenção. Os extrínsecos são relacionados às solicitações sobre o sistema de revestimento, enquanto os intrínsecos são os que se relacionam com as propriedades e com os atributos de materiais, componentes e sistemas. Entre os fatores extrínsecos podem ser citados os seguintes:

- agentes climáticos;
- carregamentos, ação do fogo, poeira, fuligem, microorganismos, gases, etc.;
- movimento de água sobre a superfície;
- exigências de segurança, habitabilidade, durabilidade e economia.

Os principais fatores intrínsecos que definem o comportamento dos revestimentos são:

- a natureza, a granulometria e a proporção dos materiais constituintes;
- procedimentos de preparação dos substratos de aplicação, propriedades destes substratos;
- qualidade de execução;
- espessura final dos revestimentos.

O sistema de revestimento está sujeito a diversas espécies de pressão – estáticas e dinâmicas – que concorrem para a abertura de pequenas fissuras facilitando a circulação de água. A figura 2.18 apresenta os elementos atuantes sobre as paredes de edifícios.

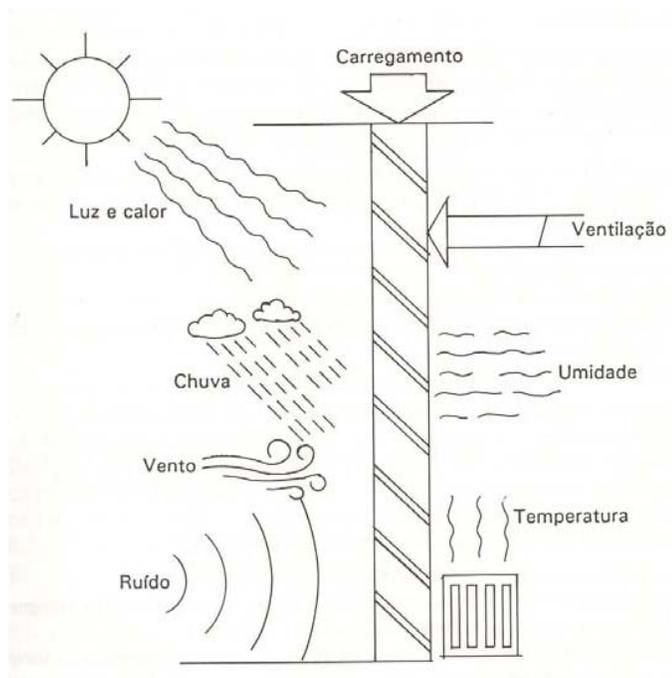


Figura 2.18 - Solicitações impostas às superfícies das edificações (CINCOTTO *et al.*, 1995)

A partir das solicitações citadas podem ser caracterizados os seguintes requisitos de desempenho das argamassas:

- apresentar estabilidade mecânica quando solicitada por carregamento normal ou sofrer deformação imposta por fenômenos térmicos ou climáticos;
- apresentar segurança em caso de incêndio, ou outras solicitações excepcionais;
- contribuir para a satisfação das exigências higrotérmicas e acústicas do usuário;
- contribuir para a estética da edificação.

Para Carasek (2007), a deterioração prematura dos revestimentos de argamassa é decorrente de processos físicos, mecânicos, químicos e biológicos. No entanto a autora afirma que essa distinção entre os processos é meramente didática, uma vez que os fenômenos frequentemente se sobrepõem sendo necessário considerar também as suas interações. Os

efeitos destes processos sobre as argamassas se manifestam através de efeitos físicos nocivos como a desagregação, descolamento do revestimento, vesículas, fissuração e aumento da porosidade e permeabilidade. O quadro 2.6 apresenta uma classificação dos processos de deterioração com exemplos de causas típicas associadas a eles.

Quadro 2.6 - Classificação dos processos de deterioração das argamassas (CARASEK, 2007)

DETERIORAÇÃO DOS REVESTIMENTOS DE ARGAMASSA			
Processos			
	Físico-mecânicos	Químicos	Biológicos
Exemplos de Causas típicas	retração plástica devido à rápida evaporação de água levando à fissuração	hidratação retardada do óxido de magnésio da cal levando à empolamento e desagregação do revestimento	crescimento de microorganismos (fungo e bolor) produzindo manchamento e desagregação devido à produção de ácidos orgânicos que atacam os aglomerantes (este é um problema típico de áreas úmidas)
	movimentação da base (alvenaria/estrutura) causando fissuração do revestimento	oxidação de impureza presente na areia (pirita) levando à formação de vesículas, manchamento e fissuração	
	movimentações de origem higratérmica podendo levar à fissuração, desagregação e descolamento dos revestimentos		

A identificação da fase de origem do problema (projeto, especificação de materiais, preparo, aplicação, etc.) permite o estabelecimento de metodologia de controle da qualidade e tomada de decisão, de modo a evitarem-se as manifestações patológicas.

O quadro 2.7 apresenta as principais manifestações patológicas de desempenho inadequado de revestimento de argamassa, podendo-se identificar as fases do processo em que se concentram as suas causas determinantes. Não foram consideradas as fissuras causadas pela ação de outros componentes do edifício sobre o revestimento (CINCOTTO, SILVA e CARASEK, 1995).

Quadro 2.7 – Manifestações patológicas dos revestimentos de argamassa (CINCOTTO, SILVA e CARASEK, 1995).

Manifestações	Aspectos observados	Causas prováveis atuando com ou sem simultaneidade	Fase de origem segundo as decisões tomadas
Eflorescência	Manchas de umidade. Pó branco acumulado sobre a superfície	Umidade constante. Sais solúveis presentes no componente da alvenaria. Sais solúveis presentes na água de amassamento ou umidade infiltrada. Cal não carbonatada	Projeto do edifício. Especificação dos materiais e componentes. Produção da argamassa. Execução em obra
Bolor	Manchas esverdeadas ou escuras. Revestimento em desagregação	Umidade constante. Área não exposta ao sol	Projeto do edifício. Execução em obra
Vesículas	Empolamento da pintura, apresentando-se as partes internas das ampolas na cor: branca, preta vermelho acastanhado	Hidratação retardada do óxido de cálcio da cal. Presença de pirita ou de matéria orgânica na areia. Presença de concreções ferruginosas na areia	Especificação dos materiais. Produção da argamassa. Execução em obra
	Bolhas contendo umidade no interior	Aplicação prematura de tinta impermeável. Infiltração de umidade	Execução em obra. Uso. Manutenção
Descolamento com empolamento	A superfície do reboco se desloca do emboço, formando bolhas, cujos diâmetros aumentam progressivamente. O reboco apresenta som cavo sob percussão	Hidratação retardada do óxido de magnésio da cal.	Especificação dos materiais. Produção da argamassa.

Quadro 2.7 - Manifestações patológicas dos revestimentos de argamassa (continuação).

Manifestações	Aspectos observados	Causas prováveis atuando com ou sem simultaneidade	Fase de origem segundo as decisões tomadas
Descolamento em placas	A placa apresenta-se endurecida, quebrando com dificuldade. Sob percussão o revestimento apresenta som cavo	A superfície de contato com a camada inferior apresenta placas frequentes de mica. Argamassa muito rica em cimento. Argamassa aplicada em camada muito espessa. Corrosão da armadura do concreto de base	Especificação dos materiais e componentes. Produção da argamassa. Execução em obra
	A placa apresenta-se endurecida, mas quebradiça desagregando-se com facilidade. Sob percussão o revestimento apresenta som cavo	A superfície da base é muito lisa. A superfície da base está impregnada com substância hidrófuga. Ausência da camada de chapisco.	
Descolamento com pulverulência	A película de tinta descola arrastando o reboco que se desagrega com facilidade. O reboco apresenta som cavo sob percussão. O revestimento em monocamada desagrega-se com facilidade	Argamassa magra. Ausência de camada de chapisco	Especificação dos materiais. Produção da argamassa. Execução em obra
	A película de tinta descola arrastando o reboco que se desagrega com facilidade. O reboco apresenta som cavo sob percussão. O revestimento em monocamada desagrega-se com facilidade	Excesso de finos no agregado. Argamassa magra. Argamassa rica em cal. Ausência de carbonatação da cal. Argamassa de reboco aplicada em camada muito espessa.	
Fissuras horizontais	Apresentam-se ao longo de toda a parede, com aberturas variáveis. Descolamento do revestimento em placas com som cavo sob percussão	Expansão da argamassa de assentamento por hidratação retardada do óxido de magnésio da cal. Expansão da argamassa de assentamento por reação cimento-sulfatos, ou devida à presença de argilo-minerais expansivos no agregado.	Especificação dos materiais. Produção da argamassa. Execução em obra
Fissuras mapeadas	Distribuem-se por toda superfície do revestimento em monocamada. Pode ocorrer descolamento do revestimento em placas, de fácil desagregação.	Retração da argamassa por excesso de finos de agregado. Cimento como único aglomerante. Água de amassamento	Especificação dos materiais. Produção da argamassa. Execução em obra
Fissuras geométricas	Acompanham o contorno do componente de alvenaria	Retração da argamassa de assentamento por excesso de cimento ou de finos de agregado. Movimentação higrotérmica do componente	Projeto do edifício. Especificação dos materiais e componentes. Produção da argamassa. Execução em obra

Na tabela anterior são enumerados diversos fatores que influenciam o desempenho dos revestimentos de argamassa. Outros aspectos que impactam o desempenho dos mesmos são citados por Sabbatini (2005). O autor faz um alerta sobre as mudanças significativas que ocorreram a partir de 1994 com a evolução dos métodos de cálculo, possibilitando a execução de estruturas mais esbeltas e, conseqüentemente, mais deformáveis. Mudanças na tecnologia permitiram desenvolver concretos com baixo teor de cimento e com teores de clínquer reduzidos podendo ocasionar problemas de deformações excessivas provocando fissuras em alvenarias e revestimentos. Outro fator importante foi o custo de produção, que passou a ser bastante considerado, levando à racionalização dos insumos e do tempo de construção. As estruturas e alvenarias, após a aplicação dos conceitos de racionalização, passaram a ser executadas com maior precisão dimensional com conseqüente redução das espessuras dos revestimentos.

Diante deste contexto, pretende-se com este capítulo ampliar a análise e o estudo sobre os tipos de manifestações de desempenho inadequado dos revestimentos, chamando a atenção para os principais fatores que influenciam o surgimento de manifestações patológicas, seja na seleção dos materiais, na etapa de preparo da argamassa ou no período após a sua aplicação.

Neste trabalho não serão abordadas patologias nos revestimentos de argamassa provocadas por tensões originadas por atuação de sobrecarga ou concentração de tensões, por recalques de fundação, resultantes de deformação excessiva da estrutura de concreto armado ou por movimentações térmicas de peças estruturais. A abordagem será realizada no âmbito das patologias originadas pela especificação dos materiais e pelo processo construtivo das argamassas, passando pelo projeto, técnicas de preparo de base e execução dos revestimentos. Serão enfatizados os mecanismos de retração, as alterações químicas das argamassas, as falhas devido a movimentações higrotérmicas e as patologias originadas por processos biológicos, principalmente os relacionados às áreas úmidas.

2.7.1 Falhas decorrentes dos mecanismos de retração

A retração das argamassas é determinante para o aparecimento e desenvolvimento de fendas e fissuras. Esta propriedade não se constitui apenas num problema estético dos rebocos, pois a fissuração facilita a infiltração de água e penetração de agentes agressivos que vão acelerar os processos de degradação. No caso dos rebocos pode-se dizer que as tensões de tração inerentes à retração conduzem à fissuração do revestimento, enquanto que as de corte dão origem a perdas de aderência entre o reboco e o suporte, podendo provocar o seu destacamento (AGOSTINHO, 2008).

Segundo Veiga (2003) os rebocos, como todas as argamassas, sofrem variações dimensionais por retração desde o momento em que são aplicados até a estabilização, que se admite ocorrer, em termos médios, em idade próxima dos 28 dias. Essas variações, provocadas por um conjunto de fenômenos físico-químicos ao nível da fase evolutiva da argamassa (a matriz de ligante) são restringidas pela fase estável (os inertes) e, principalmente, pelo suporte, geralmente muito mais rígido, ao qual o revestimento está aderente.

Para o autor a fissuração ocorre, não simplesmente por retração, mas por retração restringida, já que não é a deformação que provoca a ruptura, mas sim as tensões geradas pela restrição, total ou parcial, da deformação. Com efeito, a restrição da retração do reboco pelo suporte, geralmente mais rígido, dá origem a tensões, em parte de tração e em parte de corte, no plano de aderência. Tanto as tensões de tração quanto as de corte podem ocorrer em simultâneo. Uma aderência forte e uniforme favorece a distribuição das tensões de corte, que podem absorver a totalidade das tensões geradas pela retração.

Neste sentido, Carasek *et al.* (2001) afirma que além da resistência de aderência da argamassa ao substrato e de uma suficiente extensão da aderência, é essencial também existir a durabilidade desta aderência, a qual começa com o endurecimento inicial da

argamassa e continua ao longo da vida útil do revestimento. Caso ocorram fissuras durante ou após o endurecimento da argamassa, a aderência da mesma poderá ficar comprometida.

A fissuração por retração restringida é facilmente identificável pelo aspecto de rede ou mapa de fendas. Entretanto estas fendas não têm, por norma, direção definida e vão abrindo, sucessivamente, à medida que se atingem tensões idênticas à resistência do material, segundo direções aproximadamente perpendiculares, formando um padrão poligonal de malha mais ou menos larga. A malha é tanto mais larga e as fendas são tanto mais abertas e profundas quanto mais rígido for o revestimento e mais espessa a camada. (VEIGA, 2003).

As afirmações de Veiga confirmam as de Thomaz (1989) quanto ao aspecto das fissuras, para este as fissuras desenvolvidas por retração das argamassas de revestimento apresentam distribuição uniforme com linhas mapeadas que se cruzam formando ângulos bastante próximos de 90°. Segundo Bauer (1994) as fissuras de retração hidráulica em geral não são visíveis a não ser que sejam molhadas, e a água penetrando por capilaridade assinala sua trajetória. A abertura das fissuras é proporcional à espessura da camada do revestimento fissurado.

Para Thomaz (1989) existem três formas de retração que ocorrem num produto preparado com cimento:

- retração química entre o cimento e a água em que, devido às grandes forças interiores de coesão, a água combinada quimicamente (22 a 32%) sofre uma contração de cerca de 25% de seu volume original;
- retração por secagem em que a quantidade de água excedente, empregada na preparação do concreto ou argamassa, permanece livre no interior da massa evaporando-se posteriormente.
- retração por carbonatação em que a cal hidratada liberada nas reações de hidratação do cimento reage com o gás carbônico presente no ar, formando carbonato de cálcio. Esta reação é acompanhada de uma redução de volume.

O autor explica que as fissuras, que ocorrem no revestimento argamassado quando fresco (retração química), são provocadas pela redução de volume da argamassa. Na fase de endurecimento (retração por secagem), as fissuras são decorrentes da evaporação da água, que gera forças capilares equivalentes às de uma compressão, produzindo sua diminuição de volume e conseqüentemente provocando as fissuras.

Fioritto (1994) confirma as explicações de Thomaz:

“O endurecimento das argamassas é acompanhado por uma diminuição de volume, quer devido à perda de água evaporável, quer devido às reações de hidratação. Mesmo após a secagem, e com mais de quatro meses de idade, é possível notar variações dimensionais em função do grau higrométrico do ambiente.”

Segundo Josiel (1975), Thomaz (1989) e Bauer (1994) os diversos fatores que interferem na retração dos produtos a base de cimento, são:

- composição química e finura do cimento – a retração aumenta com a finura do cimento e com o seu conteúdo de cloretos (Ca Cl_2) e álcalis (NaOH, KOH);
- quantidade de cimento adicionada à mistura – quanto maior o consumo de cimento, maior a retração;
- natureza do agregado - quanto maior o poder de absorção de água, maior a retração;
- granulometria do agregado – quanto maior a finura dos agregados, maior será a quantidade necessária de pasta de cimento para recobri-lo e, portanto, maior a retração de secagem;
- quantidade de água na mistura – quanto maior a relação água/cimento, maior a retração de secagem;
- condições de cura – se a evaporação da água iniciar-se antes do término da pega do aglomerante, isto é, antes de começarem os primeiros enlaces entre os cristais desenvolvidos com a hidratação, a retração poderá ser acentuadamente aumentada.

Segundo Thomaz (1989) dentre os fatores citados, a relação água/cimento é o que mais influencia a retração de um produto constituído por cimento. Em função da trabalhabilidade

necessária, os concretos e argamassas normalmente são preparados com água em excesso, o que vem acentuar a retração.

A retirada excessiva de água das argamassas nas primeiras horas, pela sucção elevada do substrato, pode conduzir à formação de microfissuras na interface devido à retração plástica, que por sua vez diminui a aderência. Esta sucção por capilaridade de substratos, com alta absorção de água, pode ser reduzida pelo molhamento ou pré-umedecimento (LAWRENCE E CAO, 1987 apud CARASEK *et al.*, 2001).

Nas argamassas ricas ou muito ricas há notável influência da retração, conseqüentemente, essas argamassas estarão mais sujeitas a tensões de tração que causarão trincas e possíveis descolamentos de sua camada suporte à medida que sua espessura cresce (FIORITTO, 1994; JOISEL, 1965).

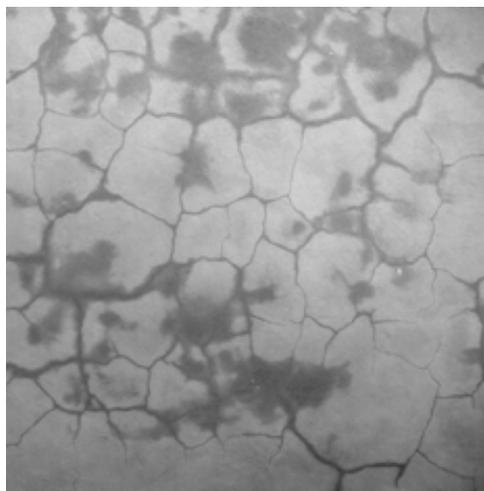


Figura 2.19 - Fissuração decorrente de retração da argamassa (SILVA e ABRANTES, 2007).

2.7.2 Falhas decorrentes de movimentações higrotérmicas dos elementos de construção

2.7.2.1 Falhas causadas por movimentações térmicas

Todos os materiais empregados nas construções estão sujeitos a dilatações com o aumento de temperatura, e a contrações com a sua diminuição. A intensidade desta variação dimensional, para uma dada variação de temperatura, varia de material para material.

As fissuras em argamassas de revestimento, provocadas por movimentações térmicas das paredes, irão depender, sobretudo, do módulo de deformação da argamassa, sendo desejável que a capacidade de deformação do revestimento supere a capacidade de deformação da parede propriamente dita. As fissuras induzidas por movimentações térmicas no revestimento geralmente são regularmente distribuídas e com aberturas bastante reduzidas, assemelhando-se às fissuras provocadas por retração de secagem. Fissuras com aberturas maiores poderão aparecer nos encontros entre paredes ou em outras junções (THOMAZ 1989).

A movimentação térmica ocorre devido às oscilações da temperatura ambiente e à radiação solar incidente sobre os revestimentos externos e caracteriza-se por variações dimensionais, cuja intensidade e amplitude dependem do coeficiente de dilatação térmica da argamassa, das variações de umidade relativa do ambiente e da ação de forças externas como a aderência à base, por exemplo. As tensões geradas pelas movimentações térmicas podem ser de compressão ou tração, conforme o movimento seja de expansão ou de retração (CINCOTTO, SILVA e CARASEK, 1995).

Dentre os esforços mecânicos sofridos pelas argamassas estão os esforços cíclicos de cisalhamento na interface devido à movimentação diferencial entre a argamassa de revestimento e a base. Estes esforços cíclicos têm como origem molhamento e secagem das argamassas ancoradas em uma base que não se deforma, gradientes térmicos entre a base e o revestimento, deformações do edifício por cargas de vento, entre outros. São estes

esforços cíclicos que provocam danos progressivos – propagação de microfissuras - na argamassa, na base e especialmente na interface entre a argamassa e a base, reduzindo progressivamente a resistência ao cisalhamento e a aderência. No longo prazo este tipo de esforço vai provocar o descolamento de partes das argamassas, significando inclusive risco aos usuários ou mesmo a desagregação da camada de argamassas. Estes descolamentos ocorrem especialmente no topo de edifícios, onde as movimentações higrotérmicas são máximas, e em locais de concentração de tensão (JOHN, 2003).

Segundo o autor o número de ciclos de tensão que um revestimento externo é submetido durante sua vida útil é muito grande. Existe um ciclo diário de temperatura: argamassa está mais quente que a base quando recebe a radiação solar durante o período diurno e mais fria que a base durante a noite quando perde calor por radiação. E a cada evento de chuva, ocorre um ciclo de molhamento e secagem. Certamente durante os 50 anos de vida útil o número de ciclos de carga significativos está na casa dos milhares. A magnitude das tensões de cisalhamento na interface vai ser dada pelo módulo de elasticidade do revestimento de argamassa e pela espessura da camada. Quanto maior o módulo de elasticidade, maior será o esforço que a interface deverá suportar para um mesmo nível de deformação. Assim, a argamassa de revestimento ideal deve apresentar módulo de elasticidade muito baixo.

2.7.2.2 Falhas causadas por movimentações higroscópicas

Entre as solicitações a que pode estar sujeita a argamassa endurecida, destacam-se as solicitações devidas às movimentações higroscópicas tanto no próprio revestimento, quanto na base. A movimentação higroscópica origina-se no deslocamento da água ou da umidade no interior dos materiais, o qual ocorre por meio de difusão, por forças externas (penetração de água nas superfícies) e por capilaridade, resulta na variação dimensional dos materiais, componentes ou elementos. Essa variação dimensional provém da variação no teor de umidade que pode ter origem na umidade ascensional do solo; umidade de infiltração;

umidade de condensação superficial ou interna e umidade acidental. Podem ocorrer, ainda, movimentos higroscópicos diferenciados entre as várias camadas (reboco, chapisco e base) gerando tensões de cisalhamento nas interfaces. A resistência mecânica e a elasticidade da argamassa condicionam seu comportamento quando sujeitas a essas solicitações podendo, quando não suficientes para respondê-las, determinar o aparecimento de fissuras e a desagregação, que comprometem a durabilidade (CINCOTTO, SILVA e CARASEK, 1995).

As mudanças higroscópicas provocam variações dimensionais nos materiais porosos que integram os componentes da edificação. O aumento do teor de umidade produz uma expansão do material enquanto que a diminuição desse teor provoca uma contração. Havendo vínculos que impeçam ou restrinjam essas movimentações poderão ocorrer fissuras nos elementos ou componentes do sistema construtivo (THOMAZ, 1989).

Segundo o autor as trincas causadas por umidade nos materiais de construção são muito semelhantes àquelas provocadas pelas variações de temperatura. As aberturas poderão variar em função das propriedades higrotérmicas dos materiais e das amplitudes de variação da temperatura ou da umidade. Os ciclos de umedecimento e secagem de argamassas de revestimento, associados às próprias movimentações térmicas do revestimento provocam, inicialmente, microfissuras na argamassa. Através destas poderá haver penetrações de água cada vez maiores, acentuando-se progressivamente as movimentações e a conseqüente incidência de fissuras no revestimento. A fissuração dos revestimentos em argamassa será mais acentuada em regiões onde ocorra maior incidência de água. Os peitoris, as saliências e outros elementos arquitetônicos inseridos na fachada devem interromper o fluxo de água que escorre pela parede evitando problemas de infiltração de água em regiões localizadas da fachada.

A quantidade de água absorvida por um material de construção está relacionada diretamente com a porosidade aberta e, principalmente, com a capilaridade. Essa força de sucção, provocada pelo efeito da capilaridade, é inversamente proporcional à espessura dos

poros abertos, dessa maneira, quanto menor a espessura dos poros, maior será o poder de sucção. O material, ao ter seus poros totalmente preenchidos com água, aumenta de volume, diminuindo à medida que perde água por evaporação (THOMAZ, 1989). O resultado desta expansão e contração por higroscopicidade pode provocar a fadiga do material desenvolvendo fissuras semelhantes às decorrentes de variação de temperatura como mostra a figura 2.20.



Figura 2.20 - O fluxo de água interceptado do peitoril da janela escorre lateralmente, provocando a fadiga do reboco desenvolvendo sua fissuração (THOMAZ, 1989).

2.7.3 Alterações químicas das argamassas

Os materiais de construção são suscetíveis de deterioração pela ação de substâncias químicas que reagem com as de seus componentes. Podem ser citadas as substâncias ácidas, álcoois e sais solúveis, entre outras. Dentre as deteriorações que se manifestam nos materiais da construção civil estão os ataques por sais (THOMAZ, 1989).

O autor explica que uma cal bem hidratada praticamente não apresenta óxidos livres de cal e magnésio. Entretanto as cales mal hidratadas podem apresentar teores bastante elevados desses óxidos, que sempre estarão ávidos por água. No caso de confecção de argamassa com cales mal hidratadas, se por qualquer motivo ocorrer sua umidificação, ao longo de sua vida útil, haverá a tendência de que os óxidos livres venham a hidratar-se, apresentando um aumento do volume de aproximadamente 100%.

Em argamassas de assentamento a expansão pode causar fissuras horizontais no revestimento, acompanhando as juntas de assentamento da alvenaria (figura 2.21). Nas argamassas de revestimento os danos, causados pela hidratação retardada das cales, podem ser generalizados provocando fissuras, descolamento, desagregações e pulverulências. Em locais com a presença de grânulos isolados de óxidos ativos, a expansão e a posterior desagregação do óxido resultarão em pequenos buracos no revestimento.

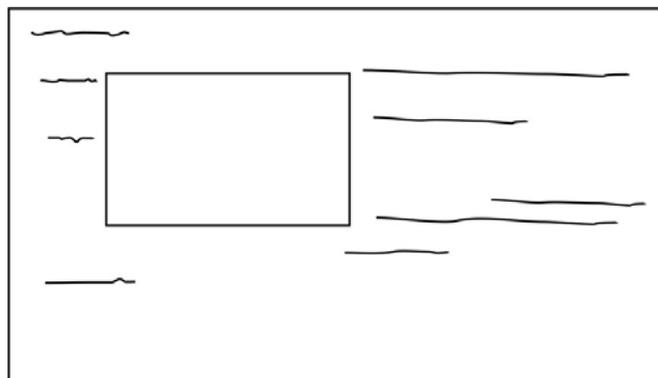


Figura 2.21 - Fissuras horizontais no revestimento provocadas pela expansão da argamassa de assentamento (THOMAZ, 1989).

Bauer (1994) confirma as informações sobre as alterações provocadas pelo uso de cal, sem a completa hidratação: “A cal livre ou não hidratada existente no revestimento por ocasião

da sua execução, irá se extinguir depois de aplicada, aumentando de volume e conseqüentemente causando expansão do revestimento”.

Os descolamentos ocorrem de modo a separar uma ou mais camadas dos revestimentos argamassados e apresentam extensão que varia desde áreas restritas até dimensões que abrangem a totalidade de uma alvenaria. Podem se manifestar com empolamento em placas, ou com pulverulência. Os sinais de pulverulência mais observados são a desagregação e esfarelamento da argamassa ao ser pressionada manualmente.

Outro fator apontado por Bauer (1994), como causa de pulverulência, corresponde ao tempo insuficiente de carbonatação da cal existente na argamassa, principalmente quando se aplica a pintura sobre o revestimento em intervalo inferior a 30 dias. Por ser o endurecimento resultante da carbonatação da cal, a resistência da argamassa é função de condições adequadas à penetração do CO₂ do ar através de toda a espessura da camada.

Outras causas para o descolamento com pulverulência, segundo esse mesmo autor, seriam:

- pintura executada antes de ocorrer a carbonatação da cal da argamassa;
- emprego de adições substitutas da cal hidratada, sem propriedades de aglomerante;
- hidratação inadequada da fração cimento da argamassa;
- argamassa mal proporcionada (pobre em aglomerantes);
- argamassa utilizada após prazo de utilização (tempo de pega do cimento);
- tempo de estocagem ou estocagem inadequada comprometendo a qualidade da argamassa;
- emprego de argamassa contendo cimento e adição de gesso, o que ocasiona uma reação expansiva pela formação de etringita.

As vesículas decorrentes da cal não hidratada podem surgir em pontos localizados, que expandem, destacam a pintura e deixam o reboco aparente. A presença de matérias orgânicas como húmus ou outros materiais vegetais, na areia, prejudica a união entre a pasta de cimento e o agregado. Torrões de argila dispersos na argamassa manifestam aumento de volume, quando úmidos, e por secagem voltam à dimensão inicial. A

argamassa junto ao torrão se dilata e se contrai em função do grau de umidade, desagregando-se gradativamente e originando o aparecimento de vesículas (BAUER,1994).

Segundo o autor as principais causas do aparecimento das vesículas nos revestimentos argamassados, caracterizadas pela variação volumétrica do mesmo, são:

- a existência de matérias orgânicas nos agregados;
- torrões de argila dispersos na argamassa;
- a presença de pedras de cal parcialmente extintas;
- outras impurezas como mica, pirita e torrões ferruginosos.



Figura 2.22 - Vesícula formada no reboco, no centro pode ser observada a presença de torrão de argila – prédio “C” do estudo de caso



Figura 2.23 - Vesículas formadas no reboco - prédio “C” do estudo de caso

No caso das alterações provocadas por sulfatos, Thomaz (1989) alerta que o aluminato tricálcico do cimento pode reagir com sulfatos em solução formando um composto denominado sulfoaluminato tricálcico ou etringita, sendo que esta reação é acompanhada de grande expansão. Para que esta reação ocorra, é necessária a presença de cimento, de água e de sulfatos solúveis. Por este motivo a utilização conjunta de cimento e gesso é potencialmente perigosa.

Os sulfatos poderão provir de diversas fontes, como o solo, águas contaminadas ou mesmo componentes cerâmicos constituídos por argilas com altos teores de sais solúveis. A água poderá ter acesso aos componentes através de diferentes formas: pela penetração de água de chuva em superfícies mal impermeabilizadas ou pela própria absorção da umidade resultante da ocupação da edificação.

Segundo o autor no caso de alvenarias revestidas, as trincas serão semelhantes àquelas que ocorrem pela retração da argamassa de revestimento. Diferem das primeiras, entretanto, em três aspectos fundamentais: apresentam aberturas mais pronunciadas, acompanham aproximadamente as juntas de assentamento horizontais e verticais e aparecem quase

sempre acompanhadas de eflorescências. A figura 2.24 representa o esquema das fissuras provocadas por ataques de sulfato.

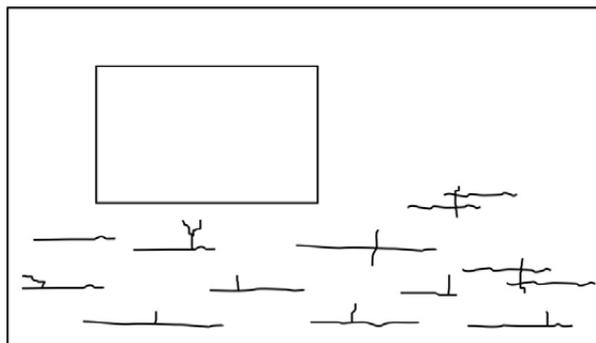


Figura 2.24 - Fissuras na argamassa de revestimento provenientes do ataque por sulfatos (THOMAZ, 1989)

Para Guimarães (2002) eflorescências são depósitos brancos, pulverulentos, geralmente solúveis em água. As eflorescências são compostas de carbonatos (cálcio e magnésio), hidróxido de cálcio, sulfatos (cálcio ou magnésio ou potássio ou sódio), cloretos (cálcio ou magnésio) e nitratos (potássio ou sódio ou amônio). Três fatores de igual importância são as causas desta patologia:

- teor de sais solúveis nos materiais ou componentes (tijolos, materiais cerâmicos, cimento Portland, água de amassamento, agregados, materiais da poluição);
- presença de água para dissolver e carrear os sais solúveis até a superfície do revestimento;
- pressão hidrostática para propiciar a migração da solução para a superfície.

A água em geral é proveniente da umidade do solo; da água de chuva, infiltrada através das alvenarias, aberturas ou fissuras; de vazamentos de tubulações de água, esgoto ou águas pluviais; pode ser originária da fase de execução das diversas camadas do revestimento (água do amassamento) ou da água utilizada na limpeza ou de uso constante em

determinados locais. O transporte de água através dos materiais e a consequente cristalização dos sais solúveis na superfície ocorrem por capilaridade, infiltração em trincas e fissuras, percolação sob o efeito da gravidade, percolação sob pressão por vazamentos de tubulações de água ou de vapor, pela condensação de vapor de água dentro de paredes, ou pelo efeito combinado de duas ou mais dessas causas (BAUER, 1994).

Segundo Fiorito (1994), o quadro patológico da eflorescência tem como elemento determinante a presença e a ação dissolvente da água. O autor explica que no interior do concreto, argamassas, ou materiais cerâmicos existem cavidades, vazios, bolhas, poros abertos e fechados, bem como uma rede de canais de reduzidas e variadas dimensões. A origem de tais espaços vazios é em parte devida à água usada no preparo para comunicar à massa uma trabalhabilidade desejável, além da água necessária às reações de hidratação no caso da argamassa e do concreto. A operação de amassamento também é responsável pela inclusão de ar e consequente aparecimento de espaços vazios. Um fluxo de quantidade apreciável de água pode ocorrer no interior destes materiais, ou por capilaridade (propriedade de absorção), ou por pressão (propriedade de permeabilidade). A passagem da água provocada pela absorção ou facilitada por uma maior permeabilidade, ou pela soma dos dois fatores, poderá introduzir substâncias agressivas do solo na rede capilar do concreto e argamassa, ou dissolver e transportar certos sais solúveis que podem estar presentes no concreto ou na argamassa. Trazidos à superfície, tais sais podem se apresentar como depósitos esbranquiçados nos poros abertos mais superficiais e na superfície do revestimento, caso as condições ambientais proporcionarem excelente evaporação.

Este fenômeno pode ser dividido em eflorescência e criptoflorescência, conforme o local de cristalização dos sais, no entanto, genericamente este problema é chamado de eflorescência. No caso de haver uma rede de capilares bem formada na argamassa endurecida, quantidade de água suficiente para levar os sais e condição de evaporação moderada, os sais irão se cristalizar na superfície do revestimento, sendo o fenômeno denominado de eflorescência. No caso da criptoflorescência os poros capilares não estão bem conectados formando uma rede, existe pouca água ou ainda a evaporação é muito intensa, levando, desta forma, os

sais a se precipitarem a uma certa distância da superfície. O depósito destes sais exerce pressão devido à hidratação e cristalização dos mesmos produzindo a desagregação da argamassa. Se estes sais cristalizarem na região de interface argamassa-substrato, o fenômeno pode causar o descolamento da camada de revestimento (SOUZA, 1997; CARASEK, 2007).

A elevada solubilidade de alguns sais é responsável pela facilidade com que são transportados pela água e percolam pelos materiais, sendo os mecanismos de cristalização e dissolução processos complexos e difíceis de controlar. Face às alterações de temperatura, umidade ou devido à evaporação da água, os sais podem cristalizar e, muitas vezes, esta mudança de estado é acompanhada de aumento de volume e do desenvolvimento de tensões internas no interior dos materiais, que muitas vezes são responsáveis pela sua degradação. Caso a umidade relativa do ar permita, estes sais depois de cristalizarem podem voltar a dissolver-se. A hidratação dos cristais origina um aumento de volume ou alteração na forma dos mesmos, que também é responsável pelo desenvolvimento de tensões internas nos materiais (AGOSTINHO, 2008).

Segundo a mesma autora, na presença de sais solúveis, o mecanismo de degradação por cristalização de sais é constituído por ciclos de cristalização e dissolução. As situações que favorecem estes ciclos podem ter diversas origens, nomeadamente dependem da natureza e concentração dos sais, da microestrutura do material, das condições de evaporação e, fundamentalmente, do teor de umidade. A degradação manifesta-se especialmente quando a cristalização ocorre na forma anidra ou num estado de hidratação fraco, manifestando-se com frequência à superfície dos materiais através da formação de eflorescências. Esta degradação também se pode manifestar através da formação de criptoflorescências. À medida que a degradação das camadas superficiais avança e se desenvolve para o interior, regista-se a perda de material geralmente sob a forma pulverulenta. É com base nesta constatação que os materiais de revestimento têm especial importância na proteção das construções face à ação dos sais (AGOSTINHO, 2008).

Segundo Uemoto (1988), os depósitos salinos na superfície de alvenarias e revestimentos, em grande parte são alcalinos (sódio e potássio) ou alcalinos terrosos (cálcio e magnésio), provenientes da migração de sais solúveis presentes nos materiais de revestimento ou componentes da alvenaria. O autor classifica as eflorescências em três tipos:

- **Tipo I** - Tipo mais comum caracteriza-se por um depósito de sal branco, pulverulento, muito solúvel em água. Pode apresentar-se na forma de um véu, aparecer em superfícies de alvenaria aparente (tijolos cerâmicos) ou revestida com argamassa, em juntas de assentamentos, em regiões próximas a caixilhos mal vedados, em ladrilhos cerâmicos, em juntas de ladrilhos cerâmicos e azulejos. Se o acúmulo de sal se der na interface alvenaria/pintura a película de pintura poderá se destacar. Os sais, neste caso, são frequentemente sulfatos de sódio e de potássio e, com menor incidência, sulfato de cálcio e de magnésio, carbonatos de sódio e de potássio. Estes sais podem ser provenientes de tijolos, de cimentos, da reação química entre os compostos do tijolo com o cimento, da água utilizada no amassamento, dos agregados, e de substâncias contidas em solos adensados ou contaminados por produtos químicos e da poluição atmosférica.



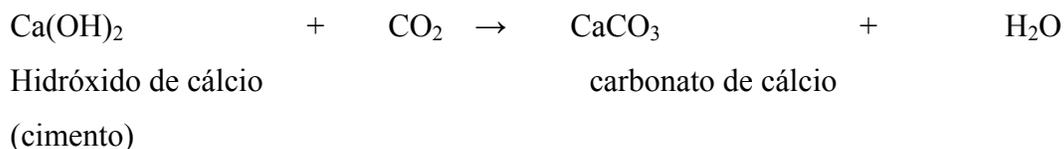
Figura 2.25 - Eflorescência na laje de cobertura do *hall* de entrada – prédio “A” do estudo de caso



Figura 2.26 - Eflorescência no revestimento interno do Fórum de Leopoldina

• **Tipo II** - Tipo menos comum caracteriza-se por um depósito de cor branca com aspecto de escorrimento, muito aderente e pouco solúvel em água que em contato com ácido clorídrico apresenta efervescência. Estes sais geralmente formam-se em regiões próximas a elementos de concreto ou sobre sua superfície e, às vezes, sobre superfícies de alvenaria.

Este sal é basicamente carbonato de cálcio, formado por meio da reação:



Na hidratação do cimento há liberação de cal; esta, em presença da água proveniente de chuvas ou de infiltração de umidade, dissolve-se e deposita-se na superfície das fachadas. Na evaporação da água, em presença do anidrido carbônico do ar, esta cal transforma-se em carbonato de cálcio, um composto pouco solúvel em água.

Nos casos de utilização de argamassas mistas de cimento e cal, onde existe um elevado teor de cal não hidratada, esta cal em contato com água, também será dissolvida e se deposita sobre a superfície, carbonatando-se. Neste caso, de modo geral, não existe perigo à

estabilidade da alvenaria, os depósitos brancos formados, apenas apresentam um efeito estético negativo e são difíceis de serem eliminados.



Figura 2.27 - Eflorescência – cristalização dos sais solúveis na superfície da argamassa de revestimento no prédio “L” do estudo de caso

• **Tipo III** - manifesta-se como um depósito de sal entre juntas de alvenaria aparente, que se apresentem fissuradas por efeito de expansão da argamassa de assentamento. Este tipo de eflorescência não é muito freqüente.

Os sais solúveis do cimento agem como fonte de eflorescência. Cimentos que contenham elevado teor de álcalis (Na_2O e K_2O) na sua hidratação podem transformar-se em carbonato de sódio e potássio, muito solúveis em água. Outra situação possível é a reação entre o cimento da argamassa que contém hidróxidos alcalinos e os tijolos (sulfato de cálcio), resultando em sulfatos de sódio e de potássio. Segundo Bauer (1994) os sais mais comuns em eflorescências, as fontes de seu aparecimento e a sua solubilidade em água são indicados no quadro 2.8.

Quadro 2.8 - Natureza química das eflorações (BAUER, 1994)

Composição Química	Fonte Provável	Solubilidade em água
Carbonato de cálcio	Carbonatação da cal lixiviada da argamassa ou concreto e de argamassa de cal não carbonatada	Pouco solúvel
Carbonato de magnésio	Carbonatação da cal lixiviada de argamassa de cal não carbonatada	Pouco solúvel
Carbonato de potássio	Carbonatação dos hidróxidos alcalinos de cimentos com elevado teor de álcalis	Muito solúvel
Carbonato de sódio	Carbonatação dos hidróxidos alcalinos de cimentos com elevado teor de álcalis	Muito solúvel
Hidróxido de cálcio	Cal liberada na hidratação do cimento	Solúvel
Sulfato de magnésio	Tijolo, água de amassamento	Solúvel
Sulfato de cálcio	Tijolo, água de amassamento	Parcialmente solúvel
Sulfato de potássio	Reação tijolo-cimento, agregados, água de amassamento	Muito solúvel
Sulfato de sódio	Reação tijolo-cimento, agregados, água de amassamento	Muito solúvel
Cloreto de cálcio	Água de amassamento	Muito solúvel
Cloreto de magnésio	Água de amassamento	Muito solúvel
Nitrato de potássio	Solo adubado ou contaminado	Muito solúvel
Nitrato de sódio	Solo adubado ou contaminado	Muito solúvel
Nitrato de amônia	Solo adubado ou contaminado	Muito solúvel

2.7.4 Patologias com origens na especificação dos materiais e no processo construtivo das argamassas

O emprego de materiais inadequados, o desconhecimento de suas características e os erros de execução são algumas das principais causas das patologias nos revestimentos. A fissuração, por exemplo, é uma patologia que pode ser consideravelmente minimizada através de uma escolha criteriosa dos seus constituintes e respectivas dosagens, através de alguns cuidados de aplicação e de disposições construtivas adequadas. Diversas outras patologias estão relacionadas com falhas na especificação dos materiais e no processo construtivo, algumas são enumeradas a seguir.

A formação de vesículas pode ser detectada quando ocorre a presença de matéria orgânica na argamassa. O uso de areias naturais com a presença de impurezas tais como: aglomerados argilosos, pirita, mica, concreções ferruginosas e matéria orgânica, provoca danos ao revestimento. Pode ocorrer a expansão do revestimento resultante da formação de produtos de oxidação da pirita e das concreções ferruginosas – sulfatos e óxidos de ferro hidratados, respectivamente. Outro fator que pode provocar a expansão é a hidratação de argilo-minerais ou de matéria orgânica. A presença de torrões argilosos, com excesso de finos na areia ou de mica em quantidade apreciável pode provocar a desagregação do revestimento (CINCOTTO, 1988).

O cimento Portland é um material industrializado, com um bom controle de qualidade, tornando-o pouco responsável pelas manifestações patológicas observadas nos revestimentos de argamassa. Cimentos muito finos podem produzir maior retração plástica levando à formação de fissuras com configuração de mapa, as quais permitem a entrada de água, comprometendo a durabilidade dos revestimentos. Outra manifestação patológica atribuída ao cimento com elevados teores de álcalis (Na_2O e K_2O), porém com pouca incidência, é a formação de eflorescências. Durante a hidratação do cimento, esses óxidos, transformam-se em hidróxidos e, em contato com o CO_2 da atmosfera, transformam-se em carbonatos de sódio e potássio, altamente solúveis em água (CARASEK, 2007).

Segundo Joisel (1965) um dos fatores que provoca a perda de aderência é aplicação da argamassa sobre a base seca. Quando o suporte está seco a camada que está em contato direto com o mesmo pode sofrer uma rápida perda de água, perdendo sua plasticidade, e não penetrando, então, nos interstícios. É necessário molhar abundantemente o suporte antes da aplicação do revestimento, para que a argamassa conserve a plasticidade durante sua aplicação.

As deficiências de aderência devem-se, muitas vezes, a características desfavoráveis do suporte. Com efeito, se este for muito liso e compacto não há penetração da calda de cimento nos poros do suporte, não se desenvolvendo, portanto, o mecanismo normal de aderência e provando seu descolamento. O descolamento do revestimento caracteriza-se pela criação de uma descontinuidade entre o revestimento e o suporte, em zonas localizadas do paramento, detectável pelo som oco quando é percutido, que pode evoluir para a criação de convexidades (abaulamento) e para o desprendimento da parede - destacamento (VEIGA, 2003).

No caso das argamassas de cal, os principais fatores causadores de descolamentos são a má qualidade da cal e o preparo inadequado da pasta de cal. Argamassas mistas com excesso de cimento na composição também poderão apresentar problemas de descolamento. Os descolamentos podem se manifestar com empolamento em placas, ou com pulverulência. (BAUER, 1994).

Segundo Barros (2003) uma camada muito grossa de revestimento pode provocar o descolamento do revestimento, em função do peso próprio da argamassa, que gera uma força gravitacional maior do que a aderência com o substrato. Bauer (1994) afirma que argamassas de cimento e areia, ricas em aglomerantes, com espessuras superiores a 2cm, são passíveis de apresentar problemas, uma vez que gerarão, pela retração natural, tensões elevadas de tração entre a base e o revestimento, podendo ocorrer descolamentos. Quando a espessura do revestimento for superior a 4cm, recomenda-se a utilização de telas fixadas com pinos à base. Problemas na base ou substrato como deficiência de limpeza para

eliminação de pó e resíduos em bases de concreto, a presença de agentes desmoldantes, chapiscos executados com areia fina, ou a ausência de chapisco são fatores que comprometem a ligação mecânica da argamassa à base.

Segundo Bauer (1994) as principais causas dos descolamentos em placas são:

- preparação inadequada da base de concreto (presença de agentes desmoldantes, presença de pó e resíduos);
- molhagem deficiente da base, comprometendo a hidratação do cimento da argamassa;
- ausência de chapisco em certos casos;
- chapisco preparado com areia fina;
- argamassa em espessura excessiva;
- argamassas ricas em cimento;
- acabamento superficial inadequado de camada intermediária.

Uma situação que contribui para descolamento com pulverulência ou argamassa friável é a falta de molhagem da base, por ocasião da aplicação da argamassa, causando perda da água de amassamento, necessária para que ocorra a perfeita hidratação do aglomerante hidráulico (BAUER, 1994). Segundo o autor as principais causas da ocorrência desta patologia são:

- pintura executada antes de ocorrer a carbonatação da cal da argamassa;
- emprego de adições substitutas da cal hidratada, sem propriedades aglomerantes;
- hidratação inadequada da fração cimento da argamassa;
- argamassa mal proporcionada (pobre em aglomerante);
- argamassa utilizada após prazo de utilização (tempo de pega do cimento);
- tempo de estocagem ou estocagem inadequada, comprometendo a qualidade da argamassa;
- emprego de argamassa contendo cimento e adição de gesso (reação expansiva pela formação de etringita).



Figura 2.28 - Argamassa pulverulenta nos pontos empolados e facilmente removível, exposta a umidade ascendente - prédio “C” do estudo de caso



Figura 2.29 - Argamassa perde a coesão tornando-se pulverulenta - prédio “C” do estudo de caso



Figura 2.30 - Descolamento devido à pulverulência da argamassa - prédio “C” do estudo de caso

Para John (2003) argamassas com carência de aglomerantes podem ser produzidas utilizando plastificantes minerais inertes em excesso ou até mesmo incorporadores de ar. Estas argamassas, embora tenham bom desempenho no estado plástico, apresentam degradação precoce dos revestimentos com elas produzidos especialmente quando expostos à água. Este tipo de desagregação é visto frequentemente ao pé de paredes devido à infiltração capilar e em locais mais expostos a ciclos de molhamento e secagem.

O emprego de técnica de execução incorreta também pode provocar o aparecimento de fissuras no revestimento. Essa situação é comum quando o desempenho é realizado antes do tempo adequado, ou seja, quando a maior parte da água presente na argamassa tenha sido consumida, seja pelo processo de hidratação do cimento, seja pela absorção da base ou ainda por evaporação para o meio ambiente. Não só o despreparo da mão-de-obra pode ocasionar esse problema, como também, um consumo excessivo de água na argamassa, em decorrência da presença elevada de finos. Quando o teor de finos é elevado, o tempo para o desempenho pode ser maior, pois há um maior consumo de água. Nesse caso, muitas vezes a mão-de-obra, em função das condições de trabalho, não têm como esperar o tempo correto

para proceder o acabamento superficial. Por consequência, o revestimento endurecido apresentará um elevado volume de vazios, levando à ocorrência de fissuras na forma de mapas, decorrentes da retração da argamassa na secagem. O ato do desempeno com força suficiente e no tempo correto é importante, pois nessa fase é possível comprimir a pasta e aproximar os grãos, reduzindo o potencial de fissuração da argamassa (SILVA e ABRANTES, 2007).

Outro fator apontado pelos autores como causador de patologias nos revestimento é a inexistência de juntas de expansão/contração (vulgarmente conhecidas como “juntas de dilatação”). A falta de juntas nas paredes de alvenaria de extensão considerável conduz, frequentemente, a fenômenos de fissuração, esmagamento localizado e destacamento de revestimentos. Estas anomalias resultam do fato de haver movimentos naturais de expansão ou contração - resultantes de variações de teor de umidade ou temperatura - que estão total ou parcialmente impedidos, por ausência ou inadequação das referidas juntas. Estes movimentos, uma vez impedidos, vão equivaler, em termos de efeito mecânico, a uma deformação imposta e, conseqüentemente, a uma significativa tensão interna da alvenaria, com maior expressão, em geral, na direção horizontal. A situação é agravada se os materiais apresentarem movimentos irreversíveis significativos



Figura 2.31 - Destacamento de reboco rígido (SILVA e ABRANTES, 2007)

2.7.5 Deterioração das argamassas decorrentes de processos biológicos

Um dos maiores problemas na durabilidade dos edifícios é a umidade interna ou externa. Em ambos os casos quando a umidade no material é elevada o crescimento de fungos é favorecido. Os fungos são organismos heterotróficos (que necessitam de uma fonte orgânica de carbono), crescem em diferentes faixas de temperatura, necessitam de diferentes teores de umidade nos materiais, dependendo da espécie ou gênero e crescem notadamente em pH ácido (SHIRAKAWA, CINCOTTO E GAMBALE, 2009).

Alguns tipos de fungos conseguem crescer em temperaturas baixas, enquanto outros crescem a temperaturas mais elevadas, mas a maioria dos fungos cresce melhor em um intervalo de temperatura que varia de 25° C a 30° C. A umidade do ambiente pode favorecer o aumento de umidade do material, mas somente a água absorvida por este pode ser utilizada para o desenvolvimento dos fungos (SHIRAKAWA *et al.* 1995).

Os fungos filamentosos, conhecidos genericamente como bolores possuem estruturas tubulares ramificadas denominadas hifas, cuja função principal é a absorção de nutrientes. A reprodução geralmente ocorre por formação de esporos que se dispersam pelo ar. Os esporos ao encontrarem condições adequadas de nutrição e umidade em um substrato germinam formando hifas e dando origem a colônias, que, a olho nu, são observáveis pelo aparecimento do bolor (SHIRAKAWA, CINCOTTO E GAMBALE, 2009).

Acrescenta os autores que as argamassas têm alcalinidade elevada não sendo um meio favorável ao crescimento de fungos, mas ao se carbonatarem a alcalinidade é gradativamente neutralizada. Ao atingir um pH em torno de 9 o meio já pode ser favorável ao crescimento de fungos.

Nas fachadas de edifícios, o crescimento de fungos e outros organismos como algas, cianobactérias e líquens causam o aparecimento de manchas escuras na superfície com o favorecimento da deterioração de argamassas de revestimentos e pinturas. O acúmulo do

“bolor” ou “mofo” pode se manifestar com manchas escuras com cores de tonalidades pretas, marrons ou esverdeadas. Eventualmente aparecem manchas claras, esbranquiçadas, decorrentes de espécies mais raras. Além do prejuízo estético, o maior problema associado ao crescimento de fungos em ambientes internos é o desenvolvimento de alergias em indivíduos atópicos que frequentam estes ambientes (SHIRAKAWA *et al.* 1995).

As principais causas, segundo Shirakawa *et al.* (1995), extrínsecas ao material e que causam o aumento do teor de água disponível para o crescimento dos fungos, associadas às características do substrato (composição química e porosidade), são:

- umidade ascendente por capilaridade;
- umidade de infiltração por fachada ou telhado;
- umidade accidental (vazamento de água);
- umidade relativa do ar em torno de 80% ;
- umidade de condensação de vapores em ambientes fechados.

Além da umidade proveniente das diversas fontes descritas e nutrientes, que podem estar presentes no próprio material de construção, a temperatura é outro fator condicionante.



Figura 2.32 - Início do aparecimento de fungos no revestimento devido à umidade ascensional - prédio “M” do estudo de caso.



Figura 2.33 - Bolor abaixo do peitoril da janela - prédio “J” do estudo de caso.



Figura 2.34 - Bolor na fachada abaixo do chapim da platibanda - prédio “J” do estudo de caso.

2.7.6 Deterioração das argamassas decorrentes de umidade

Segundo Oliveira *et al.* (2005) levantamento realizado pelo IPT, em 2004, constatou que 58% dos problemas patológicos de edifícios com um a quatro anos de idade são relativos à umidade. A umidade pode ser classificada em função da sua origem em quatro tipos:

- umidade proveniente do solo, decorrente da ascensão capilar da água presente no terreno;
- umidade de infiltração decorrente da ação da água de chuva (infiltração por fissuras, caixilhos, revestimentos, juntas, entre outros);
- umidade de condensação, decorrente da condensação superficial ou no interior dos materiais de vapor de água;
- umidade acidental - decorrente de vazamentos em instalações hidráulicas ou de coleta de água da edificação, decorrente de falhas localizadas, dentre outras.

2.7.6.1 Umidade ascendente

Segundo Thomaz (1989) a água presente no solo poderá ascender por capilaridade à base da construção, desde que os diâmetros dos poros capilares e o nível do lençol d'água assim o permitam. Não havendo impermeabilização eficiente entre o solo e a base da construção, a umidade terá acesso aos seus componentes, podendo trazer sérios inconvenientes a pisos e paredes do andar térreo.

Os materiais de construção absorvem água na forma capilar quando estão em contato direto com a umidade, geralmente ocorrendo nas fachadas e em regiões que se encontram em contato com o terreno. A água é transportada pelos capilares, sendo importante a velocidade de absorção capilar e a altura de elevação. A altura de elevação capilar será tanto maior quanto menor for o raio do capilar, sendo que a velocidade de absorção segue a relação direta, ou seja, quanto maior o raio do capilar maior será a velocidade de absorção de água. Caso a água seja absorvida permanentemente pelo material de construção em

região em contato direto com o terreno, e não seja eliminada por ventilação, será transportada paulatinamente para cima através do sistema capilar (BAUER, 1994).

Segundo Silva e Abrantes (2007) para que o fenômeno ascensão capilar da água ocorra é necessário que se verifiquem, em simultâneo, três condições:

- a presença da água;
- a existência de materiais com porosidade capilar;
- possibilidade de comunicação entre a primeira e os segundos.

O fenômeno, segundo os autores, provoca as seguintes manifestações patológicas nos revestimentos:

- acumulação de sais visíveis na superfície da parede;
- degradação da tinta e dos revestimentos (rebocos ou estuques) numa faixa de altura variável, em geral, junto à base das paredes do piso térreo;
- manchas nos revestimentos interiores na faixa referida;
- descolamento de revestimentos.

2.7.6.2 Umidade de infiltração decorrente da ação da água de chuva

A absorção e a penetração da água da chuva nas edificações estão associadas à ação não só da chuva, mas também da combinação desta com o vento. Segundo Perez (1988), além desses dois fatores, a forma e a constituição dos materiais empregados vão determinar o fenômeno da capilaridade, da difusão e absorção de umidade e da ação da força de gravidade na penetração de água em frestas.

Segundo Barth (2001 apud Silva, 2007), além da pressão exercida pelo vento, a penetração da água pelas fachadas é decorrente da ação da gravidade, das tensões capilares e das cavidades e juntas que, quando abertas ou parcialmente abertas ao exterior, podem

propiciar a penetração de água para o interior da vedação, alcançando até a parte interna da edificação



Figura 2.35 - Deterioração do reboco devido à infiltração de água pela janela - prédio “M” do estudo de caso.



Figura 2.36 - Desagregação com descolamento do revestimento devido à infiltração de água na fachada - prédio “E” do estudo de caso.



Figura 2.37 - Desagregação com descolamento do revestimento devido à infiltração de água na fachada - prédio “E” do estudo de caso.

2.7.6.3 Umidade por condensação

Segundo Medeiros (1998) a condensação é mais crítica em países de clima frio onde as vedações das fachadas apresentam melhor desempenho e os sistemas de calefação são bastante utilizados. O autor explica que a quantidade de água que o ar pode conter é limitada e quando este limite é alcançado o ar é dito como saturado. O ponto de saturação varia de acordo com a temperatura, quanto maior a temperatura do ar, maior a massa de água em vapor que o mesmo pode conter. A razão entre a pressão de vapor de uma mistura qualquer de vapor de água e ar pela pressão de vapor de uma mistura saturada à mesma temperatura é chamada de umidade relativa (UR) e expressa em percentagem. A umidade relativa é associada à quantidade de vapor de água presente no ar que pode saturar à mesma temperatura. O fenômeno ocorre pela redução de capacidade de absorção de umidade pelo ar que é resfriado, precipitando-se.

Supondo que seja liberada, por exemplo, uma massa de vapor de água adicional em um ar atmosférico inicialmente a 20°C e com 80% de umidade relativa, e se mantiver a temperatura constante, a umidade relativa irá se elevar, podendo atingir a saturação (100% de umidade relativa). A partir dessa situação, qualquer excesso de vapor de água não poderá ficar contido no ar e irá se condensar. Por outro lado, se a quantidade de vapor de água contida no ar for mantida constante, mas a temperatura diminuir, a umidade relativa também irá aumentar e ocorrerá condensação se a temperatura for menor ou igual a 16,5°C. As fachadas são as mais prejudicadas por este fenômeno, pois geralmente possuem baixas temperaturas na manhã, podendo ocorrer a condensação da umidade do ar em sua superfície e em seus poros (SATO, 2002 apud SILVA, 2007).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Será apresentada a metodologia elaborada com o objetivo de orientar a coleta e a análise dos dados obtidos nas vistorias realizadas nos 15 prédios, objetos da amostra proposta para estudo.

A metodologia foi detalhada em etapas como se segue:

Etapa 1 – Critérios adotados para escolha do estudo de caso

O patrimônio das edificações do judiciário mineiro é constituído de aproximadamente 400 prédios com diversas idades, concepções arquitetônicas, áreas, implantações e orientações. Dentre as edificações foi estabelecido o universo das edificações construídas ou que sofreram expressivas ampliações nos últimos 15 anos, que corresponde a um total de 80 prédios. Deste universo, aleatoriamente, adotou-se a amostra de 15 prédios para o desenvolvimento do trabalho, a seleção dos mesmos foi orientada pelos seguintes critérios:

- localização – diversas cidades do estado de Minas Gerais;
- prédios de porte médio com no máximo 05 pavimentos construídos ou ampliados nos últimos 15 anos;
- prédios com existência de patologias nos revestimentos argamassados;
- a estrutura-suporte dos prédios é constituída de concreto armado.

Etapa 2- Coleta dos dados

As primeiras informações necessárias para a elaboração do trabalho foram obtidas através de inspeção visual e por levantamentos buscando dados sobre o histórico dos edifícios.

Foram também obtidos, quando previamente disponíveis, elementos considerados importantes, tais como: especificações técnicas, o memorial descritivo, projeto arquitetônico e sistemas de impermeabilização. Para o registro dos dados foi utilizada a seguinte sistematização:

- foram levantadas, no banco de dados do poder judiciário mineiro, as especificações técnicas contidas nos memoriais descritivos dos serviços de revestimentos argamassados;
- foi feita a caracterização das argamassas utilizadas nos revestimentos, buscando informações quanto ao tipo de argamassa utilizada, seus constituintes, traços e o tipo de chapisco especificado;
- foi identificado o sistema de impermeabilização adotado nas vigas de fundação;
- foram levantadas informações necessárias para a compreensão dos problemas patológicos ocorridos com os revestimentos;
- durante as vistorias foram registradas as patologias apresentadas pelos revestimentos de argamassa;
- foi levantada a idade de cada edificação.

Etapa 3- Análise dos dados coletados

Análise dos dados levantados na documentação técnica disponível da edificação bem como dos dados relativos às vistorias, compreendendo:

- o tipo de argamassa mais utilizada;
- a composição das argamassas;
- tipo de chapisco;
- a incidência das patologias;
- a origem das manifestações patológicas.

Etapa 4 – Proposição de soluções para reparo das patologias mais incidentes

- propostas para reparos das patologias com maior percentual de ocorrência.

4 RESULTADOS OBTIDOS

Neste capítulo são apresentados os dados coletados nas vistorias realizadas nos prédios públicos, pertencentes ao patrimônio do judiciário mineiro, objetos da amostra proposta para estudo. Os dados obtidos junto ao departamento de engenharia também fazem parte deste capítulo.

4.1 Dados das especificações técnicas, projetos ou memoriais descritivos

Foi realizado um levantamento, junto ao departamento de engenharia do poder judiciário, no caderno de especificações técnicas e memorial descritivo dos serviços de cada edificação. Quanto ao projeto de revestimento de fachadas não consta no cadastro de nenhum dos prédios objetos do estudo.

Segundo os documentos pesquisados destacam-se as seguintes especificações:

- as argamassas indicadas para execução dos revestimentos internos e externos são mistas compostas de cimento, cal e areia, devendo ser realizadas em duas etapas. A primeira consta de mistura intermediária de cal, areia e parte da água, que deverá permanecer em repouso por 24 horas para a maturação da cal.
- quanto à espessura do revestimento, consta no caderno de alguns prédios que a espessura não deve ultrapassar 2,0 cm.
- as alvenarias são executadas com bloco cerâmico furado.
- o sistema de impermeabilização indicado para as vigas de fundação é a emulsão betuminosa, à base de elastômero, com consumo mínimo de 2,0 Kg/m². A indicação é que a aplicação seja feita nas cintas, antes reaterro e elevação das alvenarias, nas faces laterais com altura de 20cm e em toda extensão da face superior.
- as idades dos prédios constam nas fichas de vistorias inseridas nos Anexos deste trabalho.

As informações obtidas, nos cadernos de especificação, sobre as argamassas estão em destaque na tabela 4.1.

Tabela 4.1 - Caracterização das argamassas utilizadas nos revestimentos dos prédios em estudo

Prédios	Revestimento externo		Revestimento Interno		Chapisco		
	tipo de argamassa	traço	tipo de argamassa	traço	tipo	traço	com aditivo para promover a aderência em estrutura de concreto
A, C , G, J, L, M, N,	preparada em obra	1:2:5	preparada em obra	1:2:5	preparada em obra	1:3	Sim
B, D, E, F, H, I	preparada em obra	1:2:8	preparada em obra	1:2:8	preparada em obra	1:3	Sim
K	granilite		preparada em obra	1:2:5	preparada em obra	1:3	Sim
O	quartzito		preparada em obra	1:2:5	preparada em obra	1:3	Sim

4.2 Registro das principais patologias

Foram elaboradas fichas específicas para cadastramento dos dados de cada edificação vistoriada contemplando o tipo de problema ou manifestação patológica, contendo campos para os dados inerentes ao problema ou à manifestação cadastrada, alteração visual ou indicadores de deterioração, causas mais prováveis e informações complementares necessárias à perfeita caracterização do problema. As fichas completas constam dos Anexos desta dissertação.

Um extenso registro fotográfico das patologias foi realizado para complementar a documentação e servir para esclarecimento de eventuais dúvidas durante o procedimento de

análise. São inseridas nesta dissertação algumas fotografias como forma de evidenciar as manifestações patológicas encontrados.

A seguir são listados os quadros com as patologias identificadas em cada prédio componente da amostra, bem como algumas fotografias das manifestações patológicas.

No quadro a seguir são apresentadas as patologias com as respectivas configurações identificadas no prédio “A”.

Quadro 4.1 - Patologias identificadas no prédio “A”

Prédio A			
Patologia	Localização	Revestimento	Configuração
Fissura	Fachada	Reboco	Fissura mapeada
Eflorescência	Laje de cobertura do <i>hall</i> de entrada -parte externa	Reboco	Manchas brancas
Descolamento com pulverulência	<i>Hall</i> de entrada parte interna	Reboco	Desplacamento da pintura e início da deterioração do reboco
Fissura	<i>Hall</i> de entrada parte interna	Reboco	Fissura vertical

Na figura 4.1 são registradas algumas manifestações patológicas do prédio “A”



Figura 4.1 – Patologias identificadas no prédio “A” - (1) fissuras de retração; (2) descolamento com pulverulência; (3) eflorescência

No quadro a seguir são apresentadas as patologias com as respectivas configurações identificadas no prédio “B”.

Quadro 4.2 - Patologias identificadas no prédio “B”

Prédio B			
Patologia	Localização	Revestimento	Configuração
Fissura	Circulação do 2º pavimento	Reboco	Fissura vertical com leve inclinação
Descolamento com pulverulência	Circulação do 2º pavimento	Reboco	Desplacamento da pintura e início da deterioração do reboco
Fissura	Fachada	Reboco	Fissura horizontal
Fissura	Fachada	Reboco	Fissuras inclinadas
Fissura	Fachada	Reboco	Destacamento da pintura e início da exposição do reboco

Na figura 4.2 são registradas algumas manifestações patológicas do prédio “B”

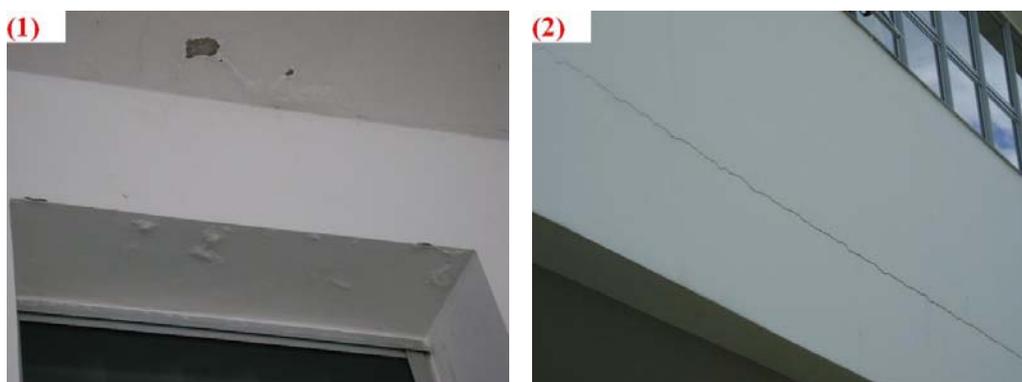


Figura 4.2 - Patologias identificadas no prédio “B” - (1) início da desagregação do revestimento devido à pulverulência; (2) fissura horizontal na interface da viga com alvenaria.

No quadro a seguir são apresentadas as patologias com as respectivas configurações identificadas no prédio “C”.

Quadro 4.3 - Patologias identificadas no prédio “C”

Prédio C			
Patologia	Localização	Revestimento	Configuração
Descolamento com pulverulência	Paredes da garagem	Reboco	Desagregação do reboco
Fissura	Fachada	Reboco	Fissura horizontal
Vesículas	Paredes da garagem	Reboco	Expansão de pontos localizados, destacamento da pintura e exposição do reboco

Na figura 4.3 são registradas algumas manifestações patológicas do prédio “C”

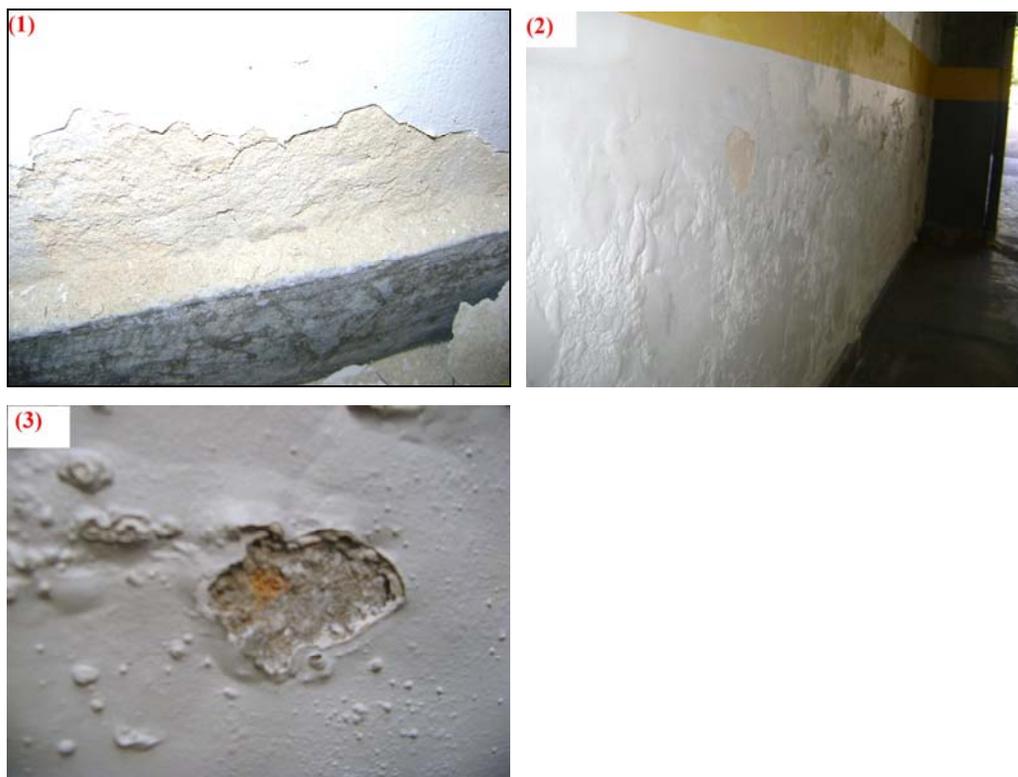


Figura 4.3 - Patologias identificadas no prédio “C” - (1) descolamento do revestimento, a argamassa se desagrega devido à pulverulência; (2) descolamento com pulverulência; (3) vesícula, no centro pode ser observada a presença de torrão de argila.

No quadro a seguir são apresentadas as patologias com as respectivas configurações identificadas no prédio “D”.

Quadro 4.4 - Patologias identificadas no prédio “D”

Prédio D			
Patologia	Localização	Revestimento	Configuração
Descolamento em placas	Platibanda parte interna	Reboco	Apresenta som cavo sob percussão
Fissura	Paredes internas da circulação e de diversas salas	Reboco	Fissura vertical, horizontais e fissura com leve inclinação
Fissura	Platibanda parte interna	Reboco	Horizontal

Na figura 4.4 são registradas algumas manifestações patológicas do prédio “D”



Figura 4.4 - Patologias identificadas no prédio “D” - (1) fissuras diversas; (2) fissura horizontal na platibanda.

No quadro a seguir são apresentadas as patologias com as respectivas configurações identificadas no prédio “E”.

Quadro 4.5 - Patologias identificadas no prédio “E”

Prédio E			
Patologia	Localização	Revestimento	Configuração
Fissura	Fachada	Reboco	Fissura vertical
Fissura	Secretaria	Reboco	Fissura vertical com leve inclinação
Descolamento com pulverulência	Secretaria	Reboco	Desagregação do reboco
Descolamento com pulverulência	Secretaria	Reboco	Manchas escuras, início da desagregação do reboco
Descolamento em placas	Terraço - parede externa	Reboco	Desplacamento do revestimento

Na figura 4.5 são registradas algumas manifestações patológicas do prédio “E”



Figura 4.5 - Patologias identificadas no prédio “E” - (1) descolamento com pulverulência; (2) descolamento em placas; (3) fissura vertical na fachada

No quadro a seguir são apresentadas as patologias com as respectivas configurações identificadas no prédio “F”.

Quadro 4.6 - Patologias identificadas no prédio “F”

Prédio F			
Patologia	Localização	Revestimento	Configuração
Descolamento em placas	Mureta do jardim	Reboco	Destacamento do revestimento. Apresenta som cavo sob percussão
Fissura	Fachada	Reboco	Fissura vertical
Bolor	Parede da caixa da escada	Reboco	Manchas marrons
Fissura	Fachada	Reboco	Fissura horizontal com inclinação leve. Apresenta sinais de início de destacamento do revestimento
Fissura	Secretaria	Reboco	Fissura horizontal
Descolamento em placas	Fachada	Reboco	Desplacamento do revestimento

Na figura 4.6 são registradas algumas manifestações patológicas do prédio “F”

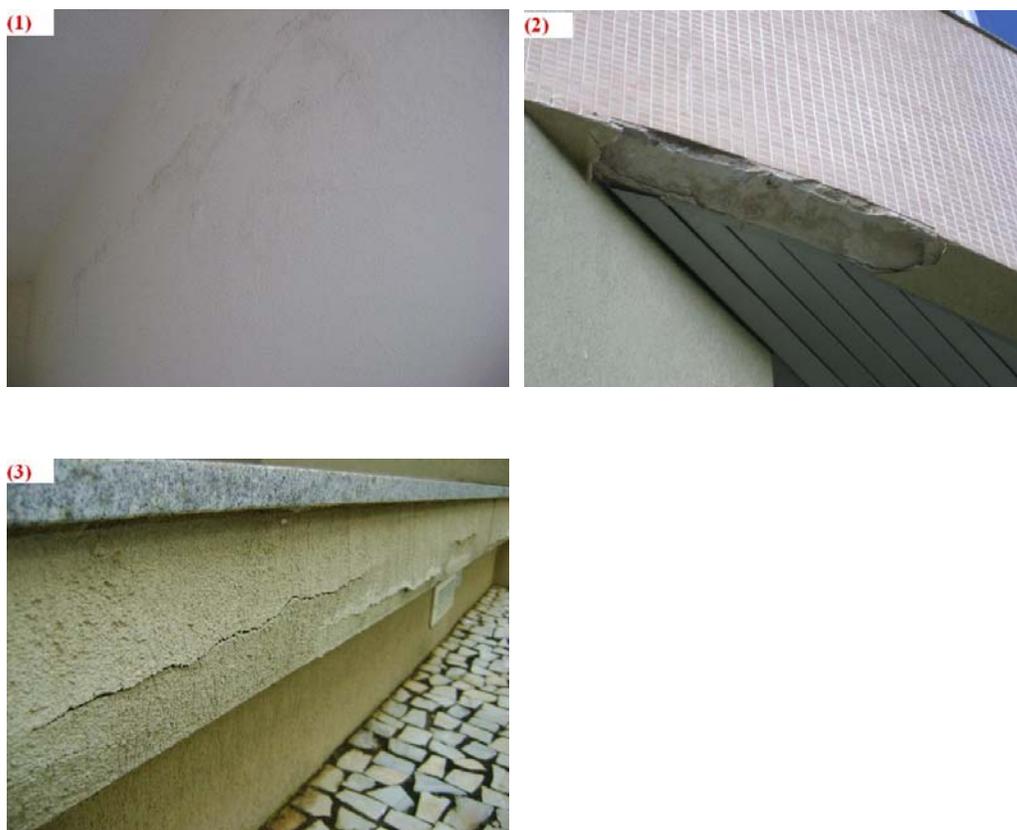


Figura 4.6 - Patologias identificadas no prédio “F” - (1) formação de bolor; (2) descolamento em placas; (3) fissura e início de descolamento do revestimento

No quadro a seguir são apresentadas as patologias com as respectivas configurações identificadas no prédio “G”.

Quadro 4.7 - Patologias identificadas no prédio “G”

Prédio G			
Patologia	Localização	Revestimento	Configuração
Fissura	Fachada	Reboco rústico	Fissura horizontal
Bolor	Fachada	Reboco rústico	Mancha escura
Fissura	Fachada	Reboco rústico	Fissura horizontal com leve inclinação
Fissura	Fachada	Reboco rústico	Fissura mapeada
Fissura	Circulação	Reboco	Fissura vertical com leve inclinação

Na figura que se segue são registradas algumas manifestações patológicas do prédio “G”

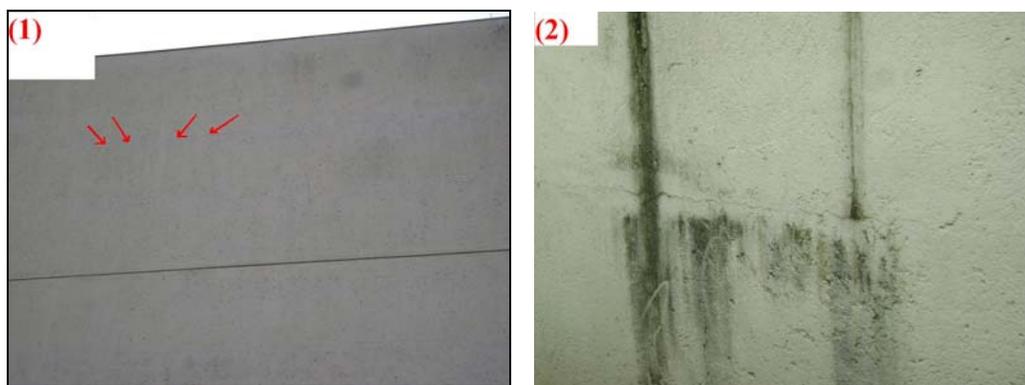


Figura 4.7 - Patologias identificadas no prédio “G” - (1) fissura horizontal; (2) fissura horizontal e formação de bolor

No quadro a seguir são apresentadas as patologias com as respectivas configurações identificadas no prédio “H”.

Quadro 4.8 - Patologias identificadas no prédio “H”

Prédio H			
Patologia	Localização	Revestimento	Configuração
Fissura	Circulação	Reboco	Fissuras inclinadas
Fissura	Fachada	Reboco	Fissuras mapeadas

Na figura que se segue são registradas algumas manifestações patológicas do prédio “H”

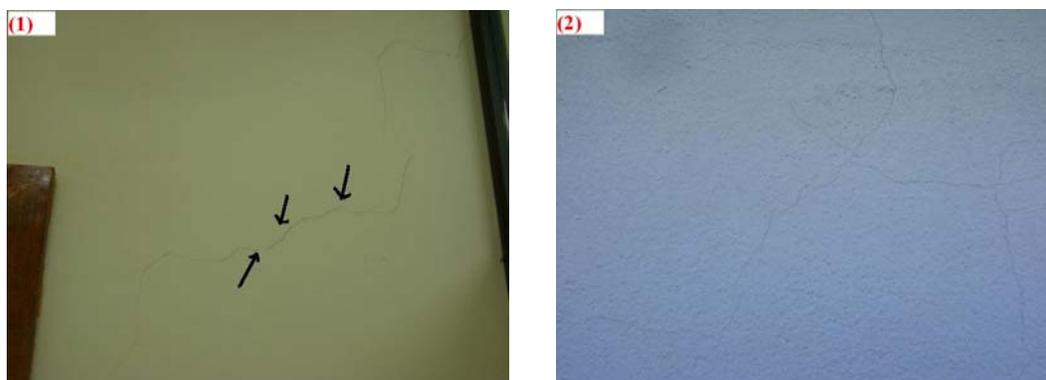


Figura 4.8 - Patologias identificadas no prédio “H” - (1) fissura inclinada; (2) fissura mapeada característica de retração

No quadro a seguir são apresentadas as patologias com as respectivas configurações identificadas no prédio “I”.

Quadro 4.9 - Patologias identificadas no prédio “I”

Prédio I			
Patologia	Localização	Revestimento	Configuração
Descolamento em placa	Hall de entrada parte interna	Reboco	Destacamento da pintura e início do deslocamento do reboco
Fissura	Hall do elevador no 2º pavimento	Reboco	Fissura vertical e fissura com leve inclinação
Fissura	Fachada	Reboco	Fissura horizontal. Início da desagregação do reboco
Descolamento com pulverulência	Gabinete do 2º pavimento	Reboco	Destacamento da pintura e início da desagregação do reboco
Bolor - manchas brancas	Fachada nos cantos da esquadria	Reboco	Manchas brancas

Na figura que se segue são registradas algumas manifestações patológicas do prédio “I”

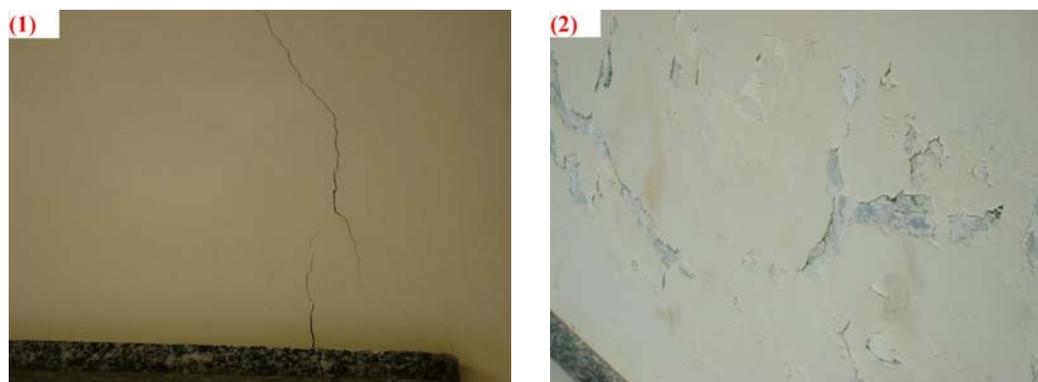


Figura 4.9 - Patologias identificadas no prédio “I” - (1) fissuras; (2) destacamento da pintura e início da deterioração do reboco

No quadro a seguir são apresentadas as patologias com as respectivas configurações identificadas no prédio “J”.

Quadro 4.10 - Patologias identificadas no prédio “J”

Prédio J			
Patologia	Localização	Revestimento	Configuração
Fissura	Fachada	Reboco	Fissura horizontal
Bolor	Fachada	Reboco	Mancha escura
Descolamento com pulverulência	Gabinete	Reboco	Desplacamento da pintura e desagregação do reboco
Bolor	Parte interna da laje de cobertura	Reboco	Mancha escura
Descolamento em placas	Fachada	Reboco	Desplacamento da pintura e destacamento do reboco
Fissura	Parede do <i>hall</i> de entrada	Reboco	Fissura com leve inclinação

Na figura que se segue são registradas algumas manifestações patológicas do prédio “J”



Figura 4.10 - Patologias identificadas no prédio “J” - (1) fissura horizontal no alinhamento da platibanda; (2) formação de bolor; (3) descolamento com pulverulência; (4) formação de bolor

No quadro a seguir são apresentadas as patologias com as respectivas configurações identificadas no prédio “K”.

Quadro 4.11 - Patologias identificadas no prédio “K”

Prédio K			
Patologia	Localização	Revestimento	Configuração
Eflorescência	Parede da caixa d'água	Reboco	Escorrimento de sais na região das fissuras
Descolamento com pulverulência	Paredes da circulação interna	Reboco	Desagregação do reboco
Fissura	Pilar interno na circulação	Reboco	Vertical
Bolor	Parte interna da laje de cobertura do <i>hall</i>	Revestimento argamassado com prediscos	Mancha escura
Fissura	Fachada	Revestimento argamassado com prediscos	Fissura mapeada
Bolor	Fachada	Revestimento argamassado com prediscos	Mancha escura
Fissura	Fachada	Revestimento argamassado com prediscos	Fissura horizontal

Na figura que se segue são registradas algumas manifestações patológicas do prédio “K”

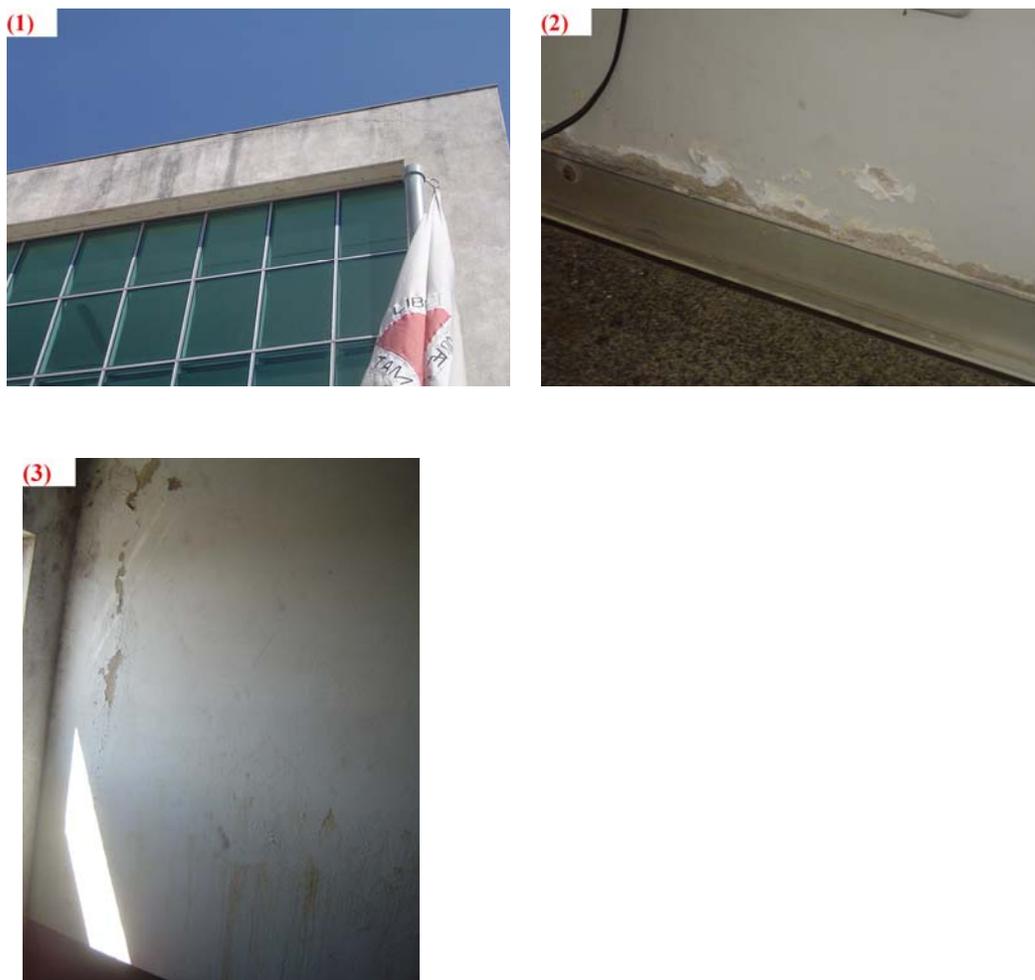


Figura 4.11 - Patologias identificadas no prédio “K” - (1) formação de bolor; (2) descolamento com pulverulência; (3) eflorescência.

No quadro a seguir são apresentadas as patologias com as respectivas configurações identificadas no prédio “L”.

Quadro 4.12 - Patologias identificadas no prédio “L”

Prédio L			
Patologia	Localização	Revestimento	Configuração
Descolamento com pulverulência	Circulação do 1º pavimento	Reboco	Desplacamento da pintura e início da deterioração do reboco
Bolor	Paredes e teto do salão do júri	Reboco	Manchas marrons
Descolamento com pulverulência	Salão do júri	Reboco	Desagregação do reboco
Eflorescência	Fachada	Reboco	Escorrimento de sais na região das fissuras
Vesículas	Fachada	Reboco	Expansão de pontos localizados, destacamento da pintura e exposição do reboco
Fissura	Circulação do 1º pavimento	Reboco	Fissura horizontal

Na figura que se segue são registradas algumas manifestações patológicas do prédio “L”



Figura 4.12 - Patologias identificadas no prédio “L” - (1) formação de bolor; (2) vesículas

No quadro a seguir são apresentadas as patologias com as respectivas configurações identificadas no prédio “M”.

Quadro 4.13 - Patologias identificadas no prédio “M”

Prédio M			
Patologia	Localização	Revestimento	Configuração
Bolor	Parte interna da laje de cobertura	Reboco	Mancha escura
Bolor	Parede - face interna do salão do júri	Reboco	Mancha escura
Fissura	Parede da circulação interna	Reboco	Fissura com leve inclinação
Bolor	Fachada	Reboco	Mancha escura
Fissura	Fachada	Reboco	Fissura mapeada
Bolor	Parte interna da parede da circulação	Reboco	Mancha esverdeada. Desplacamento do revestimento
Descolamento com pulverulência	Secretaria	Reboco	Desplacamento da pintura e início da desagregação do reboco

Na figura que se segue são registradas algumas manifestações patológicas do prédio “M”



Figura 4.13 - Patologias identificadas no prédio “M” - (1) formação de bolor no revestimento da fachada; (2) fissuras de retração; (3) descolamento com pulverulência

No quadro a seguir são apresentadas as patologias com as respectivas configurações identificadas no prédio “N”.

Quadro 4.14 - Patologias identificadas no prédio “N”

Prédio N			
Patologia	Localização	Revestimento	Configuração
Descolamento com pulverulência	Hall de entrada parte externa	Reboco	Desagregação do reboco
Descolamento com pulverulência	Hall de entrada parte interna	Reboco	Desplacamento da pintura e início da deterioração do reboco
Descolamento em placas	Fachada	Reboco	Destacamento do revestimento
Descolamento com pulverulência	Salão do júri internamente	Reboco	Desagregação do reboco

Na figura que se segue são registradas algumas manifestações patológicas do prédio “N”



Figura 4.14 - Patologias identificadas no prédio “N” - (1) desagregação do reboco devido à pulverulência; (2) descolamento com pulverulência; (3) fissuras e início do descolamento de parte do revestimento

No quadro a seguir são apresentadas as patologias com as respectivas configurações identificadas no prédio “O”.

Quadro 4.15 - Patologias identificadas no prédio “O”

Prédio O			
Patologia	Localização	Revestimento	Configuração
Descolamento com pulverulência	Secretaria 1º pavimento	Reboco	Desplacamento da pintura e início da desagregação do reboco
*	o prédio passou por uma reforma impossibilitando identificar outras patologias		

5 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

5.1 Identificação da amostra

Na pesquisa realizada foram identificadas as idades dos prédios vistoriados, a fim de possibilitar o estudo da correlação das patologias encontradas com tempo de vida das edificações. As respectivas idades dos prédios encontram-se lançadas nas fichas de vistorias que constam nos Anexos desta dissertação. Como pode ser observado na figura 5.1, 60% dos prédios encontram-se com idade de até 5 anos – período correspondente à garantia dada pelas construtoras.

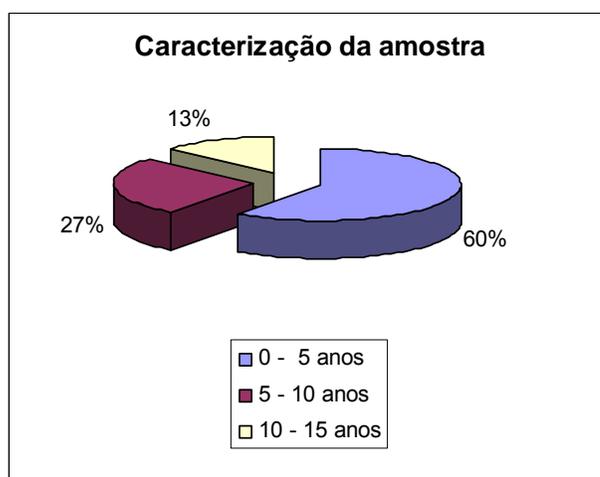


Figura 5.1 - Identificação da idade dos prédios que compõem a amostra estudada

5.2 Caracterização dos revestimentos argamassados

Da pesquisa realizada na documentação técnica dos prédios foi possível identificar que as argamassas utilizadas tanto externa quanto internamente apresentam em sua maioria traço 1:2:5 (cimento, cal e areia, em volume), embora o traço 1:2:8 (cimento, cal e areia, em

volume) encontra-se também bastante indicado nas especificações técnicas. As figuras 5.2 e 5.3 expressam os dados pesquisados.

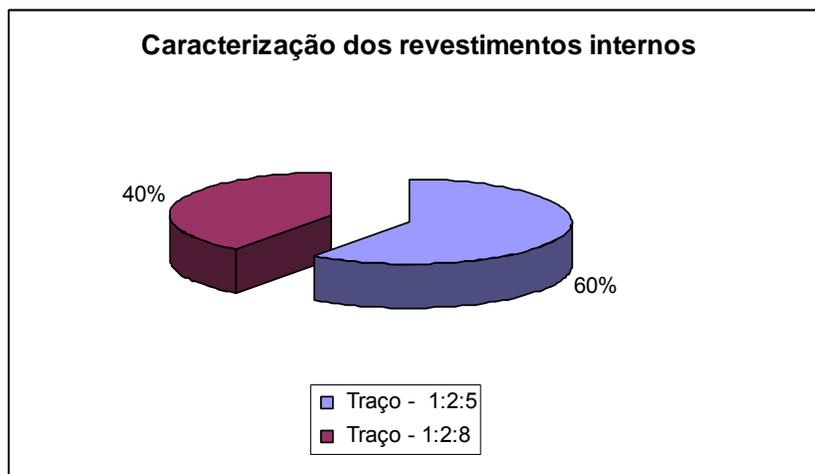


Figura 5.2 - Caracterização dos revestimentos internos

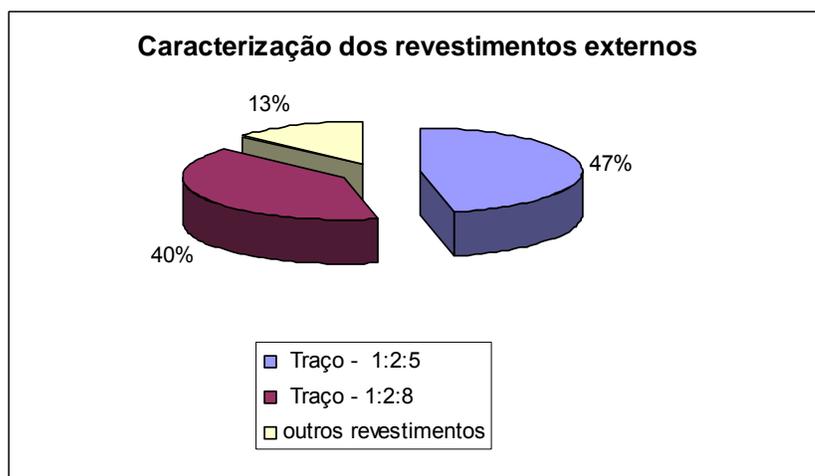


Figura 5.3 - Caracterização dos revestimentos externos

O traço 1:2:8 (cimento: cal: areia) em volume aproxima-se das recomendações feitas por Guimarães (2002), Cincotto e Carneiro (1999). Os pesquisadores afirmam que as proporções adotadas com mais frequência são 1:1:6 e 1:2:9 (cimento: cal: areia) em volume, numa proporção aglomerante: agregado de 1:3 ou 1:4. Os traços de dosagem citados representam, em média, 20% de aglomerante (cimento e cal) e 80% de agregado, considerando a areia em massa.

Segundo Gallegos (2005) o tipo de argamassa indicada para revestimentos deve apresentar a proporção em volume de 1:2:8-9 (cimento: cal: areia). Para o autor a proporção de areia deve ser máxima possível desde que o cimento e a cal preencham seus vazios. Esta proporção está usualmente entre 2,5 e 3 vezes a soma dos volumes, independente do cimento e da cal, correspondendo em menor valor às areias finas e em maior às grossas.

Considerando os traços em volume para a quantidade de cimento igual a 1, o autor faz as seguintes ponderações sobre a relação entre as proporções dos materiais e as propriedades das argamassas:

- para a mesma consistência, à medida que são aumentadas as proporções de cal e areia, aumenta-se o consumo de água, como consequência a resistência à compressão das argamassas diminui;
- quanto maior a proporção de cimento em relação às proporções de cal e areia, maior o valor unitário da aderência e também maior será a retração;
- à medida que se aumenta a proporção de cal, aumenta-se a extensão de aderência e a durabilidade;
- à medida que são aumentadas as proporções de areia, diminuem-se a resistência à compressão e a aderência, e aumenta-se a estabilidade volumétrica.

Neste contexto, estima-se que a argamassa com traço 1:2:5 (cimento: cal: areia), utilizada em 47% dos revestimentos externos e em 60% dos revestimentos internos dos prédios pesquisados, tenha produzido um revestimento com maior resistência à compressão, maior valor unitário da aderência, maior retração, maior extensão de aderência, quando

comparada com a outra argamassa também especificada com traço 1:2:8 (cimento: cal: areia).

Carasek (2007) alerta que argamassas muito ricas em cimento estão mais sujeitas a tensões de tração que causarão fissuras, comprometendo desta forma o ganho de aderência propiciado pelo cimento.

A retração das argamassas é determinante para o aparecimento e desenvolvimento de fendas e fissuras. Não se trata apenas num problema estético dos rebocos, pois a fissuração facilita a infiltração de água e penetração de agentes agressivos que vão acelerar os processos de degradação (AGOSTINHO, 2008).

Ressalta-se que 33% dos prédios apresentaram fissuras de retração no revestimento externo, quando analisados isoladamente os prédios que receberam argamassa com traço 1:2:5 (cimento: cal: areia) no revestimento externo, 43% destes apresentaram fissuras de retração. Além da quantidade de cimento adicionado à mistura, as condições de cura e exposição do revestimento ao calor e ao vento contribuem para o aumento da retração. Segundo Joisel (1965) se a evaporação da água iniciar-se antes do término da pega do aglomerante, isto é, antes de começarem os primeiros enlaces entre os cristais desenvolvidos com a hidratação, a retração poderá ser acentuadamente aumentada.

5.3 Análise dos dados coletados nas vistorias

Com o cadastramento das patologias foi possível agrupar os dados por tipologia das manifestações identificadas tanto nos revestimentos externos quanto nos internos.

Na tabela 5.1 são expressos os dados dos revestimentos externos bem como dos revestimentos internos e registra os prédios onde as referidas patologias foram

Após a análise dos dados apresentados nas tabelas 5.1, 5.2 e 5.3, podem ser feitas as seguintes considerações:

- As fissuras mapeadas típicas de retração foram identificadas em 33% dos prédios vistoriados, ressalta-se que as mesmas se manifestaram somente no revestimento externo o que nos leva a confirmar que as ações do calor e do vento podem ter contribuído para o aparecimento das fissuras, considerando que o mesmo tipo de argamassa foi aplicado tanto internamente quanto externamente.

Segundo Joisel (1965) é difícil manter úmidos os revestimentos externos durante seu endurecimento inicial, lembrando ainda que os ventos secos e os raios solares contribuem para que os revestimentos sequem mais rapidamente aumentando a retração hidráulica.

Além das condições de cura, fatores como composição química e finura do cimento, granulometria do agregado, quantidade de água e quantidade de cimento adicionados à mistura interferem na retração das argamassas.

- Quanto às fissuras com configuração horizontal temos a considerar que nos prédios “B”, “C”, “G”, “J” e “K” a causa mais provável seja a dilatação térmica dos elementos da fachada, sujeitos à radiação solar. As trincas foram identificadas no alinhamento da interface da alvenaria com as vigas de contorno da edificação. Em todos estes prédios foram observadas juntas de dilatação as quais não foram suficientes para evitar o aparecimento das fissuras.

Segundo Bauer (1994) os últimos pavimentos ficam sujeitos a uma maior movimentação por dilatação dos elementos de concreto, mais expostos aos raios solares. Nesse caso, é comum o aparecimento de fissuras no encontro alvenaria-estrutura. Para as regiões altas dos edifícios, o autor sugere nas junções entre a estrutura e a alvenaria, a utilização de

uma tela em toda a extensão, inserida no revestimento dos últimos andares, visando minimizar a fissuração.

Barros *et al.* (1997) também observam que os problemas de trincas e fissuras têm ocorrido com maior frequência nos primeiros e últimos pavimentos, o que possivelmente, é resultado da falta de especificação de juntas de movimentação e detalhes construtivos adequados para as solicitações sofridas por estes pavimentos. Tais técnicas são mecanismos indispensáveis para manter a integridade do revestimento.

As juntas de expansão/contração devem ser dimensionadas para acomodar, pelo menos, o movimento que resulta da multiplicação do comprimento da parede pelo coeficiente de dilatação térmica linear da alvenaria e pela variação máxima previsível da temperatura fictícia “ar-sol”, isto é, tomando em consideração, não só a variação da temperatura do ar, mas também a variação de temperatura da superfície, resultante da radiação solar e da cor do revestimento. As juntas devem ser adequadamente vedadas com produtos elastômeros e eventuais proteções metálicas, para prevenir a entrada de água e a sua degradação (SILVA e ABRANTES, 2007).

- Sobre as fissuras inclinadas e verticais identificadas podemos considerar que, na sua maioria foram originadas pela movimentação da base ou suporte. Ressalta-se que as fissuras inclinadas identificadas no revestimento externo do prédio “B” (figura 5.4) configuram deficiência das contra-vergas de algumas janelas.



(1)



(2)



(3)

Figura 5.4 – (1), (2), (3) Fissuras por deficiência de contra-vergas nas aberturas de janelas – prédio “B” do estudo de caso

Alguns importantes detalhes construtivos como as vergas e contra-vergas nas aberturas das janelas e portas, podem auxiliar no bom desempenho dos revestimentos evitando o aparecimento de tensões excessivas e conseqüentemente trincas e possíveis infiltrações. A figura 5.5 expressa as configurações típicas destas trincas.

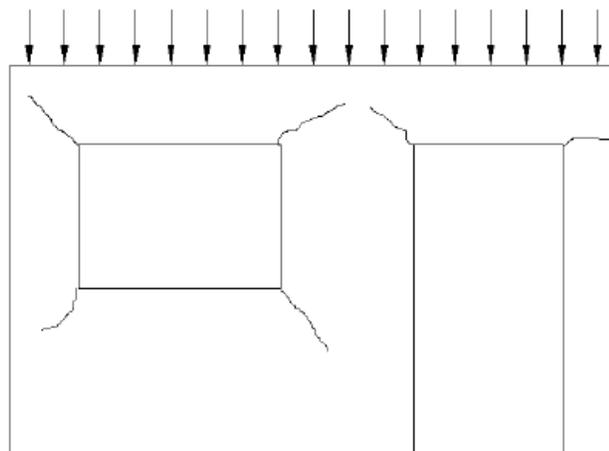
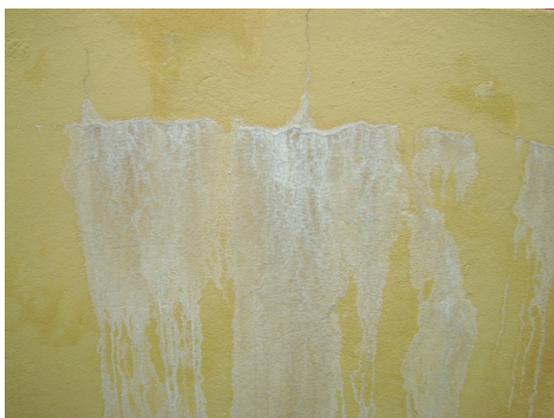


Figura 5.5 - Fissuração típica nos cantos das aberturas sob atuação de sobrecargas (THOMAZ, 1989)

- As eflorescências identificadas no prédio “K”, no revestimento argamassado, na parede externa da caixa d’água são decorrentes das fissuras e presença constante de água, possibilitando o carreamento dos sais para superfície. No prédio “A” são decorrentes de falha no sistema de impermeabilização da laje de cobertura do *hall* de entrada que possibilita a percolação de água propiciando o aparecimento das eflorescências no revestimento interno de argamassa. No prédio “L” esta patologia é bastante expressiva, sendo possível constatar uma grande quantidade de sais que percolam pelas fissuras como pode ser identificado na figura 5.6.



(1)



(2)



(3)

Figura 5.6 – (1), (2), (3) Configurações das eflorescências identificadas no prédio “L” do estudo de caso

O surgimento das eflorescências exige a presença simultânea de sais solúveis e água nos poros dos materiais de construção, bem como as condições ambientais adequadas. Os sais solúveis originam íons que são transportados em água líquida e migram na rede de poros de materiais de construção. A água líquida pode penetrar nesses materiais por diferentes processos, segundo Massari e Massari (1993) apud Gonçalves (2007):

- umidade proveniente da água utilizada na mistura de argamassas ou fixação de tijolos, a partir da utilização de materiais previamente expostos à chuva ou processos específicos tais como a água de limpeza do jato;

- ascensão capilar da água do solo que sobe nas paredes por capilaridade, podendo ser água do lençol freático ou a água da chuva que penetrou na superfície do solo;
- umidade atraída a partir do ar devido às propriedades higroscópicas dos materiais de construção como as argamassas, tijolo ou pedra;
- penetração da água da chuva através de fissuras, juntas de construção, telhados danificados, etc.;
- a umidade pode também resultar de causas acidentais, tais como vazamento de tubulações.

Esta anomalia pode configurar três diferentes tipos de danos: dano material, danos estéticos e danos associados à presença de umidade. No caso da subflorescência pode haver a indução de tensões internas que superem a resistência mecânica do material poroso e, conseqüentemente, causar-lhe danos físicos. No caso da eflorescência os danos estão associados com a estética ou com problemas de umidade. No entanto, a eflorescência pode ser reabsorvida pelo material e, eventualmente, recristalizar-se como subflorescência.

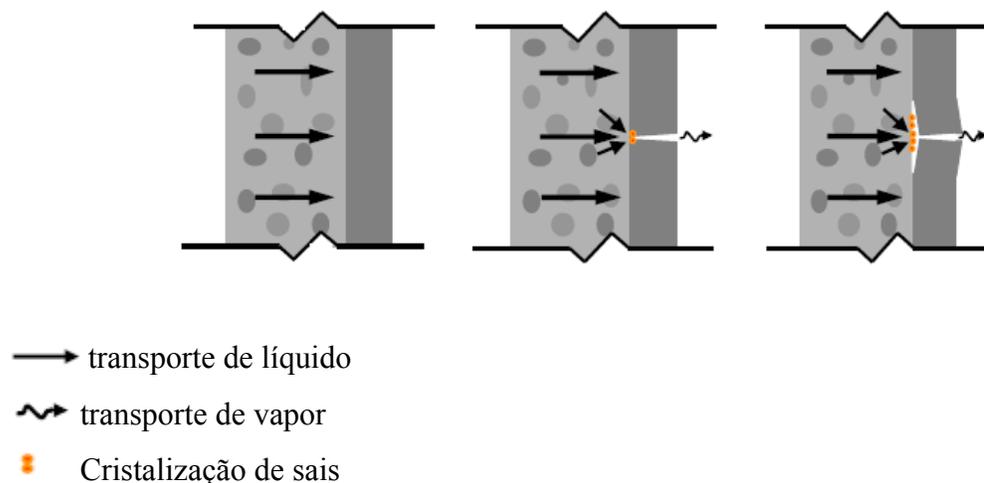


Figura 5.7 - Sequência do transporte de sais solúveis e formação de eflorescência (GONÇALVES, 2007) Adaptado.

- Cabe destacar o descolamento em forma de placas identificado no prédio “F”, consideramos que a perda da aderência entre o revestimento e o suporte pode ser decorrente de falhas na preparação da base ou falta de aderência do chapisco, uma vez a ruptura ocorreu na interface do chapisco com a estrutura (figura 5.8).



Figura 5.8 - Descolamento do revestimento de argamassa aplicado sobre face inferior da viga - prédio “F” do estudo de caso.

Ressaltando que segundo Bauer (1994) as principais causas dos descolamentos em placas são:

- preparação inadequada da base de concreto (presença de agentes desmoldantes, presença de pó e resíduos);
- molhagem deficiente da base, comprometendo a hidratação do cimento da argamassa;
- ausência de chapisco em certos casos;
- chapisco preparado com areia fina;
- argamassa em espessura excessiva;
- argamassas ricas em cimento;
- acabamento superficial inadequado de camada intermediária.

O alerta feito por Cavani (2009), sobre a utilização de cimentos com alto teor de escória (CPII – de 6% a 34% de escória e CPIII de 35% a 70% de escória) na produção do chapisco, também deve ser considerado. Segundo o autor o uso deste tipo de cimento agrava o processo de perda de resistência de aderência dos chapiscos. A explicação se baseia no fato da velocidade de hidratação da escória ser menor que a do clínquer - principalmente nas primeiras idades - o que no caso da argamassa de chapisco, que apresenta baixa retenção de água, contribui para a perda de sua resistência de aderência.

- Sobre a identificação do mofo ou bolor, esta patologia se apresenta em 33% dos prédios vistoriados tanto no revestimento interno quanto no externo. No revestimento externo são decorrentes de falhas nos chapins das platibandas e peitoris de janelas, que permitem a passagem da água descumprindo seu papel de proteção dos revestimentos. No revestimento interno se devem às infiltrações de água pela cobertura, como pode ser identificado nos prédios: “J”, “K”, “L”, “M” ou são devidos à infiltração de água de chuva pela fachada como identificado no prédio “F”, ou ainda são decorrentes da umidade ascendente identificado no prédio “M”. As figuras 5.9 e 5.10 demonstram alguns destes casos.



Figura 5.9 - Presença de “bolor” devido à infiltração de água pela cobertura – prédio “L” do estudo de caso.



Figura 5.10 - Formação de mofo devido às deficiências do peitoril da janela – prédio “J” do estudo de caso.

- A pequena quantidade de vesículas encontradas sinaliza a melhoria da qualidade dos materiais utilizados nos revestimentos argamassados, considerando que sua existência está condicionada:
- à existência de matérias orgânicas nos agregados;

- a torrões de argila dispersos na argamassa;
- à presença de pedras de cal parcialmente extintas;
- à presença de outras impurezas como mica, pirita e torrões ferruginosos.

• Quanto ao descolamento com pulverulência identificado em 73% dos prédios vistoriados, observa-se que os mesmos estão presentes na sua maioria nos revestimentos internos. Dos casos identificados, metade dos prédios apresenta umidade ascendente agravando a perda de desempenho da argamassa. Nos demais casos a infiltração de água de chuva pela esquadria contribui para a desagregação do revestimento.

Ressalta-se que, segundo Bauer (1994), as principais causas dos descolamentos com pulverulência são:

- falta de molhagem da base, por ocasião da aplicação da argamassa, causando perda da água de amassamento, necessária para que ocorra a perfeita hidratação do aglomerante hidráulico;
- pintura executada antes de ocorrer a carbonatação da cal da argamassa;
- emprego de adições substitutas da cal hidratada, sem propriedades aglomerantes;
- hidratação inadequada da fração cimento da argamassa;
- argamassa mal proporcionada (pobre em aglomerante);
- argamassa utilizada após prazo de utilização (tempo de pega do cimento);
- tempo de estocagem ou estocagem inadequada, comprometendo a qualidade da argamassa;
- emprego de argamassa contendo cimento e adição de gesso (reação expansiva pela formação de etringita).

Para John (2003) as argamassas com carência de aglomerantes, embora tenham bom desempenho no estado plástico, apresentam degradação precoce dos revestimentos com elas produzidos especialmente quando expostos à água. Este tipo de desagregação é visto

frequentemente ao pé de paredes devido á infiltração capilar e em locais mais expostos a ciclos de molhamento e secagem.

A tabela 5.4 representa as patologias identificadas nos prédios com até 05 (cinco) anos de idade, período correspondente à garantia oferecida pelas construtoras. Em função do percentual de ocorrência das manifestações patológicas pode-se deduzir que os custos da não qualidade, referenciados por Freitas e Alves (2009), nestes casos, devem ser bastante expressivos. Reforçando a afirmação dos autores de que as patologias além de expressar um problema técnico, resultam também num problema econômico muito relevante.

Tabela 5.4 - Patologias identificadas nos revestimentos argamassados dos prédios com idade de até 05 anos.

Patologias identificadas nos revestimentos argamassados internos e externos dos prédios com até 05 anos de idade										
Tipo de patologia	Edificações									Percentual de ocorrência (%)
	B	D	E	F	H	I	J	M	N	
Fissura mapeada					x			x		22
Fissuras: horizontal, inclinada e vertical	x	x	x	x	x	x	x	x		89
Descolamento em placas		x	x	x		x	x		x	67
Bolor				x		x	x	x		44
Descolamento com pulverulência	x		x			x	x	x	x	67

5.3.1 Recomendações para reparos das patologias com maior percentual de ocorrência

Considerando que um dos objetivos desta dissertação é apresentar os métodos adotados para correção das manifestações patológicas que apresentam maior percentual de ocorrência tomando como base o estudo de caso realizado, passamos a seguir às recomendações para correções das patologias “bolor” e descolamento com pulverulência.

Ressalta-se que apesar das fissuras com configurações horizontais, inclinadas e verticais terem apresentado 87% de ocorrência, a indicação de métodos para seu tratamento extrapola o âmbito de estudo deste trabalho, uma vez que seria necessária uma análise detalhada dos esforços que provocam tais fissuras, bem como o monitoramento das mesmas a fim de verificar se as fissuras são ativas ou se já estabilizaram. Muitas vezes para a correção definitiva deste tipo de fissura implica conhecer o esforço que a provoca, segundo Joisel (1965) as fissuras de deformação por compressão são paralelas aos esforços de compressão, as fissuras provocadas por tração são perpendiculares aos esforços que a provocam, as fissuras provocadas por cisalhamento são paralelas às compressões e normais às trações.

Pesquisadores como Thomaz (1989), Lordsleem Jr. (1997), Sahade (2005) indicam, em alguns casos, o emprego de bandagem com telas de poliéster, que absorvem a movimentação da fissura em uma faixa de revestimento relativamente larga, reduzindo as tensões provocadas pela variação na abertura da mesma. Este último pesquisador testou 05 sistemas para recuperação de fissuras baseados na abertura das mesmas, aplicação de impermeabilizante acrílico e telas de Poliéster com bandagem central. As figuras 5.11 e 5.12 representam as etapas de um dos sistemas testados por Sahade (2005).

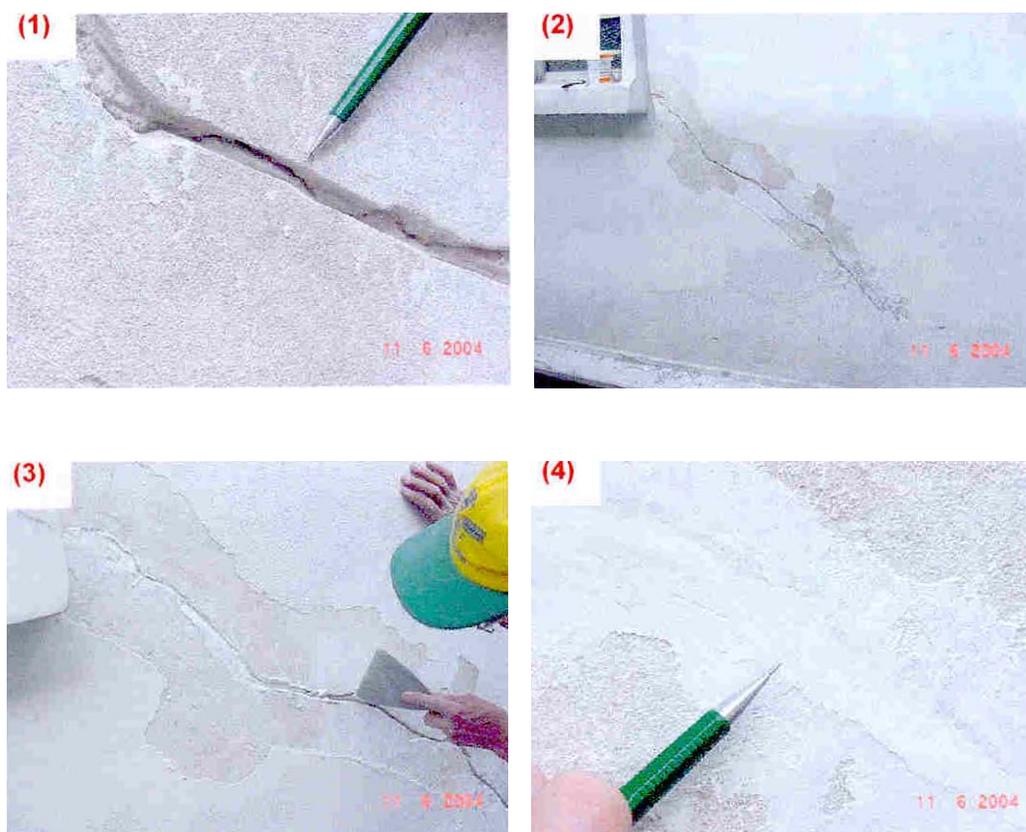


Figura 5.11 - (1) Abertura da fissura com disco de corte; (2) vista da largura ao longo da fissura e remoção do acabamento com 12 cm de largura; (3) calafetação da fissura com massa acrílica; (4) detalhe da fissura calafetada com massa acrílica em 2 demãos. (SAHADE, 2005).



Figura 5.12 - (1) Imprimação; (2) 1ª demão de impermeabilizante acrílico; (3) aplicação da 2ª demão de impermeabilizante acrílico com tela de poliéster com bandagem central (SAHADE, 2005).

5.3.1.1 Recomendações para recuperação das superfícies com “bolor”

Segundo Alluci *et al.* (1988) para a recuperação das regiões afetadas, inicialmente, é importante identificar o agente deteriorador do revestimento. Ainda que as ações das bactérias e das algas sejam bastante distintas às ações dos fungos, a deterioração provocada é semelhante na aparência. Dessa forma, a identificação correta do agente deteriorador pode, muitas vezes, representar a diferença entre o sucesso ou o fracasso das medidas curativas.

No caso de remover as áreas afetadas por fungos, os pesquisadores recomendam uma limpeza com escova de piaçaba, aplicando-se uma solução de fosfato trissódico, detergente, hipoclorito de sódio e água nas partes afetadas. Em seguida, a superfície deve ser enxaguada com água limpa e seca com pano limpo.

Medidas preventivas podem ser tomadas na fase de projeto da edificação, para evitar, por exemplo, problemas relativos à falta de ventilação e à condensação do vapor de água. No projeto, além do dimensionamento para que o ambiente seja devidamente ventilado, deve-se considerar o tipo de janela mais adequado para cada caso.

Cuidado redobrado deve ser tomado na execução de juntas, peitoris, chapins das platibandas e outros pontos singulares a fim de se evitar infiltrações de água provenientes das chuvas.

Pesquisas realizadas por Uemoto, Sato e John (2009), sobre a influência do sistema argamassa com pintura nos fenômenos de transporte de água, revelam que a aplicação de sistema de pintura menos permeável como acrílico semibrilho reduz a absorção de água das argamassas, no entanto, a eliminação da água absorvida é dificultada por esta pintura podendo assim acumular água no interior do substrato e favorecer o desenvolvimento dos microorganismos. Um sistema de pintura ideal para evitar aparecimento de microorganismos deve possuir baixa absorção de água, como a pintura acrílica semibrilho e simultaneamente permitir a evaporação desta água absorvida como a pintura PVA.

5.3.1.2 Recomendações para recuperação dos revestimentos argamassados com descolamentos devido à pulverulência

Para Cincotto (1988) no caso de descolamento devido à pulverulência, a recomendação é a substituição do revestimento que apresenta problemas, contudo, deverá ser antecedida da eliminação da causa do problema, muito frequentemente infiltração de umidade na parede.

Nas vistorias realizadas foi possível identificar que a maior parte dos problemas de descolamento com pulverulência foram agravados pela umidade ascendente, a seguir são apresentadas proposições feitas pelos pesquisadores Silva e Abrantes (2007) e Carvalho Jr. (2007) no sentido de estancar a ascensão de água pelo revestimento.

A solução mais eficiente contra a ascensão capilar de água é, realmente, a impermeabilização da fundação ou embasamento antes da execução da alvenaria. Na ausência da impermeabilização, haverá ascensão capilar de água pela alvenaria e a altura da mancha de umidade irá variar em função do tipo de material empregado na alvenaria e condições de insolação e ventilação da parede. A aplicação de um revestimento "impermeável" na superfície da parede eventualmente pode elevar a altura da mancha de umidade. Mesmo fazendo o revestimento da ordem de 1,5 m de altura, confinando a umidade no interior da alvenaria, há o risco de formação de bolhas ou fissuração do revestimento impermeável. Pode ser adotada uma técnica de impermeabilização da base da parede por meio da injeção de produtos "cristalizantes". Alternativamente, pode ser feita a impermeabilização pelo processo convencional, empregando betume com elastômeros, com a incorporação de véu de poliéster. Nesse caso, a impermeabilização deve ser executada por trechos, "rasgando" parcialmente a alvenaria. Cuidados devem ser tomados na restauração da alvenaria, empregando, por exemplo, concreto com agente expensor ou graute industrializado isento de retração (SILVA e ABRANTES, 2007).

Segundo Carvalho Jr. (2007), no sentido de minimizar o efeito da ascensão capilar, o revestimento de argamassa deve ser retirado a uma altura correspondente a 03 vezes a altura da infiltração de água, produtos impermeabilizantes semiflexíveis à base de cimento e resinas acrílicas devem ser aplicados, no mínimo 03 demãos, a fim de colmatar os poros dos cerâmicos. Na sequência podem ser adotados os procedimentos para refazer o revestimento de argamassa.

6 CONCLUSÕES

1- Dentre as patologias identificadas nos prédios vistoriados as fissuras apresentaram o maior percentual de ocorrência estando presente em 87% das edificações, seguida pelos descolamentos com pulverulência com 73% e pelo mofo ou “bolor” identificado em 47% dos casos estudados.

2- Da análise dos resultados pode-se concluir que as condições de cura e a exposição do revestimento argamassado ao calor e ao vento, fatores extrínsecos ao mesmo, contribuem para o aumento da retração. As fissuras de retração foram identificadas somente nos revestimentos externos, em 33% dos prédios vistoriados, lembrando que o mesmo traço foi indicado tanto para uso externo quanto para o interno.

3- As fissuras horizontais identificadas em 5 dos 15 prédios estudados reforçam a importância do projeto de revestimento de fachada. O dimensionamento das juntas de expansão/contração, a especificação de detalhes construtivos, como o uso de telas em pontos específicos, são alguns dos itens que compõem os projetos de revestimentos. Estas informações específicas, além de outras que são contempladas nos projetos de revestimento - como a seleção de materiais, os procedimentos executivos, a compatibilização do projeto de revestimento com os demais projetos - apresentam grande incremento da qualidade na produção dos edifícios, podendo trazer efeitos muito positivos como a menor ocorrência de falhas durante a execução, a redução da ocorrência de patologias e a redução dos custos da não qualidade.

4- Os dados identificados sobre os descolamentos em placas dos revestimentos demonstram a necessidade de se dar ênfase ao preparo da base, como determina a NBR 7200 (ABNT, 1998). Atenção deve ser dada às bases ou substratos de concreto principalmente quanto aos procedimentos para retirada de agentes desmoldantes, utilizados nas formas, que reduzem consideravelmente o poder de aderência do chapisco à superfície. Outro ponto que merece

destaque é o cuidado com a cura do chapisco que pode contribuir para a melhoria da resistência de aderência do mesmo às superfícies.

5- Uma patologia identificada em 47% das edificações vistoriadas foi o “bolor” do que se conclui que ocorrem falhas na execução de elementos como chapins de platibandas e peitoris de janelas, bem como deficiências nos sistemas de cobertura que contribuem para a deterioração dos revestimentos.

6- Bastante expressivos são os descolamentos com pulverulência, presentes em 73% dos prédios vistoriados, tal degradação é agravada pela umidade ascendente – identificada na metade dos prédios – e pelas deficiências nas esquadrias que permitem a percolação da água de chuva.

7- Quando considerados somente os prédios com até 05 anos de idade conclui-se que as patologias mais presentes nas primeiras idades são as fissuras, com 89% de ocorrência, e os descolamentos em placas e com pulverulência com 67% de ocorrência.

7 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Considerando que o registro e a divulgação de dados sobre problemas patológicos podem contribuir para o aprimoramento das técnicas construtivas, criando a possibilidade de que repetidos erros sejam evitados, a continuidade dos estudos sobre patologias dos revestimentos torna-se importante.

A exemplo de outros países como Portugal, Itália e França que disponibilizam à população catálogos das principais patologias incidentes em suas edificações, estudos mais aprofundados que contemplem a descrição dos problemas patológicos, os métodos de diagnóstico utilizados, a definição das principais causas e soluções possíveis de reparação, podem ser um grande contributo à comunidade da construção.

Estudos que visem quantificar os custos da não qualidade na construção civil brasileira podem expressar a dimensão econômica que as patologias representam no custo total da edificação e reforçar a importância dos investimentos na melhoria da qualidade das construções.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGOSTINHO, C. S. A. **Estudo da evolução do desempenho no tempo de argamassas de cal aérea.** Instituto Superior Técnico – Universidade Técnica de Lisboa - Dissertação Grau de Mestre em Engenharia Civil - Abril 2008

AGUILAR, M. T. P.; CORRÊA, E. C. S.; CARVALHO JR. A. N.; CETLIN, P. R. **Estudo do desempenho de argamassas de revestimento fabricadas com sílica ativa e escória.** IN: CONGRESSO ANNUAL DA ABM – INTERNACIONAL. São Paulo. Anais... São Paulo: ABM, 2002. p 186-194 apud CARVALHO JR., A. N., **Avaliação da aderência dos revestimentos argamassados: uma contribuição à identificação do sistema de aderência mecânico.** Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), 2005. 331p. (Tese, Doutorado em Engenharia Metalúrgica e de Minas).

ALUCCI, M.P.; FLAUZINO, W.D.; MILANO, S. **Bolor em edifícios: causas e recomendações.** In: Tecnologia das Edificações. São Paulo: Pini, 1988, p. 565-570

ALVES, N.J.D. **Avaliação dos aditivos incorporadores de ar em argamassas de revestimento.** Dissertação de mestrado, Universidade de Brasília, 175p, 2002.

ALVES, N., J., D.; DO Ó, S., W. **Aditivos incorporadores de ar e retentores de água.** In: Revestimentos de argamassa: características e peculiaridades. Brasília: LEM – UNB; Sinduscon, 2005. p.46-58.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM-C 270-82; **Standard specification for mortar for unit masonry.** 1982 apud FIORITO, A. J. S. I. **Manual de argamassas e revestimentos: estudos e procedimentos de execução.** 1.ed. São Paulo: Editora Pini, 1994.221p.

ANGELIM, R. R.; CARASEK, H. **Influência da distribuição granulométrica da areia no comportamento dos revestimentos de argamassa.** In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 2003, São Paulo. Anais... São Paulo: CETA / ANTAC, 2003.p.159-168

ANGELIM,R.R.; ANGELIM, S.C.M.; CARASEK, H. **A influência da adição de finos calcários, silicosos e argilosos nas propriedades das argamassas e dos revestimentos** In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 2003, São Paulo. Anais... São Paulo: CETA / ANTAC, 2003. p.401-416

ARROBAS, A. A. M. N., DJANIKIAN, J.G. **Argamassa dosada em central – O desempenho da plasticidade após 12 horas.** In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, III, 1999, Vitória. Anais... Vitória: PPGECC / ANTAC, 1999 .p73-83.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, **NBR 7200: Revestimentos de paredes e tetos com argamassas: materiais, preparo e manutenção.** Rio de Janeiro, 1998

_____. **NBR 7200: Execução de revestimentos de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – Procedimento.** Rio de Janeiro, 1998

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

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

_____. **NBR 13281: Argamassa industrializada para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos - Especificação.** Rio de Janeiro, 1995.

_____. **NBR 13276: Argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos – Determinação do teor de água para obtenção do índice de consistência padrão.** Rio de Janeiro, 1995

_____. **NBR 7175: Cal hidratada para argamassas - Requisitos.** Rio de Janeiro, 2003.

_____. **NBR 5732: Cimento Portland comum.** Rio de Janeiro 1991

_____. **NBR 5733: Cimento Portland de alta resistência inicial.** Rio de Janeiro, 1991.

_____. **NBR 5735: Cimento Portland de alto forno.** Rio de Janeiro, 1991.

_____. **NBR 5736: Cimento Portland pozolânico.** Rio de Janeiro 1991

_____. **NBR 11578: Cimento Portland compostos.** Rio de Janeiro 1991.

_____. **NBR 7211: Agregado para concreto - Especificação.** Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Guia básico de utilização do cimento Portland** 7ed. São Paulo, 2002.28p. (BT – 106)

BARTH, F. **La acción combinada de las lluvias con vientos en las fachadas de los edificios.** Conferência Internacional Confort y Comportamiento Térmico de edificações – COTEDI, Maracaibo Universidade de Zulia, 2000 apud SILVA, A.F. **Manifestações patológicas em fachadas com revestimentos argamassados - estudo de caso em**

edifícios em Florianópolis. Dissertação mestrado Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2007

BARROS, M. B.; TANIGUTI, E. K.; RUIZ, L. B.; SABBATINI, F. H. **Tecnologia construtiva racionalizada para produção de revestimentos verticais.** EPSUSP/ PCC. São Paulo, 1997.

BARROS, M., B. **Fachadas e paredes estão doentes.** Revista de Tecnologia da Construção – Técnica. São Paulo, n 76. Editora Pini, julho, 2003.

BASTOS, P.K X.; DETRICHE, C.H.; BALAYSSAC, J.P.; CINCOTTO, M.A. **Método de ensaio para medida da retração de argamassas de revestimento no estado fresco.** In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, IV, 2001, Brasília. Anais...Brasília: ANTAC, 2001. p 131-143

BAUER, L.A.FALCÃO. **Materiais de Construção.** São Paulo: Livros Técnicos e Científicos Editora – 2 volumes – 5ª Edição – 1994

BAUER, E. **Sistemas de revestimento de argamassa – generalidades.** In: Revestimentos de argamassa: características e peculiaridades. Brasília: LEM-UNB; Sinduscon, 2005. p. 07-13.

BAUER, R.J.F. **Patologia em revestimentos de argamassa inorgânica.** In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, II, 1997, Salvador. Anais... Salvador: CETA / ANTAC, 1997.

CANDIA, M., C.; FRANCO, L., S. **Contribuição ao Estudo das Técnicas de Preparo da Base no Desempenho dos Revestimentos de Argamassa.** Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Boletim Técnico - BT/PCC/223. São Paulo - 1998

CARASEK, H. **Aderência de argamassas à base de cimento Portland a substratos porosos; avaliação dos fatores intervenientes e contribuição ao estudo do mecanismo da ligação.** São Paulo: Escola Politécnica da USP, 1996. 285p. (Tese, Doutorado em Engenharia de Construção Civil e Urbana).

CARASEK, H. **Fatores que exercem influência na resistência de aderência de argamassas.** In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, II, 1997, Salvador. Anais... Salvador: CETA / ANTAC, 1997

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

CARASEK, H.; CASCUDO, O.; SCARTEZINI, L. M. **Importância dos materiais na aderência dos revestimentos de argamassa.** In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, IV, 2001, Brasília. Anais... Brasília: PECC / ANTAC, 2001.p43-67.

CARASEK, H.; ALMEIDA, D. **Avaliação da permeabilidade e da absorção de água de revestimentos de argamassa pelo método de cachimbo.** In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 2003, São Paulo. Anais... São Paulo: CETA / ANTAC, 2003

CARASEK, H. **Argamassas.** In: Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais. ISAIA, G.C. (Organizador/Editor). São Paulo: IBRACON, 2007 p863-804

CARDOSO, F. A.; MENDES, T. M.; CAMPORA, F. L.; PILEGGI, R.G.; JOHN, V. M. **Caracterização física de argamassas de revestimento do mercado nacional.**In:

Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas, VIII, In: Anais, ANTAC, Curitiba, 2009.

CARVALHO, JR., A. N.; SILVA, A. P.; NETO, F. M. **Perícias em patologias de revestimentos de fachadas**. In: Congresso brasileiro de engenharia de avaliações e perícias, X COBREAP. Porto Alegre: IBAPE, 1999.

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

CARVALHO JR., A. N., **Materiais de revestimento**. Notas de aula mestrado em engenharia civil Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), 2007.

CASCUDO, O.; CARASEK, H.; HASPARYK, N.P. **Microestrutura dos Materiais Cerâmicos**. In: Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais. ISAIA, G.C. (Organizador/Editor). São Paulo: IBRACON, 2007. p.321-350

CAVANI, G. R.. **Ensaio** – Revista de Tecnologia da Construção – Técnica. São Paulo, n. 88, julho, 2004.

CAVANI, G. R. **Aderência de argamassa**. Revista de Tecnologia da Construção – Técnica. São Paulo, n 142. Editora Pini, janeiro, 2009.

CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DU BATIMENT. **Conditions générales d'emploi et de mise en oeuvre des enduits d'imperméabilisation de mur à base de liants hydrauliques faisant l'objet d'un avis technique**. Cahiers du CSTB, Paris, n.230, cahier 1777, 7p. juin 1982. apud CARNEIRO, A.M.P., CINCOTTO, M.A. **Requisitos e critérios de desempenho para revestimento de camada única em argamassa de cimento e cal**.

In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 1995, Goiânia. Anais. PECC / ANTAC, 1995. p 326 – 337

CHEW, M. Y. L.; PING, T. P. **Staining of facadas**. Singapura, 2003. apud UEMOTO, K. L.; SATO, N. M. N.; JOHN, V. M. **Influência do sistema argamassa/pintura nos fenômenos de transporte de água em revestimentos de argamassas**. In: Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas, VIII, In: Anais, ANTAC, Curitiba, 2009.

CINCOTTO, M.A. **A cal na patologia das argamassas**. Associação Brasileira dos Produtores de Cal, São Paulo, 1985

CINCOTTO, M.A. **Patologia das argamassas de revestimento: análise e recomendações**. In: Tecnologia de Edificações. São Paulo: Ed. Pini. 1988. p.549-554.

CINCOTTO, M. A., SILVA, M. A. C., CARASEK, H. **Argamassas de revestimento; Características, propriedades e métodos de ensaio** (Publicação IPT 2378). 1.ed. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1995. 118p.

CINCOTTO, M. A., BOLORINO, H. **A influência do tipo de cimento nas argamassas**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, II, 1997, Salvador. Anais... Salvador: CETA / ANTAC, 1997. p15-25.

CINCOTTO, M.A.; CARASEK, H.; BONIN, L.C.; SOUZA, U.E.L. **Massa crítica pela qualidade**. Revista de Tecnologia da Construção – Técnica – São Paulo – n 41, p.68 a 72, julho/agosto, 1999.

CINCOTTO, M.A.C.; CARNEIRO, A.M.P. **Estudo da influência da distribuição granulométrica nas propriedades de argamassas dosadas por curvas granulométricas**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 3., 1999, Anais... Vitória, UFES.

CINCOTTO, M.A.; QUARCIONI,V.A.; JOHN,V.M. **A cal na construção civil.** In: Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciências e Engenharia de Materiais. São Paulo. Ibracon.2007. p695-726

CRUZ, N. T. C. C. **Estudo da influência da granulometria das areias no desempenho de rebocos de ligante hidráulico.** Instituto Superior Técnico – Universidade Técnica de Lisboa - Dissertação Grau de Mestre em Engenharia Civil - Novembro 2008

FARIAS, M.M.; PALMEIRA,E.M. **Agregados para construção civil.** In: Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciências e Engenharia dos Materiais. ISAIA,G.C. (Organizador/Editor).São Paulo: IBRACON,2007.p481-524

FREITAS, V. P.; ALVES, S. M. **Tipificação de patologias em argamassas.** In: Anais do VIII Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, ANTAC, Curitiba – PR, 2009.

FIORITO, A.J.S.I. **Manual de argamassas e revestimentos.** São Paulo: Pini, 1994

GALLEGOS, H.; CASABONNE, C. **Albañilería Estructural.** Peru: Fondo Editorial, 2005. Tercera Edición .427p

GONÇALVES, T.C.D. **Salt crystallization in plastered or rendered walls.** Instituto Superior Técnico - Universidade Técnica de Lisboa – Tese PHD em Engenharia Civil. Julho 2007.

GUIMARÃES, J. E. P. **A cal. Fundamentos e Aplicações na Engenharia Civil** 2^a ed. São Paulo: Pini,2002. 341p.

IAZIGI, W. **A Técnica de Edificar.** 4ed. São Paulo: Editora Pini, 2002.669p

IOSHIDA,T.; BARROS,M.M.S.B. **Caracterização de argamassas no estado fresco: peculiaridades na análise de argamassas industrializadas.** In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 1995, Goiânia. Anais... Goiânia / ANTAC, 1995.

JOHN, V. M. **Repensando o papel da cal hidratada nas argamassas** In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS – V, 2003, São Paulo. Anais. São Paulo: EPUSP-PCC/ANTAC, p.47-62.

JOISEL, A. **Fissuras y grietas em morteros y hormigones: sus causas y remédios.** Barcelona: Editores Técnicos Asociados, 1965

LAWRENCE, S.J.; CAO, H.T. **An experimental study of the interface brick and mortar.** In: North American Masonry conference, Los Angeles, 1987. Proceeding. Los Angeles, G.C. Hartanol e J. Kaviotis, 1987, p. 48 apud CARASEK, H.; CASCUDO, O.;SCARTEZINI, L. M. **Importância dos materiais na aderência dos revestimentos de argamassa.** In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, IV, 2001, Brasília. Anais... Brasília: PECC / ANTAC, 2001.p43-67.

LORDSLEEM JR.,A.C. **Sistemas de recuperação de fissuras da alvenaria de vedação: avaliação da capacidade de deformação.** Dissertação mestrado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 1997.174p.

MACIEL,L.L; MELHADO,S.B. **Diretrizes para o detalhamento do projeto do revestimento de argamassa de fachada.** In:SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 1999, Vitória. Anais... Vitória / ANTAC, 1999.

MASSARI, G.; MASSARI, I. **Damp buildings - old and new.** ICCROM, Rome.1993 apud GONÇALVES, T.C.D. **Salt crystallization in plastered or rendered walls.** Instituto

Superior Técnico - Universidade Técnica de Lisboa – Tese PHD em Engenharia Civil.
Julho 2007.

MEDEIROS, J.S. **Desempenho das vedações frente à ação da água.** In: Seminário de tecnologia e gestão da produção de edifícios vedações verticais. São Paulo. PCC/ EPUSP 1998

MEHTA, P.K., MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: Estrutura, Propriedades e Materiais.** 3 ed. São Paulo: Pini, 2008, 581

MELO, K., A.; ANDRADE, A. F. L.; LIRA, E. M.; FRANÇA, M. S.; QUEIROZ, M. M.; CARNEIRO, A. M. P. **A influência do teor de cal hidratada nas propriedades de argamassas de cimento, cal e areia.** In: 2º Congresso Nacional de Argamassas de Construção – APFAC Lisboa 2007 – site acessado em 04/10/2009 - www.apfac.pt/congresso2007

MONTE, R.; UEMOTO, K. L.; SELMO, S. M. S. **Qualificação de aditivos incorporadores de ar para argamassas de assentamento e revestimento.** In: Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas, 5º. Anais... São Paulo, 2003, p. 181-194.

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

NASCIMENTO, O., L. **Estudo do comportamento de aderência de argamassas de chapisco para revestimentos sobre superfícies de concreto de cimento Portland CPIII.** Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), 2005. 307p. (Dissertação, Mestrado em Engenharia Metalúrgica e de Minas).

NEHDI, M.; MINDESS,S.; AİTCIN, P.C. **Rheology of High-Performance Concrete: Effect of Ultrafine Particles.** Cement and Concrete Research, Volume 28, Issue 5, May 1998, p. 687-697 apud JOHN, V. M. **Repensando o papel da cal hidratada nas argamassas** In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS – V, 2003, São Paulo. Anais. São Paulo: EPUSP-PCC/ANTAC, p.47-62.

NETO,C.S. **Agregados para concreto.** In:Concreto. Ensino, Pesquisa e Realizações. São Paulo: Ibracon.2005.p323-343

NEVILLE, A.M. **Propriedades do Concreto.**1ed. São Paulo: Pini, 1982. 828p.

OLIVEIRA, L.A.; MOREIRA, T.M.; FILHO,C.V.T. **Estanqueidade de fachadas à água de chuva.** Revista de Tecnologia das Construções – Técnica. n106, janeiro de 2005. Editora Pini. São Paulo.

PAES, I., N., L.; ANDRADE, M., A., S.; ANGELIM, R., R.; HASPARYK, N., P.; OLIVEIRA, R., A.; PASSOS, J., S.; THON, D., G.; CARASEK, H. **Efeito de finos calcários nas propriedades da argamassa de revestimento.** Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas, III, In: Anais, ANTAC, Vitória, 1999.

PAES, I.L.; BAUER.E.;CARASEK, H. **Influência da estrutura de poros de argamassas mistas e de blocos de concreto e cerâmico no desempenho dos revestimentos.** In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 2005, Florianópolis. Anais... Florianópolis: CETA / ANTAC, 2005.

PEREZ, A.R. **Umidade nas edificações: recomendações para prevenção da penetração de água pelas fachadas** In: Tecnologia de Edificações. São Paulo: Ed. Pini. 1988. p.571-578.

PEREIRA, A.P.C; CARASEK, H.; FRANCINETE, P. **Influência da cura no desempenho de revestimentos com argamassas inorgânicas.** In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE

TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 2005, Florianópolis. Anais... Florianópolis: CETA / ANTAC, 2005.

RATO, V. N. P. M. **Influência da microestrutura morfológica no comportamento de argamassas.** Tese de doutorado em Engenharia Civil. Universidade Nova de Lisboa – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Lisboa, 2006. apud CRUZ, N. T. C.C. **Estudo da influência da granulometria das areias no desempenho de rebocos de ligante hidráulico.** Instituto Superior Técnico – Universidade Técnica de Lisboa - Dissertação Grau de Mestre em Engenharia Civil - Novembro 2008

RIBEIRO, C. C.; PINTO, J. D. S.; STARLING, T. **Materiais de Construção Civil.** 2ed. Belo Horizonte: Editora UFMG e Escola de Engenharia da UFMG, 2002. 102p.

ROMANO, R.C.O.; CARDOSO, F.A.; MENDES, T.M.; JOHN, V.M.; PILEGGI, R.G. **Impacto do uso de incorporador de ar nas propriedades reológicas de argamassas.** Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas, VII, In: Anais, ANTAC, Recife, 2007.

ROMANO, R. C. O.; MENDES, T. M.; JOHN, V. M.; PILEGGI, R. G. **Efeito do tempo de mistura nas propriedades de argamassas com ar incorporado.** Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas, VII, In: Anais, ANTAC, Recife, 2007.

RODRIGUES, M. P. S. F. F. **Revestimentos de impermeabilização de paredes à base de ligantes minerais.** Lisboa: Universidade Técnica de Lisboa – Instituto Superior Técnico (IST), 1993. 278p. (Dissertação, Mestrado em Construção) apud CARVALHO JR., A. N. **Avaliação da aderência dos revestimentos argamassados: uma contribuição à identificação do sistema de aderência mecânico.** Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), 2005. 331p. (Tese, Doutorado em Engenharia Metalúrgica e de Minas).

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

SAHADE, R.F. **Avaliação de sistemas de fissuras em alvenarias de vedação**. Dissertação de mestrado. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. 2005

SATO, N. M. N. **Penetração de umidade e crescimento de fungos em fachadas**. São Paulo: EPUSP, 2000. apud SILVA, A.F. **Manifestações patológicas em fachadas com revestimentos argamassados- estudo de caso em edifícios em Florianópolis**. Dissertação mestrado Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2007

SENTONE, D.T.; ROMANO, R.C.O.; PILEGGI, R.G.; JOHN, V. M. **Caracterização reológica de argamassas mistas aditivadas com incorporador de ar**. In: Anais do VIII Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, ANTAC, Curitiba – PR, 2009.

SELMO, S. **Dosagem de argamassa de cimento Portland e cal para revestimento externo de fachada de edifícios**. São Paulo, 1989. Dissertação mestrado – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. apud GODOY,E.H.P.; BARROS,M.M.S.B. **Proposta de procedimento de ensaio para avaliação do módulo de deformação de argamassas**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 1999, Vitória. Anais. ANTAC, 1999. p 159 – 167

SHIRAKAWA, M.A.; MONTEIREIRO, A.B.B.; SELMO, S.M.S.; CINCOTTO, M.A. **Identificação de fungos em revestimentos de argamassa com bolor evidente**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS. 1995, Anais... Goiânia. p402-410

SHIRAKAWA, M., A.; CINCOTTO, M. A.; GAMBALE, V. **Influência do crescimento de fungos na carbonatação de argamassas**. In: Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas, VIII, In: Anais, ANTAC, Curitiba, 2009.

SILVA, J.M.; ABRANTES, V. **Patologia em paredes de alvenaria: causas e soluções**. In: Seminário sobre Paredes de Alvenaria – Inovação e possibilidades atuais. Universidade do Minho. Lisboa. 2007. Consulta pela internet em 21/09/09 - www.civil.uminho.pt/alvenaria/docs/065_084.pdf

SOUZA, R.; MEKBEKIAN, G.; FRANCO, L. S.; BARROS, M. M. S. B.; ASSAHI, P. N.; UEMOTO, K. L. **Qualidade na aquisição de materiais e execução de obras**. 1ed. São Paulo: Editora Pini, 1996. 275p.

SOUZA, G.F. **Eflorescências nas argamassas de revestimento**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, II, 1997, Salvador. Anais... Salvador: CETA / ANTAC, 1997

THOMAZ, E. **Trincas em edifícios: causas, prevenção e recuperação**. Editora Pini. São Paulo. 1989.

THOMAZ, E. **IPT Responde**. Pini Web. Notícias. 12/12/00. www.piniweb.com.br. Acessado em 27/11/09

TRISTÃO, F.A. **Influência dos parâmetros texturais das areias nas propriedades das argamassas mistas de revestimento**. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), 2005. 234p. (Tese, Doutorado em Engenharia Civil).

UEMOTO, K.L. **Patologia: danos causados por eflorescência**. In: Tecnologia de Edificações. São Paulo: Ed. Pini. 1988. p.561-564.

UEMOTO, K., L.; SATO, N., M., N.; JOHN, V., M. **Influência do sistema argamassa/pintura nos fenômenos de transporte de água em revestimentos de argamassas.** In: Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas, VIII, In: Anais, ANTAC, Curitiba, 2009.

VEIGA, M. R. **Comportamento de argamassas de revestimento de paredes.** In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS – V, 2003, São Paulo. Anais. São Paulo: EPUSP-PCC/ANTAC, p.63-93.

ANEXOS

Ficha de vistoria				
Cidade	Alfenas			
Data da vistoria	4/6/2009			
Idade da edificação	6 anos			
Número de pavimentos	3			
Patologia	Localização	Revestimento	Configuração	Prováveis Causas
Fissura	Fachada	Reboco	Fissura mapeada	Condições de cura, consumo excessivo de cimento
Eflorescência	Laje de cobertura do <i>hall</i> de entrada - parte externa	Reboco	Manchas brancas	Umidade devido à deficiência do sistema de impermeabilização. Efloramento de sais
Descolamento com pulverulência	<i>Hall</i> de entrada parte interna	Reboco	Desplacamento da pintura e início da deterioração do reboco	Umidade ascendente
Fissura	<i>Hall</i> de entrada parte interna	Reboco	Fissura vertical	Movimentação do suporte

Ficha de vistoria				
Cidade	Campo Belo			
Data da vistoria	5/6/2009			
Idade da edificação	2 anos			
Número de pavimentos	2			
Patologia	Localização	Revestimento	Configuração	Prováveis Causas
Fissura	Circulação do 2º pavimento	Reboco	Fissura vertical com leve inclinação	Movimentação do suporte
Descolamento com pulverulência	Circulação do 2º pavimento	Reboco	Deslocamento da pintura e início da deterioração do reboco	Infiltração de água de chuva - deficiência na cobertura
Fissura	Fachada	Reboco	Fissura horizontal	Fissura na interface da viga com alvenaria. Movimentação diferencial dos elementos da base - ausência de tela
Fissura	Fachada	Reboco	Fissuras inclinadas	Fissuras inclinadas nos cantos das esquadrias - deficiência da contra-verga
Fissura	Fachada	Reboco	Deslocamento da pintura e início da exposição do reboco	Infiltração de água de chuva pela fissura

Ficha de vistoria				
Cidade	Belo Horizonte			
Data da vistoria	28/5/2009			
Idade da edificação	15 anos			
Número de pavimentos	5			
Patologia	Localização	Revestimento	Configuração	Prováveis Causas
Descolamento com pulverulência	Paredes da garagem	Reboco	Desagregação do reboco	Umidade ascendente. Carência de aglomerantes. Emprego de adições em substituição à cal
Fissura	Fachada	Reboco	Fissura horizontal	Fissura na interface da viga com alvenaria. Movimentação diferencial nos elementos da base - ausência de tela
Vesículas	Paredes da garagem	Reboco	Expansão de pontos localizados, destacamento da pintura e exposição do reboco	Presença de matéria orgânica ou de impurezas no agregado

Ficha de vistoria				
Cidade	Curvelo			
Data da vistoria	6/5/2009			
Idade da edificação	4 anos			
Número de pavimentos	2			
Patologia	Localização	Revestimento	Configuração	Prováveis Causas
Descolamento em placas	Platibanda parte interna	Reboco	Som cavo sob percussão	Preparação deficiente da base
Fissura	Paredes internas da circulação e de diversas salas	Reboco	Fissura vertical, horizontais e fissura com leve inclinação	Fissuração da base ou suporte
Fissura	Platibanda parte interna	Reboco	Horizontal	Fissuração da base ou suporte

Ficha de vistoria				
Cidade	Guaxupé			
Data da vistoria	3/6/2009			
Idade da edificação	01 ano			
Número de pavimentos	3			
Patologia	Localização	Revestimento	Configuração	Prováveis Causas
Fissura	Fachada	Reboco	Fissura vertical	Fissuração da base ou suporte
Fissura	Secretaria	Reboco	Fissura vertical com leve inclinação	Fissuração da base ou suporte
Descolamento com pulverulência	Secretaria	Reboco	Desagregação do reboco	Umidade devido à percolação de água de chuva pela esquadria e pela parede
Descolamento com pulverulência	Secretaria	Reboco	Manchas escuras, início da desagregação do reboco	Penetração de água de chuva pela esquadria
Descolamento em placas	Terraço - parede externa	Reboco	Desplacamento do revestimento	Movimentações higrótérmicas - ciclos de umedecimento e secagem

Ficha de vistoria				
Cidade	Lavras			
Data da vistoria	5/6/2009			
Idade da edificação	02 anos			
Número de pavimentos	3			
Patologia	Localização	Revestimento	Configuração	Prováveis Causas
Descolamento em placas	Mureta do jardim	Reboco	Destacamento do revestimento. Som cavo sob percussão	Fissuração do revestimento
Fissura	Fachada	Reboco	Fissura vertical	Fissuração da base ou suporte
Bolor	Parede da caixa da escada	Reboco	Manchas marrons	Presença de umidade - infiltração de água de chuva pela fissura
Fissura	Fachada	Reboco	Fissura horizontal com inclinação leve. Apresenta sinais de início de destacamento do revestimento	Argamassa de arremate para instalação do peitoril. A fissuração na interface com as duas argamassas demonstra que não ocorreu compatibilidade entre as mesmas
Fissura	Secretaria	Reboco	Fissura horizontal	Movimentação da camada de suporte
Descolamento em placas	Fachada	Reboco	Desplacamento do revestimento	Falta de aderência do revestimento à base

Ficha de vistoria				
Cidade	Muriaé			
Data da vistoria	28/3/2009			
Idade da edificação	7 anos			
Número de pavimentos	3			
Patologia	Localização	Revestimento	Configuração	Prováveis Causas
Fissura	Fachada	Reboco rústico	Fissura horizontal	Fissura na interface da viga com alvenaria. Movimentação diferencial nos elementos da base - ausência de tela
Bolor	Fachada	Reboco rústico	Mancha escura	Infiltração de água de chuva pelo peitoril das janelas e chapim da platibanda
Fissura	Fachada	Reboco rústico	Fissura horizontal com leve inclinação	Movimentação do suporte
Fissura	Fachada	Reboco rústico	Fissura mapeada	Condições de cura, consumo excessivo de cimento
Fissura	Circulação	Reboco	Fissura vertical com leve inclinação	Movimentação do suporte

Ficha de vistoria				
Cidade	Nova Serrana			
Data da vistoria	17/7/2009			
Idade da edificação	2 anos			
Número de pavimentos	2			
Patologia	Localização	Revestimento	Configuração	Prováveis Causas
Fissura	Circulação	Reboco	Fissuras inclinadas	Movimentação do suporte
Fissura	Fachada	Reboco	Fissuras mapeadas	Condições de cura, consumo excessivo de cimento

Ficha de vistoria				
Cidade	Paracatu			
Data da vistoria	26/5/2009			
Idade da edificação	2 anos			
Número de pavimentos	4			
Patologia	Localização	Revestimento	Configuração	Prováveis Causas
Descolamento em placa	Hall de entrada parte interna	Reboco	Desplacamento da pintura e início do descolamento do reboco	Umidade ascendente. Movimentações higrotérmicas
Fissura	Hall do elevador no 2º pavimento	Reboco	Fissura vertical e fissura com leve inclinação	Fissuração da base ou suporte
Fissura	Fachada	Reboco	Fissura horizontal. Início da desagregação do reboco	Umidade por precipitação. Peitoril sem inclinação
Descolamento com pulverulência	Gabinete no 2º pavimento	Reboco	Desplacamento da pintura e início da desagregação do reboco	Umidade devido à infiltração da água de chuva pela esquadria
Bolor - manchas brancas	Fachada nos cantos da esquadria	Reboco	Manchas brancas	Umidade por precipitação. Peitoril sem inclinação

Ficha de vistoria				
Cidade	Pompéu			
Data da vistoria	27/5/2009			
Idade da edificação	4 anos			
Número de pavimentos	1			
Patologia	Localização	Revestimento	Configuração	Prováveis Causas
Fissura	Fachada	Reboco	Fissura horizontal	Fissura no alinhamento da platibanda. Movimentação da base
Bolor	Fachada	Reboco	Mancha escura	Infiltração de água de chuva pelo peitoril das janelas e chapim da platibanda
Descolamento com pulverulência	Gabinete	Reboco	Desplacamento da pintura e desagregação do reboco	Umidade devido à infiltração da água de chuva pela esquadria
Bolor	Parte interna da laje de cobertura	Reboco	Mancha escura	Infiltração de água de chuva provavelmente por deficiência na cobertura
Descolamento em placas	Fachada	Reboco	Desplacamento da pintura e destacamento do reboco	Umidade devido à infiltração da água de chuva pela esquadria
Fissura	Parede do <i>hall</i> de entrada	Reboco	Fissura com leve inclinação	Fissuração da base ou suporte

Ficha de vistoria				
Cidade	Sete Lagoas			
Data da vistoria	7/5/2009			
Idade da edificação	11 anos			
Número de pavimentos	3			
Patologia	Localização	Revestimento	Configuração	Prováveis Causas
Eflorescência	Parede da caixa d'água	Reboco	Escorrimento de sais na região das fissuras	Fissuração, umidade e efloração de sais
Descolamento com pulverulência	Paredes da circulação interna e diversos outros locais	Reboco	Desagregação do reboco	Umidade ascendente. No segundo pavimento pode ser provocado pela água de limpeza do piso
Fissura	Pilar interno na circulação	Reboco	Vertical	Movimentação da base
Bolor	Parte interna da laje de cobertura do <i>hall</i>	Revestimento argamassado com prediscos	Mancha escura	Infiltração de água de chuva provavelmente por deficiência na cobertura e fissura na laje
Fissura	Fachada	Revestimento argamassado com prediscos	Fissura mapeada	Retração
Bolor	Fachada	Revestimento argamassado com prediscos	Mancha escura	Infiltração de água de chuva pelo chapim da platibanda
Fissura	Fachada	Revestimento argamassado com prediscos	Fissura horizontal	Fissuração do suporte provavelmente por movimentação térmica

Ficha de vistoria				
Cidade	Três Corações			
Data da vistoria	5/6/2009			
Idade da edificação	8			
Número de pavimentos	2			
Patologia	Localização	Revestimento	Configuração	Prováveis Causas
Descolamento com pulverulência	Circulação do 1º pavimento	Reboco	Desplacamento da pintura e início da deterioração do reboco	Umidade ascendente
Bolor	Paredes e teto salão do júri	Reboco	Manchas marrons	Presença de umidade - infiltração de água de chuva pela cobertura do salão do júri
Descolamento com pulverulência	Salão do júri	Reboco	Desagregação do reboco	Umidade devido a percolação de água de chuva pela cobertura
Eflorescência	Fachada	Reboco	Escorrimento de sais na região das fissuras	Fissuração, umidade e efloração de sais
Vesículas	Fachada	Reboco	Expansão de pontos localizados, destacamento da pintura e exposição do reboco	Presença de matéria orgânica ou impurezas no agregado
Fissura	Circulação 1º pavimento	Reboco	Fissura horizontal	Movimentação do suporte

Ficha de vistoria				
Cidade	Três Marias			
Data da vistoria	6/5/2009			
Idade da edificação	5 anos			
Número de pavimentos	1			
Patologia	Localização	Revestimento	Configuração	Prováveis Causas
Bolor	Parte interna da laje de cobertura	Reboco	Mancha escura	Infiltração de água de chuva provavelmente por deficiência na cobertura
Bolor	Parede - face interna do salão do júri	Reboco	Mancha escura	Infiltração de água de chuva pela fachada
Fissura	Parede da circulação interna	Reboco	Fissura com leve inclinação	Fissuração da base ou suporte
Bolor	Fachada	Reboco	Mancha escura	Infiltração de água de chuva pelo chapim da platibanda
Fissura	Fachada	Reboco	Fissura mapeada	Retração do revestimento
Bolor	Parte interna da parede da circulação	Reboco	Mancha esverdeada. Desplacamento do revestimento	Umidade ascendente
Descolamento com pulverulência	Secretaria	Reboco	Desplacamento da pintura e início da desagregação do reboco	Umidade devido à infiltração da água de chuva pela esquadria

Ficha de vistoria				
Cidade	Unai			
Data da vistoria	26/5/2009			
Idade da edificação	4 anos			
Número de pavimentos	5			
Patologia	Localização	Revestimento	Configuração	Prováveis Causas
Descolamento com pulverulência	Hall de entrada parte externa	Reboco	Desagregação do reboco	Umidade ascendente. Carência de aglomerantes. Emprego de adições em substituição à cal
Descolamento com pulverulência	Hall de entrada parte interna	Reboco	Desplacamento da pintura e início da deterioração do reboco	Umidade ascendente
Descolamento em placas	Fachada	Reboco	Destacamento do revestimento	Fissuração
Descolamento com pulverulência	Salão do júri internamente	Reboco	Desagregação do reboco	Umidade ascendente. Carência de aglomerantes. Emprego de adições em substituição à cal

Ficha de vistoria				
Cidade	Varginha			
Data da vistoria	4/6/2009			
Idade da edificação	9			
Número de pavimentos	4			
Patologia	Localização	Revestimento	Configuração	Prováveis Causas
Descolamento com pulverulência	Secretaria do 1º pavimento	Reboco	Desplacamento da pintura e início da desagregação do reboco	Umidade devido à infiltração da água de chuva pela esquadria
*	o prédio passou por uma reforma não sendo possível identificar outras patologias			