**FACULDADES INTEGRADAS DE ARACRUZ**
**CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**BRENDA NUNES MOREIRA**
**GABRIELA NUNES CORREIA BARCELOS**
**RANIELI CARDOSO NASCIMENTO**

# ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO E ESTUDO DE PATOLOGIAS EM REVESTIMENTOS ARGAMASSADOS

ARACRUZ
2020

BRENDA NUNES MOREIRA
GABRIELA NUNES CORREIA BARCELOS
RANIELI CARDOSO NASCIMENTO

# ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO E ESTUDO DE PATOLOGIAS EM REVESTIMENTOS ARGAMASSADOS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil das Faculdades Integradas de Aracruz, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador(a): Prof. Evandro José Pinto de Abreu

ARACRUZ
2020

**FACULDADES INTEGRADAS DE ARACRUZ – FAACZ**
**CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

BRENDA NUNES MOREIRA
GABRIELA BARCELOS
RANIELI CARDOSO NASCIMENTO

# ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO E ESTUDO DE PATOLOGIAS EM REVESTIMENTOS ARGAMASSADOS

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO APRESENTADO COMO REQUISITO PARCIAL PARA CONCLUSÃO DO CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

COMISSÃO EXAMINADORA

_____
Professor(a) Evandro José Pinto de Abreu (Orientador(a))

_____
Professor Harerton Oliveira Dourado (Examinador Interno)

Aracruz
2020

**SUMÁRIO**

**SUMÁRIO** ..... 4

**RESUMO** ..... 7

**1. INTRODUÇÃO** ..... 8

1.2 OBJETIVOS GERAIS ..... 8

1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS ..... 9

1.4 METODOLOGIA ..... 9

**2.0 REVISÃO DA LITERATURA** ..... 10

2.1 BREVE HISTÓRIA ..... 10

2.2 CONCEITO DE ARGAMASSA REVESTIMENTO ..... 10

2.3 MATERIAIS CONSTITUINTES DA ARGAMASSA MISTA ..... 11

**2.3.1 Cimento** ..... 11

**2.3.2 Cal** ..... 11

**2.3.3 Agregados Miúdos** ..... 13

**2.3.4 A pasta** ..... 14

2.4 COMPOSIÇÃO E USO DAS ARGAMASSAS ..... 15

**2.4.1 Tipos de argamassas** ..... 16

2.5 FUNÇÕES DO REVESTIMENTO DE ARGAMASSA ..... 18

2.6 PROPRIEDADES DAS ARGAMASSAS ..... 19

**2.6.1 Consistência** ..... 19

**2.6.2 Trabalhabilidade** ..... 19

**2.6.3 Coesão e Tixotropia** ..... 20

**2.6.4 Plasticidade** ..... 20

**2.6.5 Retenção de Água** ..... 20

**2.6.6 Adesão Inicial** ..... 21

**2.6.7 Aderência no Estado Endurecido** ..... 21

**2.6.8 Elasticidade** ..... 22

2.7 CLASSIFICAÇÃO DAS ARGAMASSAS ..... 22

**2.7.1 Argamassa de Cal** ..... 23

**2.7.2 Argamassa de Cimento** ..... 23

**2.7.3 Argamassa Mista** ..... 23

2.8 DOSAGEM DAS ARGAMASSAS ..... 24

2.9 CARACTERIZAÇÃO DAS ARGAMASSAS ..... 24

**2.9.1 Classificação Segundo NBR 13281** ..... 24

2.10 CLASSIFICAÇÃO DOS REVESTIMENTOS ..... 26

**2.10.1 Emboço** ..... 27

**2.10.2 Reboco** ..... 27

**2.10.3 Massa Única** ..... 28

**2.10.4 Chapisco** ..... 28

**3.0 MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS** ..... 30

3.1 PATOLOGIA DAS EDIFICAÇÕES ..... 30

**3.1.1 Origem** ..... 30

**3.1.2 Causas** ..... 31

**3.1.3 Consequências** ..... 31

3.2 TRINCAS E FISSURAS ..... 33

**3.2.1 Trincas e fissuras causadas por movimentações térmicas** ..... 34

**3.2.2 Trincas e fissuras causadas por movimentações higroscópicas** ..... 39

**3.2.3 Trincas e fissuras causadas por atuação de sobrecargas** ..... 42

**3.2.4 Trincas e fissuras causadas por deformação excessiva de estrutura de concreto armado** ..... 42

**3.2.5 Trincas e fissuras causadas por recalques de fundação** ..... 44

**3.2.6 Trincas e fissuras causadas por retração de produtos a base de cimento** ..... 44

**3.2.7 Trincas e fissuras causadas por alterações químicas dos materiais de construção** ..... **46**

**3.2.8 Trincas e fissuras causadas por hidratação retardada de cales** ..... **46**

**3.2.9 Trincas e fissuras causadas por ataques de sulfatos** ..... **47**

**3.2.10 Trincas e fissuras causadas por corrosão de armaduras** ..... **48**

3.3 BIODETERIORAÇÃO ..... **53**

**3.3.1 Fatores bióticos** ..... **54**

**3.3.2 Os fungos** ..... **54**

**3.3.3 As algas** ..... **54**

**3.3.4 Os líquens** ..... **55**

**3.3.5 Fatores abióticos** ..... **57**

3.4 UMIDADE EM FACHADAS ..... **58**

**3.4.1 Mecanismo de transporte de umidade nos materiais** ..... **60**

**3.4.2 Origem da umidade** ..... **60**

**3.4.2.1 Umidade do terreno** ..... **60**

**3.4.2.2 Umidade de construção** ..... **61**

**3.4.2.3 Umidade por precipitação** ..... **62**

**3.4.2.4 Umidade de condensação** ..... **63**

**3.4.2.5 Umidade provinda do terreno e ação do fenômeno de higroscopicidade** ..... **63**

**4.0 ANÁLISE DOS RESULTADOS** ..... **67**

**5.0 CONSIDERAÇÕES FINAIS** ..... **69**

**6.0 REFERÊNCIAS** ..... **70**

**RESUMO**

As manifestações patológicas nos revestimentos de argamassa têm grande representatividade no que diz respeito à durabilidade da edificação, pois sua importância é caracterizada tanto por serem utilizados em praticamente todas as edificações residenciais, quanto por desempenharem funções estéticas e de proteção da edificação.

Este trabalho trata sobre a influência das características dos materiais utilizados, das propriedades das argamassas, das principais manifestações patológicas que acometem este tipo de revestimento, bem como das causas, os métodos de prevenção e as recomendações de tratamento. Buscou-se demonstrar com esse trabalho que as manifestações patológicas não estão somente relacionadas à qualidade do revestimento, mas também às falhas de execução e projeto, à falta de manutenção nos sistemas e elementos construtivos, além da importância de se trabalhar com profissionais qualificados, podendo evitar a maior parte dos incidentes nas edificações.

**Palavras-chave:** revestimentos argamassados, manifestações patológicas, prevenção.

# 1. INTRODUÇÃO

Os primeiros registros do emprego da argamassa como material de construção são da pré-história, sendo que as mais antigas eram feitas a base de cal e areia. Com o passar do tempo, novas tecnologias foram sendo desenvolvidas e finalmente chegou-se ao cimento Portland, um dos principais componentes das argamassas modernas, que muitas vezes contam ainda com aditivos orgânicos para melhorar algumas propriedades como a trabalhabilidade.

Com o passar dos anos percebemos que argamassas vem sempre sendo utilizadas em praticamente todas as obras de alvenaria sendo de vedação ou estrutural recebe algum tipo do exemplar.

Como vimos, desde a pré-história ela vem sendo utilizada então percebemos o quão complexo pode ser a execução equivocada deste produto que agrega tanto para a engenharia civil, no Brasil, há um predomínio da utilização dos revestimentos argamassados nos edifícios. O intenso uso deste revestimento pode ser atribuído à facilidade de acabamento e à trabalhabilidade, além do seu baixo custo. No entanto, apesar da ampla utilização, a ocorrência de manifestações como, por exemplo, fissuras e trincas ainda é muito frequente, mostrando que os setores da construção civil necessitam de conhecimento técnico mais aprofundado sobre as causas dessas manifestações patológicas e as possíveis medidas preventivas.

Sendo assim, este trabalho objetiva o estudo das principais patologias incidentes sobre este tipo de revestimento, visando a disponibilização de informações que auxiliem os profissionais do ramo a evitarem a propagação dos mesmos erros, reduzindo os custos em reparações que poderiam ser inteiramente evitadas, melhorando a qualidade das obras no país.

## 1.2 OBJETIVOS GERAIS

Evidenciar o conceito e características da argamassa de revestimento, exemplificar as patologias em revestimentos argamassados.

## 1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

O disposto trabalho para melhor entendimento tem como objetivos específicos as etapas a seguir:

- Citar Breve história da argamassa.
- Citar conceito de argamassa de revestimento;
- Exemplificar materiais constituintes da argamassa;
- Descrever composição e uso da argamassa;
- Citar funções do Revestimento de argamassa;
- Analisar Manifestações Patológicas em revestimentos argamassados;

## 1.4 METODOLOGIA

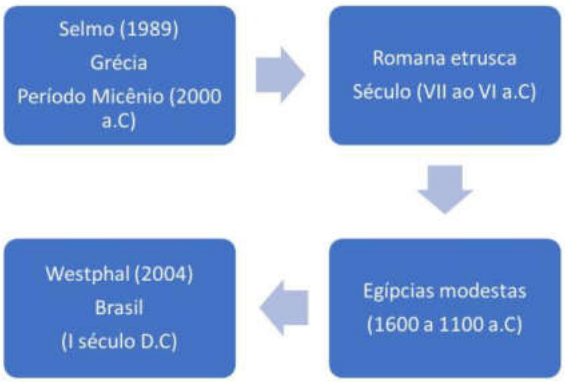
A metodologia utilizada se deu em duas fases: a primeira foi à realização da revisão teórica, segundo Gil (2009) comum em todos os trabalhos acadêmicos, consistindo em uma pesquisa bibliográfica que fundamentou o estudo relacionado a argamassa de revestimento. Já a segunda fase consistiu na realização de um estudo de caso onde analisamos uma tese de mestrado e a utilizamos para exemplificar e fazer nossas considerações finais.

A pesquisa bibliográfica foi feita através de livros, monografias, revistas científicas e técnicas, e catálogos de produtos.

# 2.0 REVISÃO DA LITERATURA

## 2.1 BREVE HISTÓRIA

De acordo com SELMO (1989) nos livros de BOLTSHAUER (1963) constam, que na Grécia, no período micênio (por volta de 2000 a.C.), a argila crua foi empregada em construções de taipa ou pau-a-pique, envolvendo as estruturas resistentes de madeira. Técnica idêntica foi utilizada pela arquitetura romana etrusca (séculos VII ao VI a.C). Nas construções egípcias modestas, de 1600 a 1100 a.C., a argila em pasta era utilizada envolvendo a armação estrutural das casas, feita de caules de plantas ou de tronco de palmeiras. A argila cozida em placas molduradas e com baixos relevos foi também empregada na arquitetura grega, para revestir os paramentos de pedra das fachadas. Os gregos e os romanos preparavam misturas de cal, areia e água, ou adicionavam gesso para obter o estuque, que constitui uma especialidade para revestimentos internos. Em certos casos, adicionavam também na mistura o pó de mármore. Os romanos fizeram uso amplo das argamassas, tanto no assentamento das alvenarias, como nos revestimentos de seus edifícios. Portanto, há mais de 2.000 anos, a argamassa vem sendo utilizada para assentamento e revestimento dos blocos de pedra que constituem as paredes das edificações.




## 2.2 CONCEITO DE ARGAMASSA REVESTIMENTO

De acordo com SABBATINI (1986), argamassa pode ser conceituada como um material complexo, constituído essencialmente de materiais inertes de baixa granulometria (agregados miúdos) e de uma pasta com propriedades aglomerantes, composta por minerais e água (materiais ativos), podendo ser composto, ainda, por produtos especiais, denominados aditivos.

A NBR 13529 (ABNT, 2013) define a argamassa para revestimento como sendo "uma mistura homogênea de agregado(s) miúdo(s), aglomerante(s) inorgânico(s) e água, contendo ou não aditivos ou adições, com propriedades de aderência e endurecimento". Nesta mesma norma brasileira são definidos outros termos usuais envolvendo o revestimento executado à base de cimento e cal, ou ambos, quanto ao campo de sua aplicação iremos abordar apenas sobre o revestimento:

Revestimento: é o recobrimento de uma superfície lisa ou áspera com uma ou mais camadas sobrepostas de argamassa, em espessura normalmente uniforme, apta a receber um acabamento final.

2.3 MATERIAIS CONSTITUINTES DA ARGAMASSA MISTA

A argamassa mista é constituída essencialmente de agregados miúdos e de aglomerantes, que em geral são cimento Portland, cal (que pode ser substituída por aditivos) e/ou gesso.

## 2.3.1 Cimento

O engenheiro John Smeaton, por volta de 1756, procurava um aglomerante que endurecesse mesmo em presença de água, de modo a facilitar o trabalho de reconstrução do farol de Edystone, na Inglaterra. Em suas tentativas, verificou que uma mistura calcinada de calcário e argila se tornava, depois de seca, tão resistente quanto as pedras utilizadas nas construções. Entretanto, foi o pedreiro Joseph Aspdin, em 1824, quem patenteou a descoberta, batizando-a de cimento Portland, numa referência à Portlandstone, tipo de pedra arenosa muito usada em construções na região de Portland, Inglaterra. No pedido de patente constava que o calcário era moído com argila, em meio úmido, até se transformar em pó. A água era evaporada pela exposição ao sol ou por irradiação de calor através de cano com vapor. Os blocos da mistura seca eram calcinados em fornos e depois moídos bem finos (TAYLOR, 1967).

Usualmente utilizam-se para confecção de argamassas Cimento Portland CP II Z (com adição de material pozolânico) e o CP II F (com adição de material carbonático – filer).

### 2.3.2 Cal

a) Cal virgem e cal hidratada

Os calcários e os dolomitos quando calcinados à temperatura próxima de 1000º C, produzem a cal virgem, pela perda de parte dos seus constituintes (anidrido carbônico – CO2).

Segundo a NBR 7175 (ABNT, 2003), a cal hidratada é um pó seco obtido pela hidratação adequada da cal virgem, constituída essencialmente de hidróxido de cálcio ou de uma mistura de hidróxido de cálcio e hidróxido de magnésios, ou ainda, de uma mistura de hidróxido de cálcio, hidróxido de magnésio e óxido de magnésio.

b) Aplicações

Tradicionalmente, sempre se utilizou cal como um dos constituintes das argamassas. Atualmente, com o uso de aditivos cada vez mais difundido, a cal tem sido abandonada em muitos casos. No entanto, sabe-se que essa prática afeta a durabilidade do revestimento, como já observado em alguns países da Europa, como por exemplo a França, que tem a cal como um dos vários constituintes das argamassas (RAGO & CINCOTTO, 1999).

Segundo RAGO & CINCOTTO (1999), a cal no estado fresco propicia maior plasticidade à argamassa, permitindo melhor trabalhabilidade e, consequentemente, maior produtividade na execução do revestimento. Outra propriedade importante no estado fresco da cal é a retenção de água, por não permitir a sucção excessiva de água pela base.

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

Segundo CARASEK et al. (2001), diversos estudos indicam que à medida que se aumenta a percentagem de hidróxido de magnésio na composição da cal, em relação ao hidróxido de cálcio, há também um aumento na capacidade de aderência da argamassa.

A cal tem importante função como material constituinte da argamassa, porém, devidos ao grande número de cales hidratadas fornecidas ao mercado consumidor com problemas de qualidade (apesar da Norma Brasileira NBR 7175 (ABNT, 2003), especificar os requisitos a serem atendidos pelas cales hidratadas), muitos produtos colocados no mercado não atendiam a este documento publicado pela ABNT (CUKIERMAN et al., 2003).

### 2.3.3 Agregados Miúdos

a) Conceito

Segundo a NBR 7211 (ABNT, 2005), agregados miúdos são “agregados cujos grãos passam pela peneira com abertura de malha de 4,75 mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha de 150 µm, em ensaio realizado de acordo com a ABNT NBR NM 248, com peneiras definidas pela ABNT NBR NM ISO 3310-1”.

b) Caracterização do agregado miúdo

A distribuição granulométrica da areia influencia diretamente no desempenho da argamassa, interferindo na trabalhabilidade e no consumo de água e aglomerantes, no estado fresco; no revestimento acabado, exerce influência na fissuração, na rugosidade, na permeabilidade e na resistência de aderência (ANGELIM et al., 2003).

Segundo CINCOTTO & CARNEIRO (1999), foram os trabalhos de FÜLLER & TROMPSON (1907), FURNAS (1931) e de ANDEREGG (1931) que embasaram o desenvolvimento de curvas granulométricas de argamassas, para ser estudada a influência do agregado nas suas propriedades, ressaltando-se que nestes estudos a dosagem do aglomerante e do agregado foi realizada a partir da curva.

Em geral, a areia é caracterizada pelo seu módulo de finura, especificações de faixas granulométricas, ou selecionada a partir de normas, as quais especificam a granulometria dentro de certas faixas. Não existe um consenso entre os autores nacionais, pois curvas granulométricas distintas podem levar ao mesmo módulo de finura. Algumas vezes utiliza-se também o coeficiente de uniformidade. O coeficiente de uniformidade traduz uma continuidade na distribuição granulométrica da areia. É definida como sendo a relação entre os diâmetros correspondentes à abertura da malha pela qual passam 60% e 10% em massa de areia (CARNEIRO, 1999).

De acordo com SELMO (1989), os intervalos adotados para o módulo de finura (MF) para classificação das areias são:

- $MF < 2.0$ - areia fina;
- $2.0 < MF < 3.0$ - areia média;
- $MF > 3.0$ - areia grossa.

A areia não participa das reações químicas do endurecimento da argamassa, interferindo no estado fresco pela composição granulométrica; o formato dos grãos influencia na trabalhabilidade e na retenção de água; no estado endurecido,

influência nas resistências mecânicas, na capacidade de deformação e na permeabilidade (CARNEIRO & CINCOTTO, 1999).

Segundo CARNEIRO et al. (1997), a areia de granulometria muito uniforme, independentemente do formato dos grãos, compromete a trabalhabilidade da argamassa. Há um consequente enrijecimento, impedindo o deslizamento dos grãos da areia entre si, com demanda de um maior consumo de pasta.

A norma NBR 7211 (ABNT, 2005) – Agregados para concreto – Especificações, que passou a vigorar a partir de 29/04/2005, criou novos limites de utilização para agregados miúdos.

Agora, conforme o módulo de finura (MF), classifica em:

- zona utilizável inferior (MF varia de 1,55 a 2,20),
- zona ótima (MF varia de 2,20 a 2,90) e
- zona utilizável superior (MF varia de 2,90 a 3,50).

c) Função dos agregados miúdos

Segundo MINEROPAR (2004) os agregados tem três funções principais:

- prover o aglomerante de um material de enchimento relativamente econômico;
- prover a pasta de partículas adaptadas para resistir às cargas aplicadas, ao desgaste mecânico e à percolação da intempérie;
- Reduzir as variações de volume resultantes do processo de pega, endurecimento e variações de umidade na pasta de cimento, cal e água.

d) Classificação dos Agregados Miúdos

De acordo com MINEROPAR (2004), quanto à origem os agregados são classificados em:

- naturais: já encontrados na natureza sob a forma definitiva de utilização (areia de rio);
- artificiais: são os que necessitam de modificação textural para chegar à condição apropriada ao seu uso, como é o caso da areia de origem da britagem das rochas como basaltos, calcários, sílex, pórfiros, arenitos quartzitos e gnaisses.

### 2.3.4 A pasta

Os aglomerantes são misturados à água para formar a pasta, que ao endurecer apresenta retração excessiva, devido à evaporação da água da mistura.

Quando misturamos a pasta a um agregado miúdo, obtém-se o que se chama de argamassa, formada pela mistura de um material ativo e de um inerte. O material ativo tem como objetivo envolver os grãos do material inerte, que após a cura e a secagem do conjunto em estado fresco, forma a argamassa endurecida. Além de baratear o custo da argamassa, os agregados melhoram seu desempenho, trazendo vantagens como a diminuição da retração por secagem, o aumento da resistência mecânica e, no caso de argamassas de cal, facilitam a recarbonatação do hidróxido de cálcio, permitindo a passagem do anidrido carbônico do ar e, consequentemente, auxiliando na solidificação do conjunto (PETRUCCI, 1975).

## 2.4 COMPOSIÇÃO E USO DAS ARGAMASSAS

As argamassas são muito utilizadas na construção para assentamento de blocos cerâmicos, de blocos de concretos e de pedras. São também utilizados em trabalhos de acabamento, chapiscos, emboços e rebocos, bem como para a execução de contra-pisos, pisos cimentados etc.

Petrucci (1975) apresenta a classificação das argamassas levando em conta o tipo de aglomerante, o tipo de elementos ativos, a dosagem e a consistência.

Quanto ao tipo de aglomerante, elas se subdividem em três grupos. São aéreas quando se utiliza um ou mais tipos de aglomerantes aéreos, são hidráulicas quando utiliza-se um ou mais aglomerantes hidráulicos; e são mistas quando utilizasse um aglomerante aéreo e um hidráulico.

Quanto ao tipo de elementos ativos elas podem ser simples, quando possuem somente um elemento ativo, e compostas, quando possuem mais de um elemento ativo.

Quanto à dosagem, as argamassas podem assumir três formas distintas.

São pobres ou magras quando o volume de aglomerante é insuficiente para preencher os vazios dos agregados; são cheias quando os vazios são perfeitamente preenchidos pela pasta, formando a dosagem ideal; e são ricas ou gordas, quando há excesso de pasta.

Por fim, quanto à consistência, elas podem ser secas, quando existe falta de água na mistura; plásticas, quando a quantidade de água da mistura é suficiente para formar uma pasta moldável; e fluídas, quando há excesso de água na mistura.

As argamassas mais utilizadas atualmente são as hidráulicas, que recebem como aglomerante o cimento, sendo frequentemente utilizadas em alvenarias de pedras

devido à sua resistência mecânica e, especialmente, por sua resistência à umidade. São também utilizadas para chapisco, devido ao seu rápido endurecimento, bem como em situações onde é exigida resistência à umidade, como ocorre em lugares como reservatórios de água, muros de contenções e outras obras hidráulicas (GUIMARÃES, 1997).

As argamassas de cal eram muito utilizadas na execução de emboço e de reboco sem uso do cimento, devido a sua plasticidade, as suas condições favoráveis ao endurecimento, além de proporcionar um acabamento esmerado. Também eram utilizadas no assentamento de alvenarias de vedação. No entanto, devido a sua resistência e durabilidade, ressalta Petrucci (1975), as argamassas de cimento passaram a ser as mais utilizadas. A cal deixou de ser o aglomerante principal, passando a ser utilizada em menores proporções apenas para melhorar a trabalhabilidade, pois as argamassas de cimento são mais resistentes, porém de difícil trabalhabilidade. Para incorporar esta propriedade é adicionada cal à mistura, de modo a prover a plasticidade necessária obtendo-se assim, uma argamassa de melhor manuseio.

Ao incorporar a cal à argamassa, se obtém uma argamassa mista, atualmente muito utilizada para execução de alvenarias de vedação, de emboços, rebocos e rebocos monocamada, além de servir para o preparo de paredes que receberão revestimentos cerâmicos.

### 2.4.1 Tipos de argamassas

Durante a execução de uma construção várias argamassas diferentes são utilizadas, cada uma com um fim específico. Como já informado neste trabalho será abordado somente a argamassa utilizada para revestimento.

Possuidora de um grande poder de aderência e capaz de desenvolver uma superfície altamente rugosa, a argamassa para chapisco tem como função, conforme Thomas (1992), criar uma superfície rugosa que permita maior aderência da argamassa de revestimento. Alves (1987) ainda chama atenção para o traço ideal para a argamassa de chapisco que deve ser o de 1: 4 (cimento e areia grossa), porém, deve-se observar que é comum a utilização de areia média na execução do chapisco. Thomaz (1982), enfatiza que se deve verificar a situação da base da alvenaria e da estrutura que receberá o chapisco.

A argamassa de revestimento, por sua vez, segundo a NBR 13749 (1996), serve para tetos e paredes, como revestimento de camada única, ou para chapisco, emboço e reboco. Permite que os acabamentos de superfície sejam: somente sarrafeado no caso de aplicação posterior de reboco; desempenado ou sarrafeado no caso de revestimento posterior de placas cerâmicas; desempenado ou chapiscado, no caso do reboco constituir uma única camada de revestimento.

Características ideais dos revestimentos argamassados descritas na norma NBR 13749 (1996). A saber:

1) Condições do revestimento:

- ser compatível com o acabamento decorativo do revestimento superficial;
- ter resistência mecânica uniforme;
- ser constituído por uma ou mais camadas de argamassas uniformes;
- ter propriedade hidrofugante. No caso de não se empregar argamassa
- hidrofugante, deve ser executada pintura específica;
- ter propriedade impermeabilizante, em caso de revestimento externo em
- contato com o solo;
- resistir à ação de variações normais de temperatura e de umidade.

2) Aspecto: deve apresentar textura uniforme, sem imperfeições, tais como: cavidades, fissuras, manchas e eflorescências.

3) Espessura: quando houver necessidade de empregar revestimento com espessura superior ao do quadro 1, devem-se tomar os cuidados necessários para prover e garantir a aderência do revestimento.

Quadro 1 - Espessura mínima e máxima do revestimento (NBR 13749, p. 2.)

| Revestimento | Espessura (mm) |
|---|---|
| Parede Interna | $5 \leq e \leq 20$ |
| Parede Externa | $20 \leq e \leq 30$ |
| Tetos internos e externos | $e \leq 20$ |

Fonte: NBR 13749, p. 2.

4) Prumo: a diferença de prumo do revestimento para paredes internas de argamassas não deve ser maior que h/900, sendo h a altura da parede em metros. Para paredes externas a norma não especifica qualquer limite.

5) Nivelamento: o nivelamento de revestimentos para tetos de argamassas, não deve ser maior que L/900, sendo o L o comprimento do maior vão do teto, em metros.

6) Planeza: após remoção das areias soltas sob a superfície, as ondulações não devem superar 3 mm em relação a uma régua de 2 m de comprimento. Já as irregularidades abruptas não devem superar 2 mm em relação a uma régua de 20 cm de comprimento.

7) Aderência: os revestimentos de argamassa devem apresentar aderência com base do revestimento e entre suas camadas constituintes. A Norma 13749 especifica que deve ser avaliado, através de ensaios de percussão, realizados através de impactos leves com ferramenta adequada, de modo a verificar se há a existência de trechos com som cavo. A avaliação deve ser feita em cerca de um metro quadrado, para cada 100 m² de paredes. Os trechos que apresentarem som cavo deverão ser integralmente percutidos para se estimar a área total com falha na aderência. Destes seis pontos de ensaio, pelo menos quatro deverão ser iguais ou superiores aos indicados no quadro 2:

Quadro 2 - Limites de resistência à tração (Ra) para emboço camada única.

| **Local** | | **Acabamento** | **Ra (Mpa)** |
|---|---|---|---|
| Parede | Interna | Pintura ou base para reboco | ≥ 0,20 |
| | | Cerâmica ou laminado | ≥ 0,30 |
| | Externa | Pintura ou base para reboco | ≥ 0,30 |
| | | Cerâmica | ≥ 0,30 |
| Teto | | | ≥ 0,20 |

Fonte: (NBR 13749, 1996)

## 2.5 FUNÇÕES DO REVESTIMENTO DE ARGAMASSA

Segundo SABBATINI (1984), os revestimentos de argamassas têm, em geral, as seguintes funções:

- proteger as vedações e a estrutura contra a ação de agentes agressivos e, por consequência, evitar a degradação precoce das mesmas, aumentar a durabilidade e reduzir os custos de manutenção dos edifícios;
- auxiliar as vedações a cumprirem com as suas funções, tais como: isolamento termoacústico, estanqueidade à água e aos gases e segurança ao fogo;

- estéticas, de acabamento e aquelas relacionadas com a valorização da construção ou determinação do padrão do edifício.

## 2.6 PROPRIEDADES DAS ARGAMASSAS

### 2.6.1 Consistência

Segundo CINCOTTO et al. (1995) é a propriedade pela qual a argamassa no estado fresco tende a resistir à deformação.

Diversos autores classificam as argamassas, segundo a consistência:

- em secas (a pasta preenche os vazios entre os grãos),
- plásticas (a pasta forma uma fina película e atua como lubrificante na superfície dos grãos dos agregados),
- fluidas (os grãos ficam imersos na pasta).

A consistência é diretamente determinada pelo conteúdo de água, sendo influenciada pelos seguintes fatores: relação água/aglomerante, relação aglomerante/areia, granulometria da areia, natureza e qualidade do aglomerante.

Em geral, nas argamassas de consistência plástica a fluida pode se manifestar a exsudação de água, que é uma propriedade que também interfere na trabalhabilidade, exigindo misturas frequentes para homogeneização do material e pode interferir na capacidade de adesão da argamassa ao ser lançada contra a base (SELMO, 1989).

### 2.6.2 Trabalhabilidade

Esta propriedade relaciona-se principalmente à consistência. Em termos práticos, a trabalhabilidade significa facilidade de manuseio. Pode-se dizer que uma argamassa é trabalhável, de um modo geral, quando ela distribui-se facilmente ao ser assentada, não gruda na ferramenta quando está sendo aplicada, não segrega ao ser transportada, não endurece em contato com superfícies absortivas e permanece plástica por tempo suficiente para que a operação seja completada (SABBATINI, 1984).

De acordo com o documento MR-3 da RILEM (1982) trabalhabilidade das argamassas é uma propriedade complexa, resultante da conjunção de diversas outras propriedades, tais como consistência, plasticidade, retenção de água, coesão, endurecimento sob sucção e tixotropia.

Avaliar, quantificar e prescrever valores de trabalhabilidade das argamassas por meio de ensaios é uma tarefa muito difícil, uma vez que ela depende não só das características intrínsecas da argamassa, mas também da habilidade do pedreiro que está executando o serviço e de várias propriedades do substrato, além da técnica de aplicação (CASCUDO et al., 2005).

### 2.6.3 Coesão e Tixotropia

A coesão, segundo CINCOTTO et al. (1995), refere-se às forças físicas de atração existentes entre as partículas sólidas da argamassa no estado fresco e às ligações químicas da pasta aglomerante. Ainda, segundo os autores, a influência da cal sobre a consistência e a trabalhabilidade das argamassas provém das condições de coesão interna que a mesma proporciona, em função da diminuição da tensão superficial da pasta aglomerante e da adesão ao agregado.

A tixotropia é a propriedade pela qual um material sofre transformações isotérmicas e reversíveis do estado sólido para o estado gel (SELMO, 1989). O estado gel, no caso das argamassas, diz respeito à massa coesiva de aglomerante na pasta, mais densa após a hidratação (CINCOTTO et al., 1995).

### 2.6.4 Plasticidade

É a propriedade pela qual a argamassa no estado fresco tende a conservar-se deformada após a redução das tensões de deformação. De acordo com CINCOTTO et al. (1995), a plasticidade e a consistência são as propriedades que efetivamente caracterizam a trabalhabilidade, e são influenciadas pelo teor de ar aprisionado, natureza e teor de aglomerantes e pela intensidade de mistura das argamassas.

Segundo CASCUDO et al. (2005), 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, sendo esta função do proporcionamento e natureza dos materiais.

### 2.6.5 Retenção de Água

A retenção de água é a capacidade da argamassa no estado fresco de manter sua consistência ou trabalhabilidade quando sujeita a solicitações que provocam perda de água por evaporação, sucção do substrato ou pela hidratação do cimento e carbonatação da cal (CINCOTTO et al, 1995).

Segundo ROSELLO citado por SELMO (1989) as argamassas tendem a conservar a água necessária para molhar as partículas dos aglomerantes e do agregado miúdo e a água em excesso é cedida facilmente, devido à absorção do substrato.
ROBINSON et al. citados por CARASEK (1996) constataram em seus experimentos utilizando argamassas com diferentes retenções de água aplicadas em diferentes tipos de substratos, que aquelas com menores capacidades de retenção de água produziam maior resistência de aderência do revestimento.

### 2.6.6 Adesão Inicial

A adesão inicial da argamassa no estado fresco ao substrato é a propriedade que caracterizará o comportamento futuro do conjunto substrato/revestimento quanto ao desempenho decorrente da aderência (CINCOTTO et al., 1995).
Segundo ROSELLO (1976) citada por SELMO (1989), a adesão inicial ou a aderência da argamassa no estado fresco ao substrato a revestir deve-se, em princípio, às características reológicas da pasta aglomerante; a baixa tensão superficial da pasta, sendo função inversa do consumo de aglomerantes, é o que propicia a sua adesão física ao substrato, assim como aos próprios grãos do agregado miúdo.
São fatores essenciais para uma boa aderência inicial da argamassa as condições de limpeza do substrato, isentos de poeiras, partículas soltas e gorduras.

### 2.6.7 Aderência no Estado Endurecido

Segundo SABBATINI (1984), aderência da argamassa ao substrato pode ser definida como sendo a capacidade que a interface substrato/argamassa possui de absorver tensões tangenciais (cisalhamento) e normais (tração) a ela, sem romper-se. Ainda, segundo o autor, não existe uma correspondência biunívoca entre um dado parâmetro e a capacidade de aderência. Por exemplo, aumentando o teor relativo de cimento no aglomerante pode-se aumentar ou diminuir a capacidade de aderência, dependendo das características do substrato.
TAHA & SHRIVE (2001) citados por CARVALHO JR et al. (2005) descrevem que a aderência à alvenaria se desenvolve segundo dois mecanismos:

- aderência química: a resistência de aderência advém de forças covalentes ou forças de Van der Waals, desenvolvidas entre a unidade de alvenaria e os produtos da hidratação do cimento;

- aderência mecânica: formada pelo intertravamento mecânico dos produtos da hidratação do cimento, transferidos para a superfície dos poros dos blocos de alvenarias devido ao efeito da sucção ou absorção capilar.

De acordo com GONÇALVES (2004), fatores como processo de execução do revestimento, materiais utilizados e condições climáticas respondem por uma variabilidade de até 33% nos resultados do ensaio de aderência. Ainda, segundo o autor, os resultados do ensaio de resistência de aderência à tração devem ser analisados em relação ao tipo de ruptura ocorrido, visto que tanto o fato de romper na interface argamassa/substrato (aderência pura) quanto no interior dos materiais (falha de estruturação interna) representam fraturas no sistema de revestimento.

A aderência é significativamente influenciada pelas condições da base, como a porosidade e a absorção de água, a resistência mecânica, a textura superficial e pelas condições de execução do revestimento. A capacidade de aderência da interface argamassa/substrato depende, ainda, da capacidade de retenção de água, da consistência e do teor de ar aprisionado da argamassa. Segundo SILVA (2005b), a aderência é influenciada favoravelmente pelo teor de finos do agregado miúdo.

### 2.6.8 Elasticidade

Segundo SABBATINI (1984), elasticidade é a capacidade que a argamassa no estado endurecido apresenta em se deformar sem apresentar ruptura quando sujeita a solicitações diversas, e de retornar à dimensão original inicial quando cessam estas solicitações. De acordo com CINCOTTO et al. (1995), a elasticidade é, portanto, uma propriedade que determina a ocorrência de fissuras no revestimento e, dessa forma, influi decisivamente sobre o grau de aderência da argamassa à base e, consequentemente, sobre a estanqueidade da superfície e sua durabilidade.

A capacidade do revestimento de absorver deformações pode ser avaliada através do módulo de elasticidade, que pode ser obtido através do método estático ou dinâmico. Quanto menor o valor do módulo, maior será a capacidade do revestimento de absorver deformações.

## 2.7 CLASSIFICAÇÃO DAS ARGAMASSAS

A NBR 13530 (ABNT, 1995) descreve a classificação das argamassas segundos vários critérios:

- quanto à natureza do aglomerante: argamassa aérea e hidráulica;
- quanto ao número de aglomerantes: argamassa simples e mista;

- quanto ao tipo de aglomerante: argamassa de cal, de cimento e de cimento e cal;
- quanto à função do revestimento: argamassa de chapisco, de emboço e de reboco;
- quanto à forma de preparo ou fornecimento: argamassa dosada em central, preparada em obra, industrializada e mistura semipronta para argamassa;
- quanto a propriedades especiais: argamassa aditivada, de aderência melhorada, colante, redutora de permeabilidade, de proteção radiológica, hidrófuga e termoisolante.

Usualmente nas obras utilizam-se as argamassas de cal, argamassas de cimento e areia e as argamassas de cimento, cal e areia, mais conhecidas como argamassas mistas.

### 2.7.1 Argamassa de Cal

Este tipo de argamassa é composta por cal, agregado miúdo e água. A pasta de cal preenche os vazios entre os grãos do agregado miúdo, melhorando a plasticidade e a retenção de água. A argamassa de cal recebe usualmente o nome de argamassa intermediária, pois quando se utiliza a cal virgem este tipo de argamassa é utilizado para a maturação da cal, para posteriormente ser misturado o cimento.

### 2.7.2 Argamassa de Cimento

A argamassa de cimento Portland é composta, essencialmente, por cimento, agregado miúdo e água. Adquire elevada resistência mecânica em pouco tempo, porém, tem pouca trabalhabilidade e baixa retenção de água. Este tipo de argamassa tem emprego específico para certas situações, como por exemplo na confecção de pisos como argamassa armada, sendo raramente utilizadas em revestimentos de alvenaria. É muito utilizada na confecção de chapisco para ser aplicada nas paredes de alvenaria e estruturas de concreto para aumentar a resistência de aderência do revestimento de argamassas mistas.

### 2.7.3 Argamassa Mista

Este tipo de argamassa utiliza basicamente cimento, cal, agregado miúdo e água. Segundo SABBATINI (1984), os ingleses utilizam a proporção 1 : 3 (aglomerante : areia seca) em volume como traço básico, pois partem do princípio de que com esta proporção os vazios da areia são preenchidos pela pasta aglomerante (cimento e

cal). Esta proporção é muito utilizada também no Brasil, como os tradicionais traços em volume 1: 1: 6 (cimento: cal: areia) para revestimentos externos e 1: 2: 9 para revestimentos internos.

## 2.8 DOSAGEM DAS ARGAMASSAS

O adequado desempenho das argamassas depende fundamentalmente da correta escolha dos materiais e de seu proporcionamento, cujas operações são denominadas de dosagem (LARA et al., 1995).

Segundo CARNEIRO (1999), usualmente a composição e a dosagem das argamassas adotadas no Brasil são feitas com base em traços (massa ou volume) descritos ou especificados em normas internacionais ou nacionais, como Associação Brasileira de Normas Técnica (ABNT) e Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo (IPT) e cadernos de encargos. De acordo com o mesmo autor, para argamassas de revestimentos tem-se adotado com mais frequência os traços de dosagem 1 : 1 : 6 (cimento : cal : areia) e 1 : 2 : 9, em volume, numa proporção aglomerante : agregado de 1 : 3 ou 1 : 4. A escolha de um desses traços está de acordo com o desempenho esperado da argamassa ao longo do tempo, ou seja sua durabilidade. No entanto, na prática identifica-se o emprego de traços mais pobres, como 1 : 4 a 1 : 9 (aglomerante : agregado), como constataram CAMPITELI et al. (1995), não dando qualidade ao revestimento.

## 2.9 CARACTERIZAÇÃO DAS ARGAMASSAS

### 2.9.1 Classificação Segundo NBR 13281

A norma NBR 13281 (ABNT, 1995) – Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Requisitos, estabelecia exigências mecânicas e reológicas para as argamassas dosadas em obra ou industrializadas, a saber:

- resistência à compressão aos 28 dias (MPa) – NBR 13279 (ABNT, 1995);
- capacidade de retenção de água (%) – NBR 13277 (ABNT, 1995);
- teor de ar incorporado – NBR 13278 (ABNT, 1995).

A partir de 31 de Outubro de 2005, a norma reformulada NBR 13281 (ABNT, 2005) com o mesmo título, entrou em vigor, as argamassas:

P – resistência à compressão (MPa) – NBR 13279 (ABNT, 2005);

M – densidade de massa aparente no estado endurecido (kg/m3) – NBR 13280 (ABNT, 2005);

R – resistência à tração na flexão (MPa) – NBR 13279 (ABNT, 2005);

C – coeficiente de capilaridade (g/dm2/min1/2) – NBR 15259 (ABNT, 2005);

D – densidade de massa no estado fresco (kg/m3) – NBR 13278 (ABNT, 2005);

U – retenção de água (%) – NBR 13277 (ABNT, 2005);

A – resistência potencial de aderência à tração (MPa) – NBR 15258 (ABNT, 2005).

Cada requisito foi subdividido em 6 classes, exceto a resistência potencial de aderência à tração, que foi subdividida em 3 classes. As argamassas são classificadas conforme as características e propriedades apresentadas no quadro 3. Caso haja sobreposição entre faixas, deve ser considerado o desvio de cada ensaio e, caso o valor fique no meio de duas faixas, adota-se a maior como classificação.

Quadro 3 – Classificação de argamassas de assentamento e revestimento de paredes e tetos segundo a NBR 13281 (ABNT, 2005)

| **Classe** | **P** | **M** | **R** | **C** | **D** | **U** | **A** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | **MPa** | **Kg/m³** | **MPa** | **g/dm²/min¹/²** | **Kg/m³** | **%** | **MPa** |
| 1 | ≤ 2,0 | ≤1200 | ≤1,5 | ≤1,5 | ≤1400 | ≤78 | ≤0,20 |
| 2 | 1,5 a 3,0 | 1000 a 1400 | 1,0 a 2,0 | 1,0 a 2,0 | 1200 a 1600 | 72 a 85 | ≥ 0,20 |
| 3 | 2,5 a 4,5 | 1200 a 1600 | 1,5 a 2,7 | 2,0 a 4,0 | 1400 a 1800 | 80 a 90 | ≥ 0,30 |
| 4 | 4,0 a 6,5 | 1400 a 1800 | 2,0 a 3,5 | 3,0 a 7,0 | 1600 a 2000 | 86 a 94 | - |
| 5 | 5,5 a 9,0 | 1600 a 2000 | 2,7 a 4,5 | 5,0 a 12,0 | 1800 a 2200 | 91 a 97 | - |
| 6 | >8,0 | >1800 | >3,5 | >10,0 | >200 | 95 a 100 | - |

Fonte: NBR 13281 (ABNT, 2005)

Uma argamassa, por exemplo, poderá ter a seguinte designação: P3, M4, R5, C3, D4, U3, A4.

Comparando com a classificação MERUC, a classificação da NBR 13281 (ABNT, 2005) não incluiu o ensaio de módulo de elasticidade, pois ainda não existe norma brasileira e por estarem em discussão os procedimentos de ensaios. Observa-se também que os requisitos da norma brasileira possuem as faixas para cada classe muito similares às faixas da classificação MERUC.

A norma NBR 13749 (ABNT, 1996) estabelece os limites de resistência de aderência à tração para emboço e camada única, conforme estão apresentados no quadro 4.

Quadro 4 – Limites de resistência de aderência à tração para emboço e camada única segundo a norma NBR 13749 (ABNT, 1996)

| | Local | Acabamento | Resistencia de aderência à tração (MPa) |
|---|---|---|---|
| Parede | Interna | Pintura ou base para reboco | ≥ 0,20 |
| | | Cerâmica ou laminado | ≥ 0,30 |
| | Externa | Pintura ou base para reboco | ≥ 0,30 |
| | | Cerâmica | ≥ 0,30 |
| | | Teto | ≥ 0,20 |

Fonte: NBR 13749 (ABNT, 1996)

## 2.10 CLASSIFICAÇÃO DOS REVESTIMENTOS

Segundo a NBR 13530 (ABNT, 1995), os revestimentos são considerados como sistemas constituídos de uma ou mais camadas de argamassa, podendo cada uma delas ter uma função característica; são aplicadas sobre paredes ou tetos, objetivando uma aparência desejada. Em casos específicos, atendem às exigências de conforto térmico e de proteção conta radiação e umidade. Esta norma classifica os revestimentos de argamassa de acordo com os seguintes critérios:

a) quanto ao número de camadas de aplicação:

- revestimento de camada única;
- revestimento de duas camadas;

b) quanto ao ambiente de exposição:

- revestimentos de paredes internas;
- revestimentos de paredes externas;
- revestimento com contato com o solo;

c) quanto ao comportamento à umidade:

- revestimento comum;
- revestimento de permeabilidade reduzida;
- revestimento hidrófugo;

d) quanto ao comportamento à radiação:

- revestimento de proteção radiológica;

e) quanto ao comportamento ao calor:

- revestimento termoisolante;

f) quanto ao acabamento de superfície:

- camurçado;
- chapiscado;
- desempenado;
- sarrafeado;
- imitação travertino;
- lavado;
- raspado.

As camadas de argamassas de revestimentos, segundo SABBATINI (1984), recebem as seguintes denominações:

### 2.10.1 Emboço

O emboço, também conhecido por massa grossa, é uma camada cuja principal função é a regularização da superfície de alvenaria, devendo apresentar espessura média entre 15 mm e 25 mm. É aplicado diretamente sobre a base previamente preparada (com ou sem chapisco) e se destina a receber as camadas posteriores do revestimento (reboco, cerâmica, ou outro revestimento final). Para tanto, deve apresentar porosidade e textura superficiais compatíveis com a capacidade de aderência do acabamento final previsto. Ambas são características determinadas pela granulometria dos materiais e pela técnica de execução.

### 2.10.2 Reboco

O reboco, ou massa fina, é a camada de acabamento dos revestimentos de argamassa. É aplicada sobre o emboço, e sua espessura é apenas o suficiente para constituir uma película contínua e íntegra sobre o emboço, com no máximo 5 mm de espessura.

É o reboco que confere a textura superficial final aos revestimentos de múltiplas camadas, sendo a pintura, em geral, aplicada diretamente sobre o mesmo. Portanto, não deve apresentar fissuras, principalmente em aplicações externas. Para isto, a argamassa deverá apresentar elevada capacidade de acomodar deformações.

### 2.10.3 Massa Única

A massa única, ou emboço paulista, é o revestimento com acabamento em pintura executado em uma única camada. Neste caso, a argamassa utilizada e a técnica de execução deverão resultar em um revestimento capaz de cumprir as funções tanto do emboço quanto do reboco, ou seja, regularização da base e acabamento.

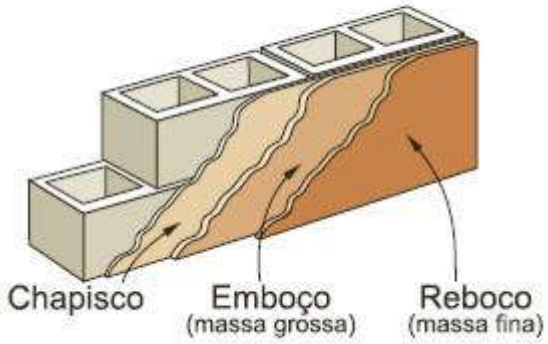
### 2.10.4 Chapisco

O chapisco não é considerado como uma camada de revestimento. É um procedimento de preparação da base, de espessura irregular, sendo necessário ou não, conforme a natureza da base.

O chapisco tem por objetivo melhorar as condições de aderência da primeira camada do revestimento ao substrato, em situações críticas basicamente vinculadas a dois fatores:

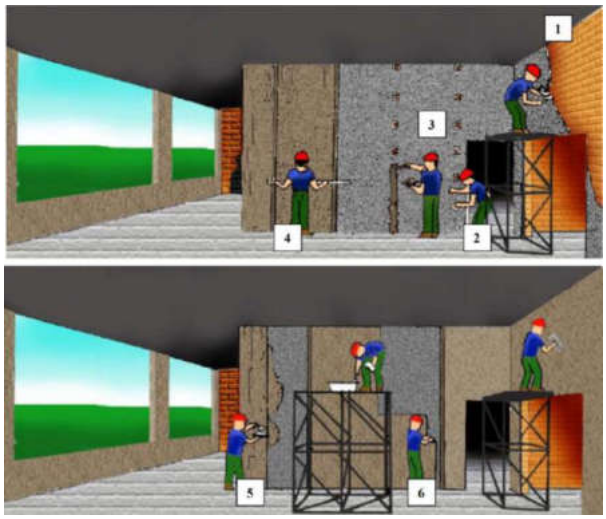
- limitações na capacidade de aderência da base: quando a superfície é muito lisa ou com porosidade inadequada, por exemplo concreto ou substrato com capacidade de sucção incompatíveis com a aderência do revestimento;
- revestimento sujeito a ações de maior intensidade: os revestimentos externos em geral e revestimentos de teto.

Figura 1 - Camadas de revestimento. Furlan (2014)




Fonte: Furlan (2014)

Figura 2 - Sequência de execução de um processo de revestimento com argamassa.




Fonte: CEHOP (2017).

1 - Execução do chapisco sobre a alvenaria

2 - Colocação das taliscas

3 - Preenchimento com argamassa formando as mestras

4 - Nivelamento das mestras

5 - Aplicação da argamassa para emboço e reboco

6 - Acabamentos finais

## 3.0 MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS

### 3.1 PATOLOGIA DAS EDIFICAÇÕES

Para Verçosa (1991) a patologia das edificações se resume ao estudo da identificação das causas e dos efeitos de problemas encontrados nas edificações, elaborando seu diagnóstico e correção. Helene (1993), descreve a patologia como sendo o estudo dos sintomas, dos mecanismos, das causas e das origens dos defeitos das construções civis, ou seja, como o estudo das partes que compõem o diagnóstico do problema.

Inúmeras são as manifestações patológicas que afetam os edifícios. Entre elas, Thomaz (1992) destaca a evolução tecnológica da construção civil no Brasil, que induziu a realização das obras em um tempo menor, utilizando estruturas e materiais cada vez mais leves. Tais fatos, juntamente com o despreparo dos profissionais, tanto de projeto quanto de produção, vêm provocando a queda gradativa da qualidade das construções no país. O autor complementa ainda que a incompatibilidade dos projetos, bem como o seu pouco detalhamento, juntamente com a falta de planejamento e de fiscalização das obras, colabora para o agravamento do quadro atual.

#### 3.1.1 Origem

Um diagnóstico adequado de uma manifestação patológica deve indicar em que etapa do processo construtivo teve origem o fenômeno que desencadeou o problema, defende Helene (1993). A origem pode decorrer da falha de projeto (projetista), da má qualidade dos materiais empregados na construção (fabricante), da falha na etapa de construção (mão-de-obra e fiscalização), e da falha na etapa de utilização da edificação por uso inadequado ou falta de manutenção (usuários).

Segundo Grunau (1981), citado por Verçosa (1991), as manifestações patológicas têm origem, sobretudo, nas etapas de planejamento e de projetos, conforme mostra o gráfico 1.

Gráfico 1 - Origem dos problemas patológicos com relação às etapas de produção e uso das obras civis (Grunau, apud Verçosa, 1991)

Fonte: (Grunau, apud Verçosa, 1991)

### 3.1.2 Causas

A causa das manifestações patológicas, de acordo com Helene (1993), está relacionada a vários fenômenos que influenciam no surgimento das anomalias.

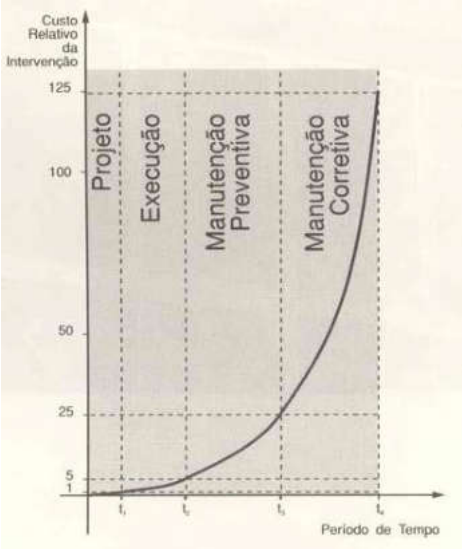
Merecem destaque cargas excessivas, variação de umidades, variações térmicas, agentes biológicos, incompatibilidade de materiais, agentes atmosféricos entre outros.

### 3.1.3 Consequências

Um bom diagnóstico deve ter condições de prever as consequências futuras que o problema poderá trazer no comportamento geral do edifício. Helene (1993) separa estes prognósticos em dois tipos: os que afetam as condições de segurança da estrutura (mais urgentes), e os que comprometem somente as condições de higiene e estética, denominadas condições de serviços, associadas aos estados limites de utilização.

Segundo Thomas (1992) e Helene (1993), os problemas patológicos são evolutivos e tendem a se agravar com o passar do tempo, podendo até ser gerado novos problemas em decorrência dos primeiros. Por esse motivo, pode-se afirmar que as correções serão mais duráveis, mais efetivas, mais fáceis e mais baratas se forem executadas, quanto mais cedo, como expressa a lei de Sitter, representada na figura 3, junto a qual pode-se constatar os custos crescentes numa progressão geométrica de fator cinco, conforme o tempo da realização de cada etapa construtiva:

Figura 3 - Lei de evolução de custos.




Fonte: (SITTER, 1984)

Segundo Helene (1993), a manutenção preventiva é a maneira mais barata e correta de se manter em boas condições de uso uma edificação. A falta de uma manutenção preventiva durante o uso do edifício, pode até quintuplicar o custo para a realização de uma ação. Como exemplo o autor cita a remoção de fuligem ácida e a limpeza das fachadas, pinturas, estucamentos e reestucamentos de superfícies aparentes, pinturas com vernizes e hidrofugantes, construção de rufos, pingadeiras, beirais e outras medidas preventivas.

As medidas corretivas são os reparos dos problemas levantados durante os trabalhos de diagnóstico, prognóstico e desenvolvimento das formas de intervenção.

A essas atividades pode-se associar um custo cento e vinte e cinco vezes superior ao custo das medidas que poderiam ter sido tomadas durante as fases iniciais da construção (HELENE, 1993).

Thomaz (1992), Helene (1993) e Cincotto (1988) compartilham de ideias afins no que se refere às manifestações patológicas mais comuns encontradas nos edifícios: todos afirmam ser as provocadas pelas deformações de estruturas e componentes da construção, pela ação de umidades e por agentes biológicos.

Os revestimentos de argamassa estão sujeitos a vários fenômenos, como se pode verificar neste capítulo, sejam eles decorrentes do meio ambiente, de modo como foi projetado e construído o edifício, das propriedades químicas e físicas dos componentes empregados na construção; do tipo de revestimento superficial, da manutenção, bem como do uso inadequado dos edifícios. No quadro 5, pode-se ter

uma noção mais ampla das manifestações patológicas mais frequentes das fachadas.

Quadro 5 - Manifestações patológicas nos revestimentos: causas prováveis.

| Manifestação patológica | Efeitos | Causas prováveis |
|---|---|---|
| Eflorescência | -Manchas de umidade<br>- Pó branco acumulado na superfície | -Umidade constante<br>-Sais solúveis nas alvenarias e água de amassamento |
| Bolor (fungos, algas, liquens etc) | -Manchas esverdeadas, avermelhadas ou escuras<br>-Revestimento em desagregação | -Umidade constante<br>-área não exposta ao sol |
| Vesículas | -Empolamento da pintura<br>-Bolhas com umidade | -Hidratação retardada da CaO (hidróxido de cálcio/cor branca)<br>-Pirita ou matéria orgânica na areia (cor escura)<br>-Concentrações ferruginosas na areia<br>-Aplicação prematura de tinta impermeável |
| Descolamento do reboco com empolamento | -Deslocamento do emboço formando bolhas<br>-Reboco com som cavo | -Infiltração de umidade<br>-Hidratação retardada do MgO (hidróxido de magnésio) |
| Descolamento do reboco em placas | -Placa endurecida quebrando com dificuldade<br>-Som cavo | -Placas frequentes de mica na camada interior<br>-Argamassa muito rica o espessa.<br>-Superfície com substancias hidrófugas<br>-Falta de aderência da superfície |
| | -Placa endurecida e desagregando-se<br>-Som cavo | -Argamassa magra<br>-Ausência de chapisco |
| Fissuras horizontais | -Ao longo da parede<br>-Descolamento do revestimento com som cavo | -Expansão da argamassa por hidratação retardada do MgO<br>-Expansão da argamassa por reação cimento-sulfatos ou de argilo-minerais nos agregados |
| Fissuras mapeadas | -Forma variada e em toda a superfície | -Retração da argamassa de base |

Fonte: (CINCOTTO, 1988, adaptado).

Devido à complexidade e a grande extensão do assunto, foram abordadas nesse trabalho somente as manifestações patológicas com maior incidência nos RAF: as trincas e fissuras, a biodeterioração, a umidade e a variação de temperatura.

## 3.2 TRINCAS E FISSURAS

Entre as diversas manifestações patológicas que ocorrem nos edifícios, Thomaz (1992) destaca as fissuras como sendo a mais importante devido a três aspectos: o aviso de algum problema sério na estrutura, o comprometimento do desempenho da obra em serviço e o constrangimento psicológico que a fissuração exerce sobre seus usuários.

Segundo SABBATINI e BARROS (1990), pode-se definir como *fissuras* as aberturas com menos que 0,5 mm de espessura e como *trincas* aquelas com medidas iguais ou superiores a 0,5 mm. Ribas (2002), porém, defende uma divisão e conceituação diferentes. Em primeiro lugar, ele acrescenta mais uma categoria, a das *microfissuras*, abrangendo as aberturas inferior a 0,2 mm, além de propor a classificação como *fissuras* para as medidas entre 0,2 e 2 mm e como *gretas* as aberturas com mais de 2 mm.

Uma vez que não há um consenso entre os estudiosos para uma classificação padrão da nomenclatura e das respectivas medidas referente às aberturas das fissuras foi adotado, para esse trabalho, a classificação proposta por Sabattini e Barros (1990).

### 3.2.1 Trincas e fissuras causadas por movimentações térmicas

Thomaz (1992) indica três fatores causadores de fissuras decorrentes de movimentações térmicas entre materiais.

O primeiro refere-se às fissuras causadas pela junção de materiais com diferentes coeficientes de dilatação térmica, expostos às mesmas variações de temperatura. Os materiais expostos de uma construção estão sujeitos a grande variação de temperaturas sazonais ou diárias, tendo suas dimensões alteradas em função dos fenômenos de dilatação e contração. Assim, nos edifícios o RAF é o elemento que está mais exposto ao sol, principal fonte de calor transmitida por radiação solar. Ao receber a radiação solar através do seu revestimento superficial (tinta, textura, cerâmica etc), o RAF tem sua temperatura superficial aumentada tornando-se maior do que a do ar ambiente. Este fenômeno é chamado de absortância da superfície do componente à radiação. Com a superfície do RAF aquecida, ocorre a transferência de uma parte do calor para o ar ambiente (condutância térmica superficial) e da superfície para os demais componentes aderidos ao RAF, como o chapisco, os blocos, a argamassa de assentamento e a estrutura.

O calor da superfície do RAF é transmitido para os componentes da alvenaria que se dilatam e desenvolvem esforços de compressão entre eles.

Thomaz (1992), reforça que, quando a temperatura é reduzida, os componentes da alvenaria reduzem de tamanho, desenvolvendo tensões de tração diferenciadas.

Como os materiais rígidos possuem muita resistência a esforços de compressão, porém pouca resistência a esforços de tração, bem como pouca flexibilidade para

absorver tal solicitação (módulo de deformação), acabam por romper os materiais menos resistentes, como os blocos cerâmicos e as juntas de assentamento, criando fissuras internas.

Uma vez que o RAF é aderido a alvenaria, ele recebe as tensões decorrentes da variação de temperatura e rompe quando o limite máximo de sua resistência mecânica é ultrapassada, criando fissuras. Segundo Thomaz (2003), estas fissuras se manifestam em ambas as faces da parede, porém com menor abertura na face interna.

A estrutura de concreto também apresenta aquecimento similar a das paredes externas. Como o coeficiente de dilatação térmica linear do concreto é aproximadamente duas vezes o da alvenaria, pode ocorrer o destacamento entre as alvenarias e o reticulado estrutural, conforme ilustra a figura 4a, bem como a incidência de trincas de cisalhamento nas extremidades das alvenarias, como ilustra a figura 4b.

Figura 4 - a) Destacamento entre alvenaria e estrutura, provocado por movimentações térmicas diferenciadas; b) Trincas de cisalhamento nas alvenarias, provocadas por movimentações térmicas da estrutura decorrentes do aquecimento das paredes.

Fonte: (THOMAZ, 1992).

O RAF também pode fissurar quando sua temperatura for diminuída bruscamente, criando esforços internos de tração, provocada pelo “choque térmico”.

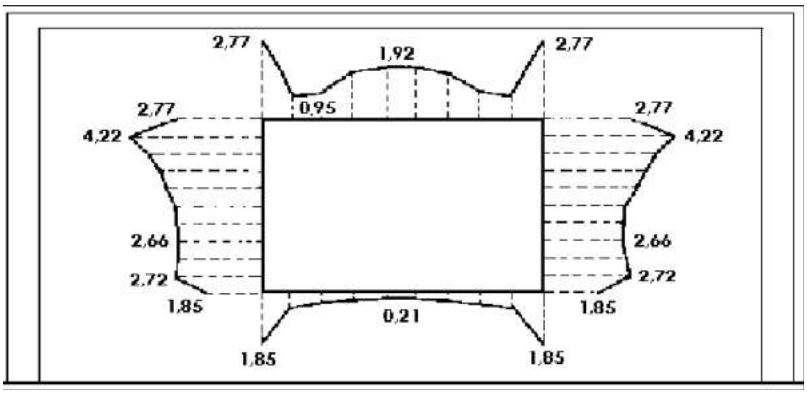
Marim (1962), afirma que os materiais que mais resistem aos choques térmicos são aqueles que possuem boa condutividade térmica, baixo coeficiente de dilatação térmica linear, baixo módulo de deformação e elevada resistência a esforços de tração.

Outro fator que influencia no desempenho das fachadas são as aberturas.

Deve-se dar especial atenção às aberturas nas alvenarias cujos cantos apresentam acentuada concentração de tensões, geradas pela variação de temperatura da

parede, decorrentes de forças isostáticas que chegam a triplicar-se nos cantos superiores e a duplicar nos cantos inferiores, conforme mostra a figura 5.

Figura 5 - Fatores de majoração de esforços ao longo de janela numa parede. Atuação de cargas verticais e horizontais atuando na altura dos respaldos de parede com abertura




Fonte: (UTKUT,1976)

As fissuras decorrentes destas concentrações de tensões ocorrem junto aos vértices das janelas e portas, principalmente quando não são executadas as vergas e/ou contra-vergas, como mostra a figura 6.

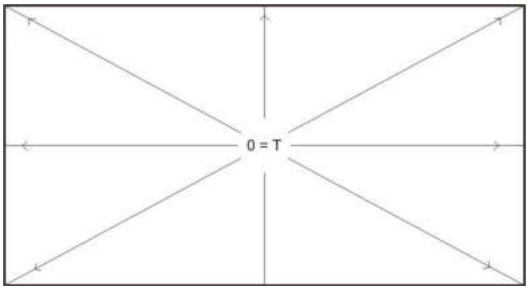
Figura 6 - Fissuras nos cantos das janelas decorrentes da inexistência de vergas e/ou contra-vergas.

Fonte: (THOMAZ, 1992)

Um segundo fator que causa fissuras de movimentações térmicas entre materiais é a exposição de elementos a diferentes solicitações térmicas naturais. Em geral as coberturas planas são mais expostas às mudanças de temperaturas do que os paramentos verticais ocorrendo, assim, movimentos diferenciados entre os elementos verticais e horizontais. Como exemplo, pode-se citar o concreto e as alvenarias, nos quais o coeficiente de dilatação térmica do concreto é aproximadamente duas vezes maior que o da alvenaria.

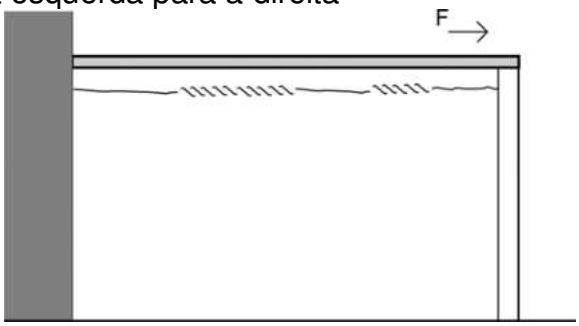
Thomaz (1992) lembra que, em coberturas mesmo sombreadas por telhamento, as lajes sofrem aquecimentos decorrentes da energia calorífica absorvida pelas telhas que é reirradiada para a laje. Com seu aquecimento, a laje sofre dilatação, ocasionando tensões que são distribuídas de maneira diferenciada, partindo do centro às extremidades, e tendo como ponto mais crítico o que estiver mais afastado do seu centro. Na figura 7 pode-se verificar que os vértices são os pontos mais críticos devido à sua maior distância com relação ao centro.

Figura 7 - Propagação das tensões numa laje de cobertura com bordos vinculados devido a efeitos térmicos.




Fonte: (THOMAZ, 1992).

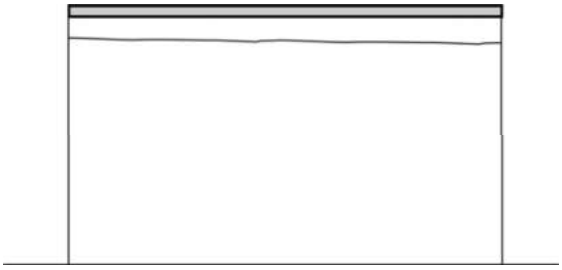
Figura 8 - Trinca típica do topo da laje: a direção das fissuras perpendiculares com relação às resultantes de tração indica o sentido da movimentação térmica, no caso da esquerda para a direita




Fonte:(THOMAZ,1992).

Como as lajes de coberturas normalmente são vinculadas às paredes de sustentação, surgem tensões tanto no corpo das paredes quanto nas lajes, ocorrendo fissuras nos trechos mais frágeis. Thomaz (1992) indica que essas tensões de cisalhamento e de tração nas paredes das edificações provocam o desenvolvimento de trincas, apresentando tipicamente as configurações indicadas nas figuras 8, 9 e 10.

Figura 9 - Trinca típica do topo da parede.



Fonte: (THOMAZ, 1992)

Figura 10 - Típica trinca no topo da parede e destacamento da platibanda por movimentações térmicas da laje.

Fonte: (THOMAZ, 1992).

O terceiro fator que causa fissuras decorrentes de movimentações térmicas entre materiais é o gradiente de temperaturas ao longo de um mesmo componente da edificação. Thomaz (1992), refere-se as fissuras que ocorrem em lajes de cobertura provocadas por esforços internos diferenciados, decorrentes da diferença de temperatura entre as superfície externa da laje e a superfície inferior da laje. A superfície externa aquecida se dilata, provocando a contração da superfície inferior que não acompanha a movimentação da superfície externa, desenvolvendo uma flecha negativa, podendo causar fissuras na laje. Como o objetivo é o estudo de manifestações patológicas em fachadas, esse tema não será aprofundado nessa dissertação, podendo servir para um estudo futuro.

O autor Amando Felipe na figura 11 observa a ocorrência de trinca na interface da alvenaria com o pilar existente no ático.

Figura 11 - Fissura na interface da alvenaria com pilar

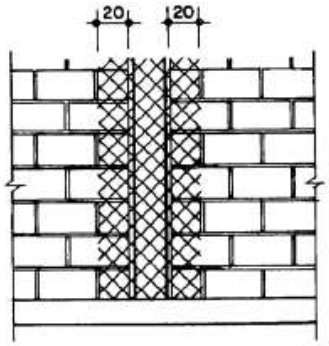
Fonte: Armando F.S, 2007.

Como diagnóstico mais provável da anomalia A5 a ocorrência do fissuramento vertical do RAF, decorrente dos esforços gerados pela dilatação e contração na

interface entre a alvenaria de blocos cerâmicos e a estrutura de concreto armado do pilar.

Propostas alternativas de reparo para a anomalia A5, trata-se de uma fissura que estará sempre aumentando e diminuindo sua abertura, portanto, as alternativas de reparo devem considerar este fenômeno natural. Podem ser realizadas duas formas de reparo. A primeira é distribuir os esforços gerados pela dilatação e retração através de tela metálica leve inserida no RAF de reparo, como demonstrado na figura 12:

Figura 12 - Recuperação de destacamento entre pilar e alvenaria com a utilização de tela metálica leve.




Fonte: THOMAZ, 1992.

A segunda é permitir a movimentação dos materiais, acrescentando produto flexível na interface entre ambos, de maneira a criar uma barreira contra a penetração de água e permitindo a flexibilidade do sistema.

### 3.2.2 Trincas e fissuras causadas por movimentações higroscópicas

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, aumento de volume, diminuindo a medida que perde água por evaporação (THOMAZ, 1992; e RIBAS, 2002). O resultado desta expansão e contração por higroscopicidade, pode provocar a fadiga do material desenvolvendo fissuras semelhantes as decorrentes de variação como mostra as figuras 13 e 14.

Figura 13 - Fissuras decorrentes da retração da argamassa provocadas pela falha da pintura e exposição contínua da parede a água da chuva.

Fonte: (THOMAZ, 1992).

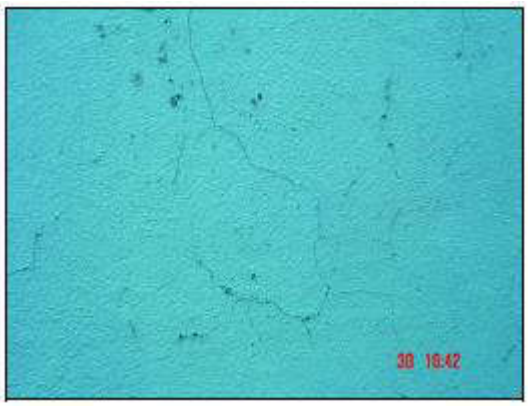
Figura 14 - O fluxo de água interceptado do peitoril da janela escorre lateralmente, provocando a fadiga do reboco desenvolvendo sua fissuração.

Fonte:(THOMAZ,1992).

Para exemplificar o cotidiano iremos abordar um estudo de caso do autor Armando Felipe em 2007, onde observou patologias em um edifício em Florianópolis.

A figura 15 mostra a fissuração generalizada do RAF da fachada dos fundos do edifício, sendo que durante a avaliação percutida não foram encontrados sinais de destacamento do mesmo.

Figura 15- Fissuras generalizadas em todo o reboco da fachada noroeste.




Fonte: Armando F.S, 2007.

Hipóteses de diagnósticos para a anomalia A4, foram levantadas duas hipóteses. A primeira delas é a fissuração ter sido causado pelo aumento de volume por umidificação (inchamento) e por retrações sucessivas da argamassa, decorrentes da perda de água de chuva retida nos poros e pelas variações bruscas de temperatura ocorridas sucessivamente, desenvolvendo a fadiga do material e provocando o fissuramento observado, (THOMAZ, 1992).

A segunda hipótese se baseia na possibilidade da argamassa de revestimento ter sido mal dosada durante seu preparo, com quantidades altas de cimento e/ou água. Quanto maior a quantidade de água e de cimento, maior é o percentual de retração que a argamassa pode ter durante o processo de evaporação da umidade de construção (THOMAZ, 1992) e (ARGILÉS, 1999).

Como diagnóstico mais provável da anomalia, a mais provável foi de o fissuramento ter sido decorrente de esforços internos no reboco, provocados pelos sucessivos aumentos de volume por umidificação e diminuição devido à retração por perda de água de precipitação, bem como pelas variações bruscas de temperaturas sucessivas, desenvolvendo a fadiga do material (THOMAZ, 1992).

Segundo Ribas (2000), esse tipo de fissuramento é evolutivo e está relacionada diretamente com a retração periódica dos materiais, provocada pelas variações de temperatura e umidade. Pode-se determinar que a origem da anomalia ocorreu pela falta de manutenção no revestimento e na pintura. Essa hipótese foi considerada como a mais provável, pois verificou-se, através de informações verbais obtidas dos moradores, que as fissuras começaram a ser percebidas a partir do quarto ano após a construção do edifício, aumentando com o passar do tempo.

Caso as fissuras fossem decorrentes da retração da argamassa durante sua cura, provavelmente teriam surgido durante ou logo após a execução da obra.

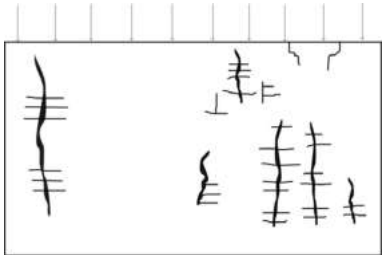
Para propostas alternativas de reparos para a anomalia A4, devido ao avançado processo de fissuração do RAF, o caso possui duas alternativas de correção. A primeira delas é a substituição do RAF, desenvolvendo um projeto de reparo mais amplo que leve em consideração as possíveis deformações decorrentes dos mais variados esforços, tais como: retração da alvenaria, junção de materiais com diferentes modos de deformação e determinação da dosagem da argamassa de revestimentos, com custo muito elevado.

A segunda opção, com custo bem menor, mas paliativa, é a execução da vedação das fissuras existentes e posteriormente a realização do acabamento através da pintura da fachada.

### 3.2.3 Trincas e fissuras causadas por atuação de sobrecargas

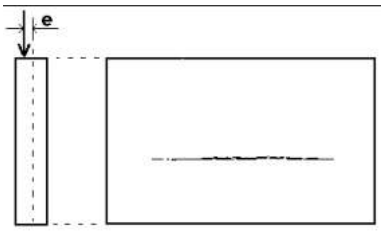
As fissuras podem se manifestar nas paredes em função dos esforços de compressão e de flexão, provocados pela ação das cargas superiores às previstas em cálculo. Argilés (1999), esclarece que as fissuras causadas por sobrecargas possuem configurações típicas, conforme demonstram as figuras 16, 17 e 18.

Figura 16 - Fissuração típica da alvenaria causada por sobrecarga vertical.



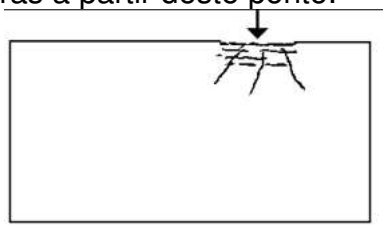
Fonte: (Argilés, 1999)

Figura 17 - Típicas trincas horizontais na alvenaria, portanto, provenientes de sobrecarga no topo fora do eixo de gravidade da parede.



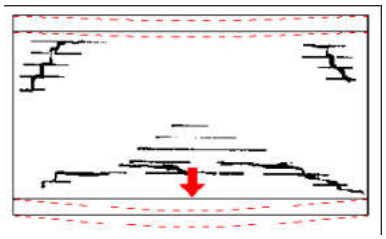

Fonte: (Thomaz, 1989)

Figura 18 - Típica fissura de ruptura pontual da alvenaria sob o ponto da aplicação da carga e propagação de fissuras a partir deste ponto.



Fonte: (Argilés, 1999)

Figura 19 - Deformação da viga de apoio maior que a viga superior, causando o fissuramento da alvenaria.



Fonte: (THOMAZ, 1992)

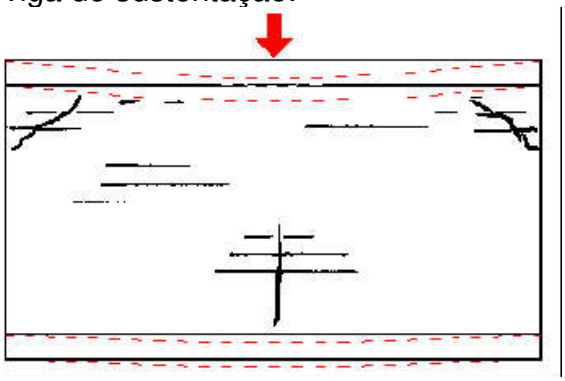
### 3.2.4 Trincas e fissuras causadas por deformação excessiva de estrutura de concreto armado

Com a evolução da tecnologia do concreto armado as estruturas foram tornando-se mais esbeltas, mais leves e deformáveis, tornando imperiosas a análise das deformações e suas influências nos revestimentos argamassados em fachadas.

A maior incidência de fissuras nas alvenarias é decorrente de deformação de estruturas devido às flechas excessivas em vigamentos e lajes. A figura 19, ilustra o fissuramento típico da alvenaria quando a viga de apoio se deforma mais que a viga superior, provocando fissuras de cisalhamento nos cantos superiores e também nas extremidades inferiores.

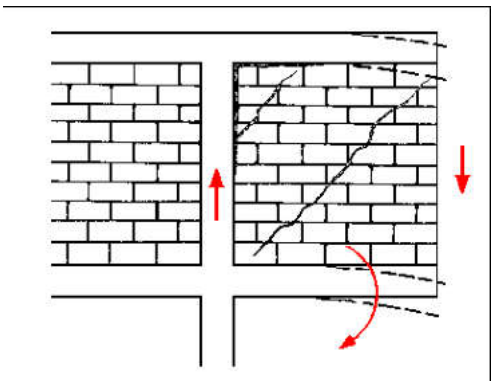
A figura 20 demonstra o fissuramento típico da alvenaria quando a viga superior se deforma mais do que a viga de apoio. Nesse caso, ocorre o esmagamento da alvenaria decorrente do esforço de compressão ao qual o topo da parede é submetida. Surgem fissuras de cisalhamento nos cantos superiores, fissuras com sentido horizontal e fissuras verticais no centro, próximo a base, decorrente do esforço de tração que esta região sofre decorrente da compressão imposta pela deformação da viga superior.

Figura 20 - Trincas em parede de vedação decorrente da deformação da viga superior ser maior que a viga de sustentação.



Fonte: (THOMAZ, 1992)

Figura 21 - Trincas na alvenaria decorrente da deflexão da região em balanço da viga.

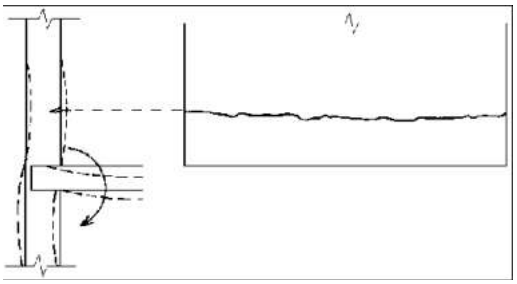


Fonte:(THOMAZ,1992)

A figura 21 mostra a forma típica de fissuras causadas pela deformação da viga em balanço. Formam-se fissuras características de cisalhamento na alvenaria, que inicia no vértice da viga com o pilar de apoio. Geralmente acompanhado pelo destacamento da alvenaria da estrutura na região superior.

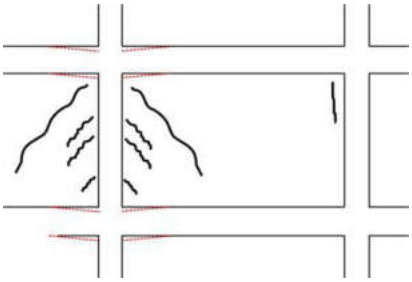
A figura 22 mostra a forma comum de fissura, em alvenarias estruturais, quando a laje é ancorada na alvenaria. A deformação da laje provocada pela flecha excessiva, introduz esforços de flexão na alvenaria provocando fissuras horizontais próximas à base da parede.

Figura 22 - Trinca horizontal na base da parede provocada pela deformação excessiva da laje.



Fonte:(THOMAZ,1992).

Figura 23 - Trincas típicas, provenientes de recalques diferenciados entre pilares.



Fonte:(THOMAZ,1992).

### 3.2.5 Trincas e fissuras causadas por recalques de fundação

Segundo Argilés (1999), Thomaz (1992) e Helene (1992), essas fissuras são as mais preocupantes, pois indicam problemas nas fundações das edificações, sejam elas de alvenaria estrutural ou não. Na sua maioria, as fissuras provenientes de recalques, possuem inclinação próxima de 45º conforme demonstra a figura 23.

Thomaz (1992) adverte ainda que os recalques acontecem devido a vários fatores, tais como: o tipo e estado do solo, a disposição do lençol freático, a intensidade da carga, o tipo de fundação e as interferências das fundações vizinhas.

### 3.2.6 Trincas e fissuras causadas por retração de produtos a base de cimento

São as fissuras ocasionadas por retrações diversas do revestimento argamassado quando fresco e em fase de endurecimento. Segundo Thomaz (1992) essas retrações são decorrentes de fatores como:

• a retração química entre o cimento e a água provocando a redução de volume ocasionando as trincas;

• a retração por secagem da água excedente empregada na preparação da argamassa, sendo que a evaporação deste excesso de água gera forças capilares equivalentes as de uma compressão, produzindo sua diminuição de volume e consequentemente provocando as fissuras.

Além das causas citadas acima, Josiel (1975) descreve importantes fatores que interferem diretamente nos produtos à base de cimento, entre eles merece destaque que:

• quanto maior a finura do cimento maior a retração;

• quanto maior a quantidade de cimento na mistura, maior será a retração;

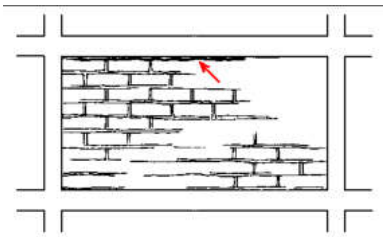
• quanto maior a finura dos agregados, maior será a retração, pois será necessária maior quantidade de pasta de cimento para cobri-los;

• quanto maior for a relação água cimento maior será a retração.

De acordo com Ribas (2002), as fissuras de retração ocorrem durante a execução da obra e se manifestam nas estruturas de concreto e nas argamassas utilizadas para assentamento, influenciando diretamente o conjunto da alvenaria, podendo desenvolver tensões que causam o surgimento de fissuras na alvenaria e, consequentemente, são transferidas ao RAF.

Um dos efeitos da retração de argamassas, como nos aponta Thomaz (1992), é a execução do fechamento do espaço entre o topo da parede e a face inferior da viga, que pode ser preenchido com tijolos em cunha, antes da secagem completa da argamassa de assentamento das alvenarias. O recalque plástico da argamassa somado a retração da mesma provocará o abatimento da alvenaria recém-construída. Caso o preenchimento da parede com o componente estrutural superior tenha sido realizado antes da secagem do conjunto, ocorrerá o destacamento entre a alvenaria e a estrutura conforme ilustra a figura 24.

Figura 24 – Destacamento provocado pelo abatimento da alvenaria recém construída.



Fonte: (THOMAZ, 1992)

Figura 25 - Fissuras de retração em concreto armado, causadas pela elevadíssima quantidade de cimento e/ou relação água-cimento do concreto.

Fonte: THOMAZ, 1992

O consumo de água e/ou cimento excepcionalmente altos, provocam fissuras e retração com diferentes configurações e semelhantes às fissuras de retração em argamassas, como mostrado na figura 25.

### 3.2.7 Trincas e fissuras causadas por alterações químicas dos materiais de construção

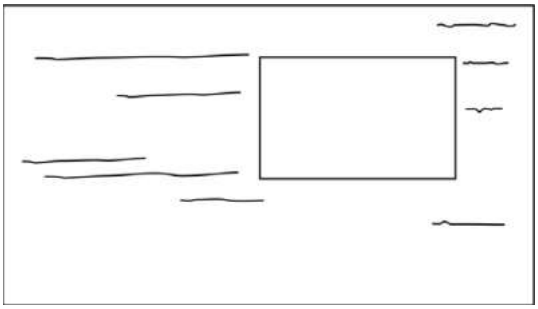
Os materiais de construção são suscetíveis de deterioração pela ação de substâncias químicas que reagem com as de seus componentes. Pode-se citar as substâncias ácidas, álcoois e sais solúveis, entre outras. Dentre todas as deteriorações que se manifestam nos materiais da construção civil, as mais preocupantes são os ataques por sais e a corrosão das armaduras (THOMAZ, 1992).

### 3.2.8 Trincas e fissuras causadas por hidratação retardada de cales

A hidratação retardada da cal acontece quando há grãos de cal mal hidratada na cal utilizada para a execução da argamassa. Quando esses grãos isolados de óxidos ativos entram em contato com a água se hidratam e aumentam seu volume em até 100%.

Segundo Thomaz (1992) e Cincotto (1988), em argamassas de assentamento, por exemplo, a sua expansão pode gerar esforços no RAF, podendo provocar o surgimento de fissuras acompanhando as juntas de assentamento da alvenaria, como mostra a figura 26.

Figura 26 - Fissuras horizontais no revestimento provocadas pela expansão da argamassa de assentamento.



Fonte: (THOMAZ, 1992).

Figura 27 - Expansão da argamassa de assentamento decorrente da presença de sulfatos.

Fonte: THOMAZ, 1992.

### 3.2.9 Trincas e fissuras causadas por ataques de sulfatos

Segundo Thomaz (1992), o sulfato em solução pode reagir com elementos químicos constituintes dos cimentos, como o aluminato tricálcico. Tal reação, que é acompanhada de grande expansão, forma o sulfoaluminato tricálcico, também conhecido como etringita.

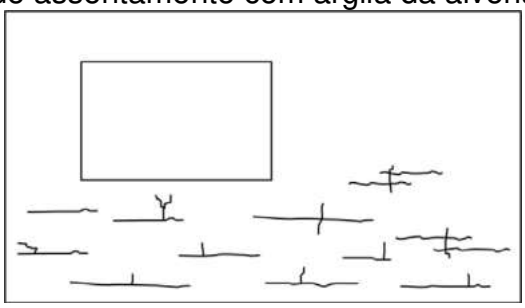
$$Ca6[Al(OH6)]2.24H2O\}.[(SO4)]3.H2O$$

Os sulfatos podem provir de águas contaminadas contidas no solo, bem como de componentes cerâmicos constituídos por argilas com altos teores de sais solúveis.

No caso da expansão de argamassas de assentamento compostas por argilas, por exemplo, ocorre inicialmente a expansão da alvenaria podendo, inclusive, ocorrer a desagregação da argamassa de assentamento, conforme ilustra a figura 27. Quando essas alvenarias, contaminadas por sulfatos, são revestidas por argamassas de revestimento, pode ocorrer o fissuramento do revestimento decorrente da transmissão dos esforços decorrentes da expansão das juntas de assentamento, como na figura 28. Essas fissuras apresentam aberturas mais pronunciadas e acompanham as juntas de assentamento horizontais e verticais.

Geralmente são acompanhadas de eflorescências. Além disso, os sulfatos solúveis podem migrar para o revestimento externo, provocando também a sua desagregação.

Figura 28 - Fissuras na argamassa de revestimento provenientes do ataque por sulfatos na argamassa de assentamento com argila da alvenaria.



Fonte: Thomaz, 1992.

### 3.2.10 Trincas e fissuras causadas por corrosão de armaduras

A corrosão de armaduras em estruturas de concreto armado vem sendo alvo de vários estudos por ser um fenômeno que, além de apresentar grande ocorrência, pode reduzir significativamente a vida útil do edifício, ocasionando consequências negativas às estruturas e também aos revestimentos de fachada. Helene (1993) comenta casos em que os problemas causados pela corrosão são tão severos que é preferível demolir a estrutura a realizar os reparos necessários, de custos normalmente muito elevados.

Em condições normais, a armadura no interior do concreto encontra-se protegida química e fisicamente. A proteção química é fornecida pela fase aquosa, contida nos poros do concreto da camada de proteção (cobrimento), pois esta possui alta alcalinidade, favorecendo a formação de uma camada de óxidos de ferro estáveis na armadura, compacta e aderente sobre sua superfície, chamada de camada de passivação. (GENTIL, 1996).

Segundo Gonzáles (1996), os produtos finais da corrosão possuem um volume maior que o aço original, aumentando de três a dez vezes o diâmetro da seção da armadura, o que pode acarretar tensões internas elevadas, gerando fissuração e destacamento do cobrimento do concreto. Os efeitos sobre a estrutura afetam o aço, pela redução da seção ativa e decréscimo da resistência mecânica, e o concreto, pela fissuração, aparecimento de manchas de ferrugem e destacamentos do cobrimento, resultando também na perda da aderência entre ambos e na danificação do RAF.

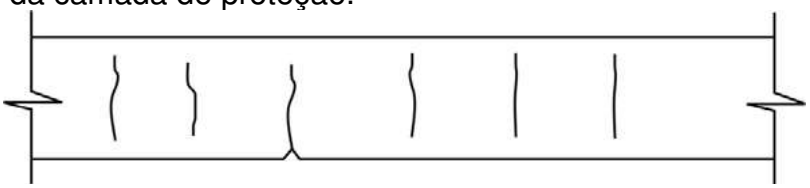
Neville (1997) pondera que os íons cloretos são considerados os agentes mais problemáticos no processo de corrosão das armaduras, tanto no que diz respeito ao

período de iniciação quanto ao de propagação sendo necessária a avaliação mais apurada da espessura da camada de cobrimento das armaduras das estruturas próximas a regiões marítimas.

Helene (1993) ressalta que o fenômeno da corrosão de armaduras, em geral, é mais frequente do que qualquer outro fenômeno de degradação das estruturas de concreto armado, comprometendo-as tanto do ponto de vista estético quanto da segurança. O pesquisador ainda destaca que geralmente os estribos, as armaduras inferiores de vigas e as armaduras situadas na base inferior junto, aos cantos de pilares em contato com o solo, são mais propícios a sofrerem corrosões.

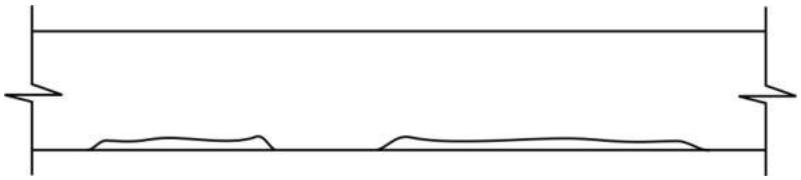
As fissuras decorrentes de corrosão, frequentemente, acompanham o alinhamento da armadura corroída. As figuras 29, 30 e 31 mostram as formas típicas de fissuras provocadas pela corrosão em vigas e pilares que são transferidas ao RAF, frequentemente acompanhando sua forma:

Figura 29 - Típica forma de fissuras em viga de concreto, particularmente nas posições dos estribos. Geralmente estas fissuras são acompanhadas pelo destacamento da camada de proteção.



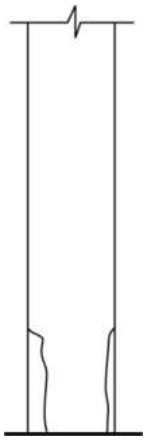
Fonte: (HELENE, 1993).

Figura 30 - Típica forma de fissuras e lascamento em viga de concreto, paralela às armaduras inferiores. Geralmente estas fissuras são acompanhadas pelo destacamento da camada de proteção.



Fonte: (HELENE, 1993)

Figura 31 - Típica forma de fissuras e lascamento em pilar de concreto paralelamente às armaduras verticais. Geralmente estas fissuras são acompanhadas pelo destacamento da camada de proteção.



Fonte: (HELENE, 1993).

Através do estudo de caso o autor (Armando Felipe da Silva, 2007) exemplificou essa patologia no Edifício Trindade e observamos como anomalia A1 e A3,

Na anomalia A1 ele á caracterizou por três aspectos observados:

1. apresentou destacamento do RAF (a região afetada gerou som cavo quando percutida);
2. verificou-se a existência de fissuras na região do destacamento;
3. verificou-se, também, mancha de bolor em torno da região do destacamento do RAF, conforme revelam as figuras 32 e 33:

Figura 32 - Fissuras no RAF e manchas de bolor no pilar situado na garagem térrea.

Fonte: Armando F.S, 2007

Figura 33 - Detalhe das fissuras.

Fonte: Armando F.S, 2007.

Ele observou algumas hipóteses de diagnostico para a anomalia A1, através da verificação visual a primeira estabelecida foi que a camada de RAF destacou-se do substrato tendo como causa a corrosão da armadura do pilar provocada pela penetração de umidade de precipitação. Após provocar um ambiente úmido, teria sido favorecido o desenvolvimento de microorganismos sobre o revestimento superficial, causando as machas escuras observadas.

A segunda hipótese foi sobre a possibilidade da camada de cobrimento da armadura ser de espessura insuficiente para prover sua proteção, o que, juntamente com a umidade provinda do solo e com a diferença de potencial existente na região afetada, poderia ter desencadeado o processo de corrosão da armadura. Esse fator teria gerado o destacamento do RAF observado, sendo as manchas de mofo existentes resultado da umidade prolongada (THOMAZ, 1992).

Já a terceira hipótese referiu-se à umidade do solo, que pode ter transportado sais solúveis e agentes agressivos presentes no terreno para o RAF e para a camada de cobrimento, alterando o pH da região e desencadeando o processo de corrosão da armadura, fator gerador do destacamento do RAF observado (ARGILLËS, 1999).

Como diagnóstico mais provável da anomalia A1 chegou-se ao seguinte observação a causa da anomalia foi a presença de umidade prolongada no RAF e no concreto, associado a pouca espessura da camada de cobrimento gerando o desencadeamento do processo de corrosão da armadura, podendo-se determinar que a origem da anomalia ocorreu por falha construtiva; a umidade a que se refere provavelmente foi provinda do solo através do fenômeno da capilaridade e pela

umidade de precipitação; como consequência da corrosão, ocorreu o fissuramento e o destacamento do RAF.

Propostas alternativas de reparos para a anomalia A1, deve-se inicialmente avaliar a alternativa de reparo de menor custo de modo a resolver causa do problema, ou seja, procurar eliminar o agente causador da manifestação patológica, que nesse caso especificamente é a umidade.

Sobre a corrosão de armaduras, esse fenômeno só pode ocorrer com a combinação de três elementos: a água, o oxigênio e a diferença de potencial na armadura. Assim, a primeira medida a tomar é tentar diminuir a incidência de umidade na região e a segunda, tratar os efeitos decorrentes da causa. Nesse caso, seria o tratamento das armaduras corroídas, a substituição do RAF, a eliminação dos microorganismos e a execução de pintura. Todavia, caso não seja eliminada a umidade, as ações reparativas provavelmente serão somente paliativas.

Já na anomalia A3 observamos pelas figuras 34 e 35.

Figura 34 - Registra o posicionamento das demais rachaduras, todas localizadas no alinhamento das saídas pluviais.

Fonte: (Armando F.S, 2007).

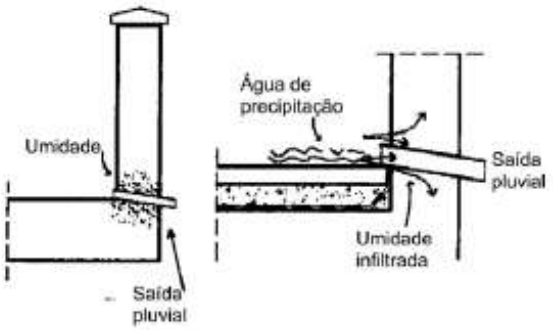
Figura 35 - Rachaduras no RAF decorrentes da corrosão das armaduras da viga.

Fonte: (Armando F.S, 2007).

Como hipóteses de diagnósticos para a anomalia observou através de verificação visual e percutida estabeleceram-se duas hipóteses. A primeira foi estabelecida sobre a possibilidade da camada de cobrimento da armadura ser de espessura insuficiente para prover sua proteção. Entretanto, a umidade de precipitação que deságua da sacada através de suas saídas pluviais com pouco caimento, retorna para a fachada, tornando a região inferior da viga úmida, auxiliando no processo de corrosão da armadura, fator gerador do destacamento do RAF observado.

A segunda hipótese estabelecida foi que uma pequena quantidade de água de precipitação nas sacadas, é conduzida pelas saídas pluviais. Outra parte dessa água migra para o interior da parede através de falhas no arremate da impermeabilização em torno das saídas pluviais, consequentemente alcançando a viga, tornando a região inferior úmida, desencadeando o processo de corrosão da armadura, fator causador do destacamento do RAF observado. A figura 36 demonstra esta hipótese.

Figura 36- Pontos passíveis de infiltração.




Fonte: ARGILÉS, 1999. p. 61, adaptado.

O autor ainda cita como propostas alternativas de reparos para essa anomalia duas intervenções reparativas. A primeira delas consiste em uma intervenção, a ser efetuada com o objetivo de sanar a infiltração provinda da falha de arremates na canalização da saída pluvial das sacadas. A segunda tem como objetivo realizar a recuperação estrutural da viga, inclusive na argamassa que sofreu as consequências do processo patológico ocorrido.

## 3.3 BIODETERIORAÇÃO

Segundo Uemoto (1999), vários fatores estão envolvidos nos processos de deterioração de revestimentos de fachadas, sejam em pinturas, concretos ou argamassas, podendo ser divididos em fatores bióticos e abióticos.

### 3.3.1 Fatores bióticos

Os fatores bióticos estão relacionados com os elementos biológicos que afetam uma edificação, tais como: insetos, raízes, bactérias, fungos e algas, entre outros. Devido ao enfoque, serão expostos somente os fatores que atuam mais frequentemente nas fachadas: os fungos, as algas e os liquens.

### 3.3.2 Os fungos

Segundo Allsopp (apud Uemoto, 1999), os fungos são os principais agentes da degradação dos revestimentos superficiais nas fachadas, pois, possuem grande adaptabilidade a meios estressantes tais como baixa umidade, variações bruscas de temperatura e quantidade mínima de nutrientes para sua alimentação.

As consequências ocasionadas pela presença dos fungos são preocupantes, visto que eles se alimentam, sobretudo, de materiais orgânicos fixados nas fachadas, algumas sujidades e monóxido de carbono. Possuem a capacidade de se alimentarem também de alguns componentes presentes nas resinas de revestimentos superficiais, como as tintas e os vernizes. Esses materiais possuem grande concentração de material orgânico em sua composição, de modo que os fungos podem causar danos à película das tintas.

Segundo Sato (2000), a influência do substrato na ocorrência dos fungos se deve ao fato de que a umidade é absorvida, transportada e armazenada em quantidades diferentes, que dependem das características e constituição de cada material que compõem a fachada. Materiais mais porosos tendem a absorver e a reter mais água do que os menos porosos, demorando mais tempo para que a água absorvida seja evaporada. A diferença de umidade retida nesses materiais, juntamente com as temperaturas adequadas e os nutrientes necessários disponíveis, provoca o desenvolvimento de fungos com diferente intensidade. As regiões compostas por materiais mais úmidos, desenvolvem fungos de forma mais rápida e intensa do que as regiões menos úmidas.

Sato (2002) destaca ainda que os materiais podem absorver umidades não só de precipitação, mas também as decorrentes de condensações que podem ocorrer em fachadas.

### 3.3.3 As algas

Segundo Uemoto (1999), as algas são organismos que utilizam a luz solar para produzir seus alimentos, ou seja, são fotossintetizantes. Portanto, não dependem

dos constituintes do material a que estão aderidos para se desenvolverem. Como vegetais, necessitam de água e luz, o que favorece seu crescimento principalmente em ambientes externos.

Segundo Skinner (apud Uemoto, 1999), as algas se desenvolvem sobre tintas e vernizes, bem como em alvenarias. Também se estabelecem nas superfícies de filmes de tintas acarretando, como principal consequência, o desfiguramento da superfície. A aplicação de pintura em alvenarias fissuradas, com desenvolvimento de agentes biológicos no seu interior, pode levar ao crescimento das colônias e resultar na ruptura do filme.

### 3.3.4 Os líquens

Hueck-Van Der Vals (apud Uemoto, 1999) esclarece que os liquens são organismos vivos desenvolvidos em decorrência da simbiose entre as algas e os fungos. Assim sendo, Honda (1998) define o líquen mais precisamente como sendo um organismo simbiótico composto por um fungo e uma ou mais algas. Ou seja, para existirem liquens é necessária a existência de fungos e de algas convivendo juntos. A figura 37 apresenta uma espécie de líquen:

Figura 37 - Exemplo de líquen.

Fonte: G.L. Bernard, acessado em **<http://campus.fortunecity.com/yale/757/Liquens.htm>.**

Segundo Cincotto (1995), tal como as algas, os líquens são fotossintetizantes e não dependem dos constituintes dos materiais aos quais se encontram aderidos. Os danos que os liquens provocam às superfícies são semelhantes aos das algas e dos fungos. Desenvolvem-se mais lentamente do que as algas e geralmente não são encontrados em superfícies novas até que as algas e os fungos tenham se estabelecido. São encontrados, normalmente, incrustados nas alvenarias, formando uma camada fina e firmemente aderida ao substrato, ou sob a forma de folhas chatas, formando rosetas e pouco aderidas a base. No estágio inicial os liquens podem ser facilmente confundidos com os fungos e com as algas.

Para exemplificarmos esse tipo de patologia iremos utilizar o autor Armando Felipe, dentro das patologias abordadas citadas em seu estudo abordaremos a anomalia A2.

Nas figuras 38 e 39 pode-se observar o estado em que se encontram as fachadas sudeste e noroeste, tendo seu revestimento superficial manchado de forma generalizada. Na fachada oeste pode-se verificar a existência de manchas escuras, que se concentram em torno da platibanda e do reservatório superior, bem como nas regiões abaixo das janelas de alguns banheiros e áreas de serviço. Pode-se verificar ainda que na fachada sul as manchas evidenciam os trechos compostos pela alvenaria de blocos cerâmicos e pela estrutura em concreto armado.

Figura 38 – Vista da fachada oeste e sul.

Fonte: (Armando F.S, 2007)

Figura 39 - detalhe do aspecto do revestimento superficial abaixo da janela do BWC, danificado pela ação da umidade e de micro-organismos.

Fonte: (Armando F.S, 2007)

Como hipóteses de diagnósticos para a anomalia A2 verifica-se que se trata de desenvolvimento de microorganismos, tais como fungos, algas ou liquens, que se estabeleceram sobre o revestimento superficial do RAF. A primeira hipótese estabelece que as manchas em ambas as fachadas são provenientes de micro organismos, sendo a fachada sudoeste mais prejudicada por receber pouca luz solar direta e pela existência de infiltrações provindas de falhas nas impermeabilizações

dos boxes dos banheiros, ou pela falta de manutenção do rejuntamento dos pisos e das paredes dos banheiros e das áreas de serviço (THOMAZ, 1992).

A segunda hipótese estabelece que as manchas situadas em torno das platibandas são provenientes da proliferação de micro organismos, situação agravada pelo comprometimento da impermeabilização da calha do telhado, bem como, pelo acúmulo de sujidades na superfície superior da platibanda que, com as chuvas, são lançadas nas fachadas, criando um ambiente propício para o desenvolvimento dos agentes biodeterioradores (ARGILÉS, 1999).

A terceira hipótese estabelece que as manchas observadas na fachada sul são provenientes do desenvolvimento de fungos nos trechos que se mantêm úmidos por mais tempo. A região onde se encontra a alvenaria absorve mais umidade do que a região de concreto, pois os blocos cerâmicos são mais porosos, assim a região que contem mais água (alvenaria) leva mais tempo para secar permitindo o desenvolvimento mais acentuado de microorganismos do que a região (concreto) com menos água contida (SATO, 2002).

O diagnóstico mais provável da anomalia A2, chegou-se ao seguinte diagnóstico a anomalia A2 deve ter como causa a proliferação de agentes biodeterioradores provenientes da falta de manutenção preventiva (lavações e repintura) das superfícies, falta de manutenção das áreas internas dos banheiros e áreas de serviço e da inexistência de protetores e pingadeiras sobre o topo das platibandas. Pôde-se determinar duas origens da anomalia. A primeira ocorreu por falha de projeto decorrente falta de descrição das proteções sobre as platibandas, e a segunda, pela falta de manutenção das fachadas.

### 3.3.5 Fatores abióticos

Uemoto (1999) relaciona os fatores abióticos aos fatores bióticos no que se refere aos fenômenos que contribuem para o seu desenvolvimento, tais como a umidade, a temperatura, os constituintes dos materiais, a insolação, a luz e os ventos. Embora o pesquisador destaque o conjunto desses fatores como influenciadores no crescimento dos agentes biológicos, Wrigth (1984) afirma que o teor de umidade contido na superfície da fachada é o fator mais importante que determina o padrão de crescimento dos organismos vivos. O umedecimento das superfícies depende das condições climáticas onde o edifício está implantado. Em regiões mais protegidas dos ventos, onde a umidade é maior, o crescimento é mais acentuado.

A natureza da superfície é muito importante na determinação do tipo de organismo e do seu padrão de crescimento. Os produtos à base de materiais orgânicos, como tintas e vernizes, são facilmente colonizados por agentes biológicos que usam o carbono de seus constituintes como fonte de alimento. Os substratos de base inorgânica, apesar de não possuírem carbono em sua composição, podem reter materiais particulados - como a poluição atmosférica que deposita partículas compostas de carbono, enxofre e nitrogênio na superfície das fachadas – que servem como nutrientes para o desenvolvimento de micro organismos. As características físicas do substrato, como a textura ou a rugosidade, interferem na retenção de partículas da atmosfera. A porosidade aberta influencia a absorção de água no material, permitindo maior retenção da água de chuva, e auxiliando no desenvolvimento de agentes biológicos.

## 3.4 UMIDADE EM FACHADAS

As manchas, as fissuras e as desagregações provocadas pela umidade nas fachadas, são as manifestações patológicas mais frequentes nos edifícios. Segundo Nappi (1996), essas anomalias aceleram o processo de deterioração dos materiais presentes, ocasionando condições de insalubridade e, consequentemente, gerando um desconforto pessoal a seus usuários. Uemoto (2002), acrescenta a tais aspectos negativos, a desvalorização do imóvel causada pela alteração do aspecto estético desencadeada pelo fenômeno.

Para Argillés (1999), analisar os problemas que a umidade causa às fachadas dos edifícios exige que se entenda como a água, em seus diversos estados (líquido, sólido e gasoso), tende a penetrar, a mover-se e a reagir no exterior e no interior dos componentes do RAF. O autor enfatiza que a água possui propriedades que a tornam o principal agente de deterioração de materiais. Isso pode ser atribuído à habilidade de dissolução de substâncias em contato com a água, à capacidade de penetração em cavidades ou em poros extremamente finos e, finalmente, por ela possuir maior temperatura de evaporação dentre os líquidos comuns, permanecendo em um material no estado líquido por mais tempo.

Iremos abordar uma exemplificação, nomeada pelo autor Armando Felipe como anomalia 7, pode-se observar na figura 40 a ocorrência de manchas e degradação do revestimento superficial do RAF em torno do reservatório superior:

Figura 40 - Manchas escuras provenientes de micro-organismos fixados à pintura.

Fonte: Armando F.S, 2007

Como hipótese de diagnósticos para a anomalia, as manchas em torno do reservatório superior são provenientes de sujidades do ar e da proliferação de agentes biodeterioradores, decorrentes da inexistência de caimentos definidos da laje que cobre o reservatório superior.

Diagnóstico mais provável da anomalia A7 a umidade é o principal componente participativo no desenvolvimento dos agentes biodeterioradores. As partículas orgânicas presentes no ar atmosférico e nas sujidades retidas na camada superficial dos revestimentos auxiliam neste processo. A inexistência de caimentos na laje de cobertura do reservatório superior, fez com que a água da chuva fosse levada a várias regiões do perímetro, levando consigo sujidades que foram escorrendo e depositando-se nas paredes, conforme mostra a figura 41. Assim, pode-se determinar que a origem da anomalia é decorrente de falha construtiva.

Figura 41 - Inexistência de escoamento definido e marcas de microorganismos na parede externa do reservatório superior.

Fonte: Armando F.S, 2007.

Pode-se dizer que há somente uma única alternativa de correção, porém envolvendo vários serviços. A começar pela execução de uma mureta em torno do perímetro da laje; definição do escoamento da água da chuva através de regularização da área de intervenção; impermeabilizar a laje de cobertura do reservatório; colocar protetores

com pingadeiras sobre a superfície superior das muretas perimetrais; e pintar a superfície do RAF em torno do reservatório.

### 3.4.1 Mecanismo de transporte de umidade nos materiais

Nappi (2002) esclarece que o transporte de água na edificação é o fenômeno pelo qual essa substância - seja em estado líquido, seja em vapor - movimenta-se no interior dos poros dos materiais. Esse processo, todavia, é influenciado pelo tipo e pelo tamanho de poros e fissuras presentes no revestimento.

Assim, para ocorrer esse fenômeno é imprescindível a existência de poros abertos ou fissuras no material que permitam a penetração das moléculas de água.

Argillés (1999) reforça que o transporte de vapor de água pelo interior dos poros de um material poroso se dá pela difusão, decorrente da diferença de pressão de vapor entre regiões do material, sendo que o fluxo ocorre da maior para a menor pressão, até ocorrer o equilíbrio entre elas. O transporte de água em forma líquida pelo interior de um material poroso se dá pela capilaridade: efeito da atração que a água exerce no interior dos poros interligados existentes em um material.

Todos os materiais porosos possuem um determinado teor de umidade, quer no estado líquido, quer no gasoso. Quando há variação no teor de umidade ocorrem tensões internas: a expansão volumétrica, quando o teor de água é aumentado, e a retração, quando há uma redução do teor de água pela sua evaporação. Os fenômenos de expansão e de retração, chamados de movimentação higroscópica, resultam, com o passar do tempo, na fadiga do material.

### 3.4.2 Origem da umidade

A umidade pode se manifestar nos materiais e nos componentes da construção sob várias formas. Destacam-se, porém, as manifestações de umidade provindas do terreno, da construção, da precipitação, da condensação e de uma parceria entre a umidade provinda do terreno e a da oriunda da ação de fenômenos higroscópicos, conforme será visto a seguir.

#### 3.4.2.1 Umidade do terreno

A umidade existente no solo migra por entre os poros abertos dos materiais constituintes das estruturas e das paredes de vedações que estejam em contato com ele. Quanto menor o diâmetro dos poros maior será ascensão da água no material. De acordo com Eichler (apud Nappi, 1995), a água pode atingir alturas diferenciadas dependendo do diâmetro dos poros, conforme demonstra o quadro 6:

Quadro 6 - Altura da água em relação ao diâmetro dos capilares.

| Diâmetro dos capilares (mm) | Altura máxima (mm) |
|---|---|
| 1,00 | 15 |
| 0,01 | 1500 |
| 0,0001 | 150000 |

Fonte: Eichler (apud Nappi, 1995).

Geralmente a ascensão da água numa parede será estabilizada no momento em que a quantidade de água evaporada for igual à absorvida do solo através da capilaridade.

Conforme discorrido quando se tratou da biodeterioração, a umidade é um dos principais agentes da deterioração de fachadas. Segundo Argillés (1999), uma das mais frequentes manifestações patológicas decorrentes da umidade do terreno nas fachadas dos andares térreos, mais especificamente, é o aparecimento de manchas provocadas pela ação dos agentes bióticos.

Outra manifestação patológica que a umidade do solo pode provocar através do fenômeno da capilaridade é a transferência de substâncias químicas presentes no solo, podendo gerar alterações no pH das camadas protetoras das armaduras e, consequentemente, o desencadeamento de corrosões.

#### 3.4.2.2 Umidade de construção

Argilés (1999) define a umidade de construção como aquela originada na fase de construção da edificação. Nappi (1996) complementa que quase todos os materiais necessitam de água para sua confecção. O resultado é que, ainda que durante o processo de construção grande parte dessa água seja rapidamente evaporada, uma parte significativa demora muito mais tempo para ser liberada, como ocorre com a água retida no interior dos poros dos materiais.

Quase todos os materiais possuem uma quantidade de água mínima necessária para prover sua cura, como é o caso das argamassas e concretos, por exemplo. De tal modo, a redução da água do material num espaço muito curto de tempo pode gerar alteração nas propriedades físicas do material e ocasionar interferências no seu desempenho.

Segundo Thomaz (1992), uma das principais anomalias decorrentes da umidade de construção é a fissura de retração em argamassas e concretos.

Geralmente, são decorrentes da falta de controle no processo de elaboração e de cura dos materiais, ocasionando deformações irreversíveis.

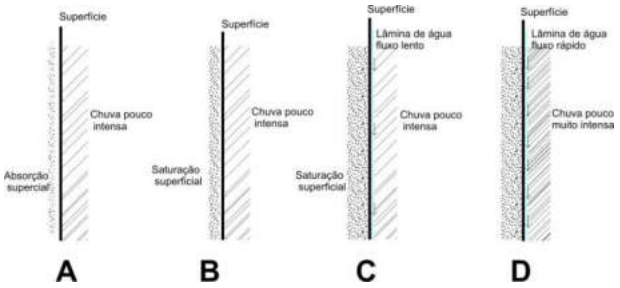
Fiorito (1994) reforça que a porosidade da argamassa também é influenciada proporcionalmente pela quantidade de água, ou seja, quanto maior a quantidade da água, maior a porosidade da argamassa.

### 3.4.2.3 Umidade por precipitação

A umidade por precipitação refere-se à água da chuva que incide nas fachadas, cuja proteção ocorre pelos revestimentos superficiais aplicados sobre as superfícies que possuem a função de garantir o rápido escoamento, bem como a estanqueidade ao ar e à chuva (Argilés, 1999). As características de rugosidade e de porosidade do material de acabamento externo interferem na absorção e no escoamento da água, tendo como agentes variantes a intensidade de precipitação e o seu direcionamento com relação a fachada.

A penetração da água de chuva nas fachadas pode ocorrer em quatro níveis, conforme ilustra a figura 42: (A) água decorrente de chuva pouco intensa ou na fase inicial de chuva, quando é absorvida superficialmente pela vedação através da pressão promovida pelo fenômeno da capilaridade; (B) água absorvida após um determinado período, com a saturação dos poros superficiais; (C) água absorvida após o aumento da quantidade de água, sob a forma de uma lâmina, com fluxo lento sobre a vedação já saturada; (D) água absorvida após chuvas muito intensas, quando a lâmina de água tem o fluxo mais rápido, facilitando o escoamento da água. Quanto mais rugosa a superfície, mais lento é o escoamento e maior a retenção de água sobre a superfície.

Figura 42 - Fases de interação da água nas fachadas.

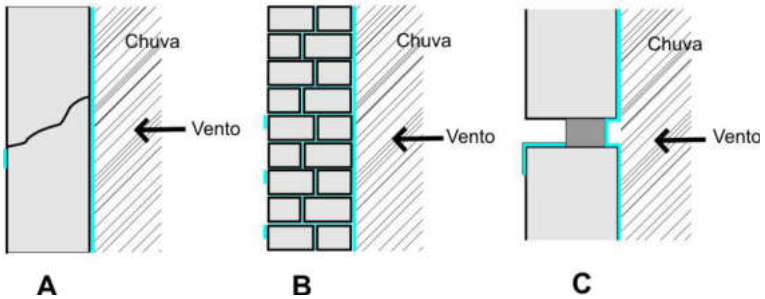



Fonte: ARGILÉS, 1999.

Segundo Barth (2001), as fachadas compostas por várias camadas de materiais podem apresentar 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. Essa penetração é decorrente do efeito de um ou mais fenômenos físicos, como a ação da gravidade, as tensões de capilares e a pressão exercida pelo vento.

Para Henriques (apud Nappi, 1996), o vento gera uma força horizontal diretamente proporcional à sua intensidade, aumentando ainda mais o poder de penetração da água nas paredes, conforme mostra a figura 43:

Figura 43 - Tipos de infiltrações em paredes – (A) infiltração de água por gravidade associadas à capilaridade e à pressão do vento; (B) infiltração de água através de meio poroso associada à capilaridade e à ação da pressão do vento; (C) água da chuva sob ação do vento em junta defeituosa




Fonte: ARGILÉS, 1999.

### 3.4.2.4 Umidade de condensação

O ar pode conter vapor de água até uma quantidade limite que depende de sua temperatura. Argillés (1999) e Sato (2002) explicam que quando o teor de umidade contida no ar atinge sua escala máxima, ele é dito como saturado. Quanto mais elevada for a temperatura do ar, maior é a massa de vapor de água que este pode conter.

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. Nas fachadas sul, que geralmente não recebem sol, a umidade superficial gerada pela condensação leva mais tempo para secar, expondo a superfície à ação dos agentes biodeterioradores por mais tempo do que nas demais fachadas.

Segundo Argillés (1999), a umidade do ar pode condensar-se no interior dos poros de muitos materiais, podendo gerar, também, diversas anomalias que vão de eflorescências até desagregamentos e corrosões de armaduras.

### 3.4.2.5 Umidade provinda do terreno e ação do fenômeno de higroscopicidade

Nappi (2002) destaca que muitos materiais possuem na sua constituição sais solúveis em meio aquoso. Muitos desses sais também estão presentes em alguns solos, principalmente nos ricos em matéria orgânica. Ao entrar em contato com a água os sais se dissolvem e migram juntamente com a água para o interior dos materiais em contato, através do fenômeno da capilaridade, deslocando-se até a

superfície onde ocorre a evaporação da água e, consequentemente, a cristalização dos sais. Esse processo de dissolução e cristalização frequentemente gera um aumento de volume nos cristais, provocando elevadas tensões nos poros internos do material. O resultado pode ser a desagregação da área contaminada.

Wilimzig (2003) atribui a desagregação, à pressão desenvolvida pelo aumento de volume dos sais ocorrida no momento em que eles se hidratam, conforme apresenta o quadro 7:

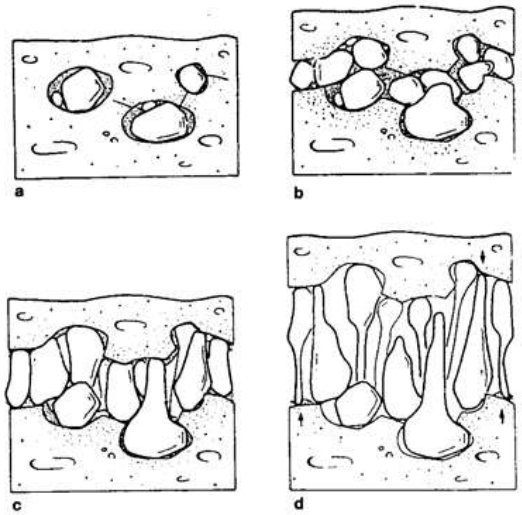
Quadro 7 - Aumento de volume dos sais devido à hidratação.

| Sal anidro | Temperatura de mudança (Cº) | Sal hidratado | Aumento de volume (%) |
|---|---|---|---|
| **Na2SO4** | 32 | Na2SO4.10H2O | 420 |
| **Na2CO3.H2O** | 35 | Na2CO3.10H2O | 360 |
| **MgSO4.H2O** | 48 | MgSO4.7H2O | 290 |

Fonte: WILIMZIG, 2003. p. 16.

A figura 44 ilustra a sequência do fenômeno da desagregação de um material poroso provocada pela cristalização de sais:

Figura 44 - a) Sais depositados na porosidade do material; b), c) e d) aumento do volume das partículas de sal no decorrer de suas cristalizações, provocando tensões internas no material, desencadeando sua desagregação.




Fonte: ARGILÉS; 1999.

Nappi (2002) também chama a atenção sobre os aglomerantes hidráulicos utilizados conjuntamente em argamassas, como o cimento Portland e a cal hidráulica, por exemplo, que em contato com muita umidade podem formar:

a *etringita*: $\mathbf{\{Ca_6[Al(OH_6)]_2.24H_2O\}.[(SO_4)]_3.H_2O}$ e
a *taumasita*: $\mathbf{\{Ca_6[Si(OH_6)]_2.24H_2O\}.(SO_4)_2.(CO_3)_2}$,

pois contêm os elementos necessários para a sua formação. A formação dessas reações químicas na argamassa pode gerar o seu desagregamento.

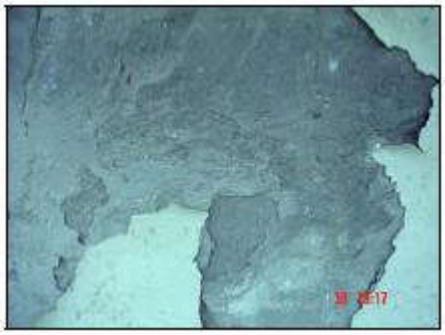
Para a formação da etringita é necessária a presença de sulfato e do aluminato hidratado de cálcio (ambos presente no cimento hidratado), porém, para ocorrer a expansão é necessário a presença da cal. A taumasita, entretanto, não necessita da cal para prover a expansão: a presença de silicato hidratado de cálcio, sulfato e umidade já são suficientes por si só para desencadear a reação química acompanhada de sua expansão (Collepardi apud NAPPI, 2002).

Como observação no Edifício Trindade do autor Armando, a anomalia 6 em seu estudo de caso, caracteriza essa patologia e segundo o autor pode-se observar através da figura 45, a decomposição do RAF e da pintura na platibanda da fachada nordeste:

Figura 45 - Decomposição pontual do RAF da platibanda da fachada nordeste.

Fonte: Armando F.S, 2007.

Figura 46 - Detalhe da decomposição do RAF.



Fonte: Armando F.S, 2007.

Hipóteses de diagnóstico para a anomalia A6 a primeira hipótese formulada foi de que a desagregação observada foi provocada pela formação de etringita e/ou taumasita no RAF, devido à grande quantidade de umidade presente na região e pelo mesmo ter cal e cimento em sua constituição. Os aglomerantes hidráulicos utilizados conjuntamente em argamassas, como o cimento Portland e a cal hidratada, em contato com muita umidade, contêm os elementos necessários para a formação destes compostos químicos provocando a desagregação da argamassa.

A segunda hipótese estabelece que a desagregação do RAF é provocada pela expansão de sais contidos nos elementos constituintes da alvenaria e transferidos ao RAF através da umidade provinda das calhas. A terceira hipótese coloca que o RAF desagregou, em decorrência da falta de aglomerante em sua constituição.

Diagnóstico mais provável da anomalia, pode-se verificar que as únicas regiões que apresentavam a referida anomalia eram junto às platibandas que contornam as calhas do telhado do ático, conforme mostra a figura 45.

A hipótese de que o RAF possa ter pouco aglomerante em sua constituição a ponto de causar sua desagregação foi descartada sem necessitar de análises laboratoriais, uma vez que a anomalia ocorreu numa região específica e não de modo generalizado, desencadeando-se somente próxima às calhas onde havia grande concentração de umidade.

Avaliando melhor os elementos da edificação, pode-se verificar que o avançado estado de decomposição da impermeabilização da calhas, como pode-se verificar na figura 46, permitiu a infiltração de parte da água da chuva para o interior da platibanda, umedecendo-a, transferindo água para o RAF e, provavelmente, provocando o desenvolvimento de etringita e/ou taumasita, gerando tensões elevadas nos componentes internos do RAF e desencadeando o desagregamento observado (ARGILÉS, 1999), (NAPPI, 2002) e (POSSER, 2004). Diante do exposto, pode-se determinar que a origem da anomalia ocorreu por falta de manutenção da calha.

## 4.0 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Este capítulo apresenta as análises das manifestações patológicas que abordamos no item 3.

Podemos observar que através dos exemplos que citamos do autor Armando Felipe no seu estudo de caso obteve 07 tipos de anomalias segue elas listadas abaixo:

- **A1** - Destacamento do RAF - Fissuramento do RAF
- **A2** – Biodeterioração - Sujidades
- **A3** - Fissuração do RAF - Destacamento do RAF
- **A4** - Fissuração do RAF de forma mapeada
- **A5** - Fissuração do RAF na interface entre pilar e alvenaria.
- **A6** - Desagregação do RAF
- **A7** – Biodeterioração – Sujidades

Com essas anomalias exemplificadas podemos observar que patologias em argamassas de revestimentos externas são comuns e são causadas devido a problemas de execução, ação do clima, do tempo e da falta de manutenção.

Podemos observar no quadro 8 abaixo que no Brasil a porcentagem das causas das patologias é em maior índice na falha de execução da argamassa.

Quadro 8 – Nível de incidência de origem varia no Brasil.

| | Causa (%) | | | |
|---|---|---|---|---|
| | Projeto | Materiais | Execução | Utilização |
| Brasil | 18 | 7 | 51 | 13 |

Fonte: Fonte: Silva e Jonov, 2014

Podemos ressaltar que no estudo de caso que utilizamos para exemplificar foram encontradas como possíveis causas, conforme quadro 9.

Quadro 9- Tabela comparativa das prováveis origens de anomalias observadas no Ed. Trindade.

| Anomalia | Projeto | Materiais | Execução | Uso |
|---|---|---|---|---|
| A1 | | | 100% | |
| A2 | 50% | | | 50% |
| A3 | 50% | | 50% | |
| A4 | | | | 100% |
| A5 | 50% | | 50% | |
| A6 | | | | 100% |
| A7 | 100% | | 100% | |

Fonte: Armando F.S, 2007.

Dardengo (2010) explica que as edificações estão propensas à deterioração natural devido ao meio em que estão inseridas e às características dos materiais utilizados

em sua construção assim que começam a ser utilizadas. A partir disso, é que se confirma a necessidade da manutenção, visando preservar o desempenho e prolongar a vida útil da edificação. O mesmo autor descreve que, até pouco tempo, a manutenção não era vista como significativa na construção civil, porém verificou-se que, além da conservação das edificações, a manutenção auxilia a minimizar custos. Para Roscoe (2008), as manutenções são executadas com a intenção de preservar contra danos ou recuperar as edificações que manifestem patologias, com a finalidade de restabelecer o desempenho e as características iniciais. Contudo, caso houvesse mais atenção e cuidado na elaboração dos projetos, os custos com manutenções poderiam ser reduzidos.

Segundo (TERRA, 2001, p. 37) os revestimentos executados com argamassas inorgânicas, desde que aplicados segundo as regras de qualidade e submetidos a utilização normal, não carecem de manutenção ou de reparação durante um longo período de tempo. Assim sendo, a necessidade de manutenção ou de recuperação apenas surgirá, em revestimentos antigos por alterações naturais ou em revestimentos mais recentes, como resultado da utilização de materiais impróprios ou de má qualidade, de deficiente execução (dosagens e aplicações) ou de danos acidentais que o revestimento tenha sofrido, ou ainda de má concepção dos edifícios.

Segundo o referido autor, é fundamental descobrir a causa e eliminá-la antes de reparar o dano. Durante o processo de manutenção, deve-se ter cuidado para não danificar ou destruir outros elementos estruturais. Além disso, o autor destaca que cada manifestação patológica representa uma forma diferente de recuperação.

## 5.0 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo das argamassas e seus conceitos foram importantes para analisarmos o que pesquisadores e normas definem para o processo de preparação, aplicação, execução e manutenção.

A realização das pesquisas que busquem diagnosticar, avaliar e caracterizar a incidência de manifestações patológicas são muito importantes para auxiliar o processo construtivo e a utilização das edificações, pois possibilita compreender medidas que possam reduzir a ocorrência de falhas e problemas, visando, assim, melhorar a qualidade geral da edificação.

Esta pesquisa permite analisar as principais manifestações patológicas detectadas em revestimentos de argamassas por meio de pesquisa bibliográfica, visando analisar a causa do problema, o mecanismo de formação e a raiz do problema. Através deste trabalho, foi possível obter um conhecimento mais abrangente dos materiais e métodos de construção do revestimento de argamassa e das principais manifestações patológicas.

Além disso, é compreensível que a maioria das manifestações possa ser reduzida e, em alguns casos, até evitada por algumas pequenas medidas preventivas, como controle dos projetos, execução das obras de acordo com normas técnicas e dosagens adequadas das argamassas, materiais de melhor qualidade e maior frequência de manutenção após a conclusão.

Espera-se que os temas abordados neste trabalho aumentem o conhecimento técnico de todos os profissionais ligados à área da engenharia civil, a fim de gerar produtos de maior qualidade, e evitar manifestações patológicas e custos em retrabalho e reciclagem futuros, e sensibilizá-los para medidas preventivas mais importante do que medidas corretivas.

Por fim, recomenda-se, também, para melhora da sociedade como sugestão as prefeituras possam está instruindo através de cursos, palestras como forma de educar ou até mesmo qualificar a população em especial do ramo da construção civil sobre metodologias e aplicações das argamassas.

## 6.0 REFERÊNCIAS

Recomenda-se a leitura do seguinte material para estruturação das referências:

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS ABNT. **NBR 13749**: revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – especificação. Rio de Janeiro, 1996.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Guia básico de utilização do cimento Portland**. Boletim Técnico. São Paulo: ABCP, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS**. NBR 7175**: Cal hidratada para argamassas – requisitos. Rio de Janeiro, 2003.

ALLSOPP, D. et SEAL, K. J. **Introduction to biodeterioration.** London: Edward Arnold, 1986.

ALVES, J. D. **Materiais de construção**. 6. ed. Goiânia: Editora da UFGO, 1987.
ANDRADE, J. J. O. **Contribuição à previsão da vida útil das estruturas de concreto armado atacadas pela corrosão de armaduras: iniciação por cloretos**. Relatório de Qualificação para o Doutorado na UFRGS, Porto Alegre, 2000.

ARGILLÉS, J. M. J et GARCIA, A. A. G. **Patología y técnicas de intervención: fachadas y cobiertas**. Madrid: Munilla- Lérvia, 1999.

ARMANDO,F. S. **Manifestações Patológicas em fachadas com revestimentos argamassados. Estudo de caso em edifícios em Florianópolis.** Tese (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo). Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, Brasil. 2007.

BARTH, F. **La accion combinada de las lluvias con vientos en las fachadas de los edifícios.** Conferência Internacional Confort y Comportamento Térmico de edificacones – COTEDI, Maracaibo Universidade de Zulia, 2000.

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

BAUER, L. A. F. **Acidentes em obras de concreto e sua recuperação.** São Paulo: Publicações Técnicas do IBRACON. 2003.

BOLORINO, H.; CINCOTTO, M. A. Limpeza de fachadas de argamassa. **Anais I simpósio brasileiro de tecnologia das argamassas**. Goiânia: UFGO, 1995.

CASTRO, A. P. A. S et al. Medidas de refletância de cores de tintas através de análise espectral. **Ambiente construído,** Porto Alegre, v. 3, n. 2, p. 69-74, abr./jun. 2003.

CEOTTO, L. H; BANDUK, R. C; NAKAKURA, E. H. **Revestimentos de argamassas:** boas práticas em projeto, execução e avaliação. Porto Alegre: Habitare, 2005.

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

_____. Identificação de fungos em revestimentos de argamassa com bolor evidente. In. **Anais do I simpósio brasileiro em tecnologia das argamassas**. Goiânia: Antac, 1995.

_____. **Argamassas de revestimentos: Características, propriedades e métodos de ensaio**. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1995. – (Publicação IPT 2378).

_____. Propriedades das argamassas cimento: cal: areia. In. **Seminário sobre argamassas**, INBRACON, São Paulo, Jul. 1985.

EMPRESA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA E EXTENSÃO RURAL DE SANTA CATARINA S.A. **Atlas Climatológico do Estado de Santa Catarina.** Florianópolis: EPAGRI, 2002. 1 CD-ROOM.

FIORITO; A. J. S. **Manual de argamassas e revestimentos:** estudos e procedimentos de execução. São Paulo, Ed. Pini, 1994.

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

GENTIL, V. **Corrosão.** 3. ed. Rio de Janeiro: LTC, 1996.

GUIMARÃES, J. E. P. **A cal. Aplicações na engenharia civil**. São Paulo: Ed. PINI, 1997.

GUIMARÃES, J. E. P. et al. A evolução da consolidação dos revestimentos das alvenarias com argamassas contendo cal hidratada. In. **Seminário sobre argamassas**, IBRACON, São Paulo, Jul. 1985.

HELENE, P. R. L. **Contribuição ao estudo da corrosão em armaduras de concreto armado.** Tese (Livre Docência) – Escola Politécnica da USP. São Paulo, 1993.

HENRIQUES, F. M. A. **Humidade em paredes**. Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 1995.

HONDA, N. K.; VILEGAS, W. **A química dos liquens.** Campo Grande: Ed. UFMS, 1998.

KLOSS, C. L. **Materiais para construção civil**. Curitiba: CEFET-PR, 1991

LICHTENSTEIN, N. B. Patologia das construções. **Boletim técnico n. 06**. São Paulo: USP, 1986.

SABBATINI, F. H. Tecnologia de execução de revestimento de argamassas. In. 13º **Simpósio de Aplicação da Tecnologia do Concreto.** São Paulo, 1990.

SABBATINI, F. H.; BARROS, M. M. S. B. **Recomendações para produção de revestimento cerâmicos para paredes de vedação em alvenaria.** São Paulo, Convênio EPUSP/CqDCC, 1990.

SATO, N. M. N.; al. **Penetração de umidade e crescimento de fungos em fachadas**. São Paulo: EPUSP, 2000.

SCHMIDT, M. V. et. al. Metodologia para avaliação da ocorrência de fissuração em argamassas. **Anais V simpósio brasileiro de tecnologia em argamassas**, São Paulo: USP, 2003. p. 609-618.

SELMO, S. M. S. **Dosagem de argamassas de comento portland e cal para revestimento externo de fachada de edifícios.** São Paulo, EPUSP, 1989, Dissertação (Mestrado em Engenharia de Construção Civil) – CPGECC/ Escola Politécnica da USP.

SHIRAKAMA, M. A. Identificação de fungos em revestimentos de argamassa com bolor evidente. **Anais I simpósio brasileiro de tecnologia das argamassas**. Goiânia: UFGO, 1995.

SILVA, P. A.; JONOV, P. M. C. **Patologia nas Edificações**. Curso de Aperfeiçoamento e Gestão na Construção Civil Pública. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2014.

SITTER, W. R. Costs for service life optimization. The “law of fives”. **Durability of concrete structures. Preccedings of the international workshop help in Copenhagem, on 18-20 May 1993.** Compenhagen, 1984.

THOMAZ, E. **Trincas em edifícios: causas, prevenção e recuperação**. São Paulo, Ed. PINI, 1992.

VERÇOSA, E.J. **Patologia das edificações.** Porto Alegre, Ed. Sagra, 1991.

WILIMZIG, M. Danos causados por sais e microorganismos nas edificações. **A recuperação de edificações históricas. IAB/MARGS**. Porto Alegre, 2003.