

REJANE MARIA TUBINO GEYER

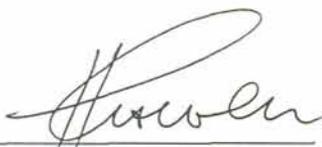
## INFLUÊNCIA DO CHOQUE TÉRMICO NA ADERÊNCIA DE AZULEJOS AO SUBSTRATO

Dissertação apresentada ao corpo docente do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para a obtenção do título de MESTRE EM ENGENHARIA.

Porto Alegre

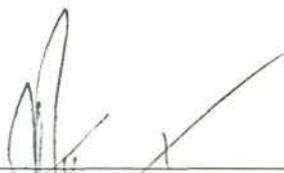
MAIO, 1994

Esta dissertação foi julgada adequada para a obtenção do título de MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL e aprovada em sua forma final pelo Orientador e pelo Curso de Pós - Graduação.



---

**Prof. Dr. Hélio Adão Greven**  
Orientador



---

**Prof. Dr. Jorge Daniel Riera**  
Coordenador do Curso de Pós Graduação  
em Engenharia Civil - UFRGS

**BANCA EXAMINADORA:**

**Hélio Adão Greven** - Orientador  
Dr. pela Universidade de Hannover

**Sérgio R. Maestrini**  
PhD pela NCSU / USA

**Ronaldo Bastos Duarte**  
PhD pela Universidade de Edinburgh

**Carlos Torres Formoso**  
PhD pela Universidade de Salford

**Denise C. C. Dal Molin**  
M. Eng. pelo CPGEC / UFRGS

Aos meus pais.

Ao André.

## AGRADECIMENTOS

Ao Professor Hélio Greven, pela orientação, incentivo e valiosas contribuições no transcurso deste trabalho.

Aos Professores Denise Dal Molin e João Luiz Campagnolo, pela co-orientação, apoio e amizade demonstrada.

À CECRISA- Cerâmica Criciúma S.A., à Quimikal- Queveks do Brasil Indústria e Comércio de Produtos Químicos Ltda. e à Otto Baumgart- Indústria e Comércio S. A., pelo fornecimento de materiais e informações para a realização desta pesquisa.

Aos colegas do NORIE, pelo estímulo e companheirismo nestes anos de convivência.

À CAPES e à PROPESP, pelo auxílio da Bolsa de Estudos.

À bibliotecária Juliana Bonilha, pela organização das referências bibliográficas.

Ao laboratorista Fontes e demais funcionários do LEME, pela colaboração na realização dos ensaios.

A todos aqueles que, direta ou indiretamente, propiciaram a realização desta dissertação.



2.3.1- Recebimento de materiais	21
2.3.2- Metodologia de aplicação do azulejo (produção do revestimento vertical)	23
2.4- PATOLOGIAS MAIS COMUNS	27
2.4.1- Cerâmicas descoladas	28
2.4.1.1- Retração da base	28
2.4.1.2- Expansão das peças cerâmicas	29
2.4.1.3- Uso indevido do adesivo	30
2.4.1.4- Problemas originados no assentamento	30
2.4.1.5- Movimentação térmicas	31
2.4.2- Patologias oriundas do processo de fabricação do material de revestimento cerâmico	35
2.4.2.1- Desprendimentos pontuais na superfície da cerâmica	35
2.4.2.2- Listras em cerâmicas	36
2.4.2.3- Bolhas nas cerâmicas	36
2.4.3- Outras patologias em revestimentos cerâmicos	37
2.4.3.1- Gretagem de azulejos	37
2.4.3.2- Eflorescência	40
2.5- REPARO NOS DANOS EM CERÂMICAS	40
2.6- LOCAIS DE MAIOR OCORRÊNCIA DO DESCOLAMENTO	42
3- FUNDAMENTOS SOBRE ADERÊNCIA	44
3.1- CONCEITOS BÁSICOS	44
3.1.1- Adesão ou aderência	45
3.1.2- Coesão	45
3.1.3- Adesivo	45
3.1.4- Área de contato	45
3.1.5- Extensão de aderência	46
3.2- MECANISMO DE ADERÊNCIA	46
3.2.1- Aderência física	47
3.2.1.1- Tensão superficial	47
3.2.1.2- Rugosidade do aderente	51

3.2.2- Aderência química	52
3.2.3- Ancoragem mecânica	53
3.2.4- Resistência da interface de aderência	53
3.3- FATORES QUE INFLUENCIAM A ADERÊNCIA	54
3.3.1- Características dos componentes	54
3.3.1.1- Argamassas adesivas	54
3.3.1.2- Substrato	56
3.3.1.3- Azulejos	57
3.3.2- Qualidade da mão-de-obra	57
4- ENSAIOS REALIZADOS	58
4.1- OBJETIVOS	58
4.2- DESCRIÇÃO DOS ENSAIOS	58
4.2.1- Materiais empregados	58
4.2.2- Metodologia	59
4.2.3- Ensaio realizado com as argamassas	60
4.2.3.1- Determinação do índice de consistência normal	60
4.2.3.2- Determinação da resistência à compressão	62
4.2.4- Ensaio realizado com os azulejos assentados	66
4.2.4.1- Introdução	66
4.2.4.2- Etapas preparatórias dos ensaios	66
4.2.4.3- Ensaio de choque térmico	75
4.2.4.3.1- Descrição do equipamento desenvolvido para a execução do ensaio	76
4.2.4.3.2- Metodologia de execução do ensaio	79
4.2.4.4- Ensaio de resistência de aderência à tração	81
4.2.4.4.1- Descrição do equipamento	82
4.2.4.4.2- Metodologia de execução do ensaio	83
5. AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS	86
5.1- ENSAIO DE CHOQUE TÉRMICO	86
5.2- ENSAIO DE RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO	92
6- CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	99
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	102

## LISTA DE FIGURAS

### Capítulo 2

2.1- PROCESSO DE FABRICAÇÃO DOS AZULEJOS-CASO MONOQUEIMA	8
2.2- PRCESSOS PRODUTIVOS DOS AZULEJOS-MONOQUEIMA E BIQUEIMA	9
2.3- COLOCAÇÃO DE TALISCAS PARA EXECUÇÃO DE CAMADA DE REGULARIZAÇÃO	24
2.4- DETALHE DAS JUNTAS DE MOVIMENTAÇÃO COM ACABAMENTO DE MATERIAL DE ENCHIMENTO E SELANTES	25
2.5- DETALHE DA EXECUÇÃO DOS AZULEJOS	26
2.6- EXEMPLOS DE TARDOZ DOS AZULEJOS	31
2.7- MOVIMENTAÇÕES TÉRMICAS	32
2.8- CORTE ESQUEMÁTICO DE UMA PAREDE REVESTIDA COM PEÇAS CERÂMICAS CUJO REJUNTAMENTO FOI FISSURADO POR MOVIMENTAÇÕES TÉRMICAS	33
2.9- JUNTA DE DILATAÇÃO	34
2.10- JUNTA DE DILATAÇÃO NA UNIÃO COM PAREDES	35
2.11- CORTE DE UMA PLACA CERÂMICA COM UM GRANDE VAZIO NO SEU INTERIOR PRODUZIDO PELA PRESSÃO DE VAPOR DE ÁGUA DURANTE O COZIMENTO	37
2.12- GRETAGEM DE AZULEJOS	38
2.13- GRETAGEM DE AZULEJOS PROVOCADA PELA RETRAÇÃO DA ARGAMASSA DE ASSENTAMENTO	39

### Capítulo 3

3.1- TENSÃO SUPERFICIAL	48
3.2- VARIAÇÃO DA TENSÃO SUPERFICIAL DA ÁGUA EM FUNÇÃO DA TEMPERATURA	48
3.3- REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DA ATRAÇÃO ENTRE MOOLÉCULAS NO INTERIOR EM SUPERFÍCIE DE UM LÍQUIDO	49
3.4- ADERÊNCIA FÍSICA DE UM LÍQUIDO SOBRE UM SÓLIDO (MOLHAMENTO)	50
3.5- MOLHAMENTO DE UM SÓLIDO POR UM LÍQUIDO	51

### Capítulo 4

4.1- ASPECTO DOS PARES DE PAINÉIS DE AZULEJOS	70
4.2- COMBINAÇÕES UTILIZADAS ENTRE OS CORPOS-DE-PROVA E AS ARGAMASSAS EMPREGADAS	71
4.3- EQUIPAMENTO PARA ENSAIO DE CHOQUE TÉRMICO	76
4.4- APARELHO PARA ENSAIO DE RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA (REVESTIMENTO DE PAREDE)	82

### Capítulo 5

5.1- CICLOS DE CHOQUE TÉRMICO PARA CP1-LEITURAS DO PONTO DE BASE	89
5.2- CICLOS DE CHOQUE TÉRMICO PARA CP1-LEITURAS DO PONTO DE CENTRO	89
5.3- CICLOS DE CHOQUE TÉRMICO PARA CP1-LEITURAS DO PONTO DE TOPO	90
5.4- CICLOS DE CHOQUE TÉRMICO PARA CP2-LEITURAS DO PONTO DE BASE	90

5.5- CICLOS DE CHOQUE TÉRMICO PARA CP2-LEITURAS DO PONTO DE CENTRO	91
5.6- CICLOS DE CHOQUE TÉRMICO PARA CP2-LEITURAS DO PONTO DE TOPO	91
5.7- GRÁFICO “BOX AND WHISKER PLOT”	95
5.8- GRÁFICO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DAS ARGAMASSAS	96
5.9- GRÁFICO DE RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA DOS ENSAIOS REALIZADOS	97

## LISTA DE TABELAS

### Capítulo 2

2.1- JUNTAS DE ASSENTAMENTO MÍNIMAS	12
-------------------------------------	----

### Capítulo 4

4.1- CARACTERÍSTICAS DOS AZULEJOS UTILIZADOS	59
4.2- RESULTADOS OBTIDOS NO ENSAIO DO ÍNDICE DE CONSISTÊNCIA NORMAL (ABATIMENTO)	62
4.3- RESULTADOS OBTIDOS NO ENSAIO DE DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DAS ARGAMASSAS	65

### Capítulo 5

5.1- RESULTADOS DAS MEDIDAS DO ENSAIO DE CHOQUE TÉRMICO PARA O CP1	87
5.2- RESULTADOS DAS MEDIDAS DO ENSAIO DE CHOQUE TÉRMICO PARA O CP2	88
5.3- RESULTADOS OBTIDOS NO ENSAIO DE RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO PARA O CORPO-DE-PROVA 1	93
5.4- RESULTADOS OBTIDOS NO ENSAIO DE RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO PARA O CORPO-DE-PROVA 2	93

## LISTA DE TABELAS

### Capítulo 2

2.1- JUNTAS DE ASSENTAMENTO MÍNIMAS	12
-------------------------------------	----

### Capítulo 4

4.1- CARACTERÍSTICAS DOS AZULEJOS UTILIZADOS	59
4.2- RESULTADOS OBTIDOS NO ENSAIO DO ÍNDICE DE CONSISTÊNCIA NORMAL (ABATIMENTO)	62
4.3- RESULTADOS OBTIDOS NO ENSAIO DE DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DAS ARGAMASSAS	65

### Capítulo 5

5.1- RESULTADOS DAS MEDIDAS DO ENSAIO DE CHOQUE TÉRMICO PARA O CP1	87
5.2- RESULTADOS DAS MEDIDAS DO ENSAIO DE CHOQUE TÉRMICO PARA O CP2	88
5.3- RESULTADOS OBTIDOS NO ENSAIO DE RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO PARA O CORPO-DE-PROVA 1	93
5.4- RESULTADOS OBTIDOS NO ENSAIO DE RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO PARA O CORPO-DE-PROVA 2	93

## LISTA DE FOTOS

### Capítulo 4

4.1- ASPECTO DA ARGAMASSA LOGO APÓS A RETIRADA DA FORMA TROCOCÔNICA	61
4.2- MEDIÇÃO DO ABATIMENTO DA ARGAMASSA NA MESA DO ENSAIO DE CONSISTÊNCIA	62
4.3- CONFECÇÃO DOS CORPOS-DE-PROVA DE ARGAMASSA	63
4.4- CORPOS-DE-PROVA DE ARGAMASSA CAPEADOS E PRONTOS PARA SEREM ENSAIADOS À COMPRESSÃO	64
4.5-ENSAIO DE DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DAS ARGAMASSAS	65
4.6- PAREDE CHAPISCADA PARA RECEBER ASSENTAMENTO DOS AZULEJOS	67
4.7- EXECUÇÃO DA CAMADA DE REGULARIZAÇÃO	68
4.8- EXECUÇÃO DA CAMADA DE REGULARIZAÇÃO- DESEMPENHO	68
4.9- AZULEJISTA ESTENDENDO A ARGAMASSA ADESIVA À BASE DO CIMENTO	72
4.10- SULCOS NA ARGAMASSA ADESIVA À BASE DE CIMENTO	72
4.11- COLOCAÇÃO DA PORÇÃO DE ARGAMASSA DE ASSENTAMENTO SOBRE A FACE NÃO VIDRADA DO AZULEJO (TARDOZ)	73
4.12- AJUSTE DO NÍVEL DO AZULEJO ASSENTADO	74
4.13- VISTA DE UM DOS PAINÉIS ENSAIADOS COM DETALHE DAS PASTILHAS COLOCADAS	75
4.14- EQUIPAMENTO PARA ENSAIO DE CHOQUE TÉMICO LIGADO	78

4.15- PAINEL DE LÂMINAS NA REALIZAÇÃO DO ENSAIO DE CHOQUE TÉRMICO	80
4.16- MEDIÇÃO COM PAQUÍMETRO	81
4.17- CORTE DOS CORPOS-DE-PROVA	83
4.18- APARELHO PARA ENSAIO DE RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA DURANTE A REALIZAÇÃO DO ENSAIO	85

## RESUMO

O trabalho consta do estudo teórico-experimental da influência do choque térmico na aderência de azulejos ao substrato. Inicialmente é feita uma revisão bibliográfica sobre os vários componentes envolvidos no processo, são relatados elementos para elaboração de projetos de revestimentos, a normalização vigente e algumas das patologias mais comuns encontradas nas cerâmicas, especialmente para os azulejos, bem como suas formas de reparos e locais de maior ocorrência.

Os fundamentos da teoria sobre aderência são abordados em um capítulo especial.

No capítulo seguinte são apresentados os ensaios realizados, quais sejam, ensaios de choque térmico e de resistência de aderência à tração de azulejos. Estes azulejos, em função da produção industrial, são de dois tipos: os confeccionados pelo processo monoqueima e os pelo processo biqueima, sendo cada grupo de amostras assentado com argamassa adesiva à base de cimento, argamassa adesiva convencional e argamassa adesiva com aditivo incorporador de ar.

A avaliação dos experimentos realizados é feita pelos métodos estatísticos, comprovando a importância das juntas de assentamento no desempenho ao longo da vida útil dos tipos de azulejos estudados, com os resultados encontrados constantes neste trabalho.

## ABSTRACT

This research consists of a theoretical and experimental study on the influence of thermal shocks in the binding of ceramic tiles to its supporting layer. Initially, a literature review is presented, discussing the components involved in the process, the elements which have to be considered in the design of ceramic tiling, current standards, the most common pathologies, the place where they may occur more often, as well as procedures for repairing them.

The major principles related to the theory of binding are discussed in a special chapter.

The following chapter presents a description of the tests carried out, such as thermal shock and pulling out of tiles. Two kinds of tiles were studied: the first produced by simple burning process and the second by the double burning process. Each group of samples was layed with different binding systems: cement based pre mixed mortar, conventional adhesive mortar (cement, lime and sand), and mortar with air incorporating aditive.

The results of the experiments were evaluated using statistical methods, confirming the importance of the laying joints at the life performance of the layed ceramic tiles.

# 1- INTRODUÇÃO

Como se assenta um azulejo? Os princípios que regem a colocação de azulejos com argamassa convencional são os mesmos que norteiam a sua fixação com outros tipos de argamassas adesivas? Quais os cuidados que devem ser tomados nas diversas modalidades de aplicação? Quando o revestimento cerâmico "solta", de quem é a culpa, dos materiais empregados, da aderência ou do colocador? Visando elucidar algumas destas questões é que se optou pelo tema deste trabalho, considerando-se a escassa bibliografia sobre azulejos assentados, estudando-se algumas variáveis que influenciam a aderência de azulejos com o substrato.

Os azulejos, pastilhas e mosaicos foram usados desde a antiguidade como elemento decorativo, principalmente na China, Índia, Caldéia e Assíria, onde, ainda hoje, podem ser vistos exemplos dessa antiga arte cerâmica. Os azulejos foram muito usados também pelos árabes em seus palácios e foi, através deles, que o azulejo foi introduzido na Península Ibérica, recebendo na Espanha a denominação atual devido à predominância de tons azulados (SANTOS & FERREIRA, 1968). Neste ponto há uma certa divergência na bibliografia, já que para o SENAR (CONVÊNIO, 198\_) o nome "azulejo" vem de um termo árabe que significa "pedra cintilante" e não da cor azulada do vidro. A palavra cerâmica tem sua origem no grego *keramos* que significa "coisa queimada", em inglês *ceramics*, em francês *céramique* e em alemão *Keramik*.

O material cerâmico é largamente empregado na Construção Civil devido às suas propriedades intrínsecas de resistência mecânica e de durabilidade, pois é um material quimicamente estável, não sendo atacado pelos agentes que corroem os metais e degradam os materiais orgânicos (IOSHIMOTO et al, 198\_).

Pode-se demonstrar a durabilidade do material cerâmico ao se mencionar que os estudos arqueológicos de civilizações antigas são normalmente baseados na identificação da origem e da data de fabricação de elementos cerâmicos que, ao contrário de metais, madeiras e tecidos, permanecem praticamente inalterados em relação à época de sua manufatura.

O azulejo veio ao Brasil trazido pelos portugueses que aqui chegando, como colonizadores, introduziram este material já muito popular em Portugal. Como a colonização se concentrou no litoral, onde a maresia de um lado e a forte insolação de outro degradavam rapidamente as tintas usadas na pintura das fachadas, passou-se a usar azulejos como revestimento por sua grande durabilidade. Ainda hoje são encontradas residências da época colonial com fachadas intactas revestidas de azulejos (CONVÊNIO, 198\_). A indústria brasileira de azulejos iniciou em 1919 na Manufatura Nacional de Porcelanas (SANTOS & FERREIRA, 1968).

A respeito do conceito de revestimento, SELMO & LICHTENSTEIN (1986) estabelecem algumas funções básicas que devem ser atendidas, qualquer que seja o seu tipo:

- a primeira função do revestimento é auxiliar a vedação. As vedações, além de simplesmente delimitarem o espaço, devem principalmente impedir a passagem de agentes indesejáveis como água, luz, gás, calor, ruído, etc. Este tipo de função dos revestimentos é evidente no caso dos revestimentos de fachadas;
- a segunda função diz respeito à própria proteção física e química das vedações e da estrutura que os revestimentos devem proteger. Não é por outro motivo que em determinados ramos industriais, cujos ambientes são extremamente agressivos, são usados revestimentos de azulejos;
- finalmente, como terceira função, não se pode negligenciar a estética que o revestimento possui. O revestimento deve se harmonizar perfeitamente com o gosto do usuário pelo qual foi escolhido.

No Brasil, um estudo pioneiro realizado por IOSHIMOTO (1985) sobre a incidência de manifestações patológicas em edificações habitacionais constatou que o descolamento de revestimentos representava o terceiro problema patológico de maior incidência no universo pesquisado pelo autor, perdendo apenas para os problemas de umidade e de fissuração.

DAL MOLIN (1988) confirma este dado para o Rio Grande do Sul, em estudo realizado junto à CIENTEC- Fundação de Ciência e Tecnologia do Estado. Neste mesmo estudo a "Building Research Advisory Service" e o CSTC- "Centre Scientifique et Technique de la Construction" também apontam a umidade, fissuração e o descolamento, como principais

manifestações patológicas em edificações habitacionais, nesta ordem decrescente de ocorrência.

No Rio Grande do Sul os revestimentos devem ser projetados para acompanhar as grandes variações térmicas que aqui ocorrem. O gradiente térmico nesta região do país pode chegar até a 20,6°C num único dia (SATTLER, 1989).

A partir destas considerações, resolveu-se investigar as causas que mais se relacionam com o problema de descolamento de azulejos. Para isto estudou-se o choque térmico ao qual a maioria destes revestimentos, sejam internos ou externos, estão submetidos.

Justifica-se a escolha do tema proposto pela grande produção e utilização de azulejos como material de revestimento no país. Ao todo, o subsetor de cerâmica para revestimento produziu em 1990 um montante de 190 milhões de m<sup>2</sup>, movimentando aproximadamente 900 milhões de dólares, ou 0,26% do PIB brasileiro. Enquanto isso, a Itália, maior fabricante mundial, produziu, no ano de 1990, 410 milhões de m<sup>2</sup>, e a Espanha, segunda colocada no ranking, atingiu 230 milhões de m<sup>2</sup> (PROJETO, 1992).

Neste trabalho, salvo quando especificado em contrário, por material cerâmico ou peça cerâmica entende-se azulejo, uma vez que este é o objeto deste estudo.

O objetivo desta dissertação é avaliar o desempenho de azulejos assentados com diferentes adesivos sobre um substrato de alvenaria de tijolos, partindo-se da hipótese que existe uma forte correlação entre a perda de aderência substrato-argamassa adesiva- azulejo com as movimentações que sofrem os painéis em função das variações de temperatura ambientais. Para tal foram realizados ensaios de choque térmico e posterior arrancamento destas peças cerâmicas e das usadas como testemunho. Com os resultados obtidos, através da utilização de métodos estatísticos, foi feita a avaliação dos experimentos realizados.

O presente trabalho é apresentado em seis capítulos, sendo este primeiro, colocado a título de INTRODUÇÃO.

O capítulo 2- REVESTIMENTOS CERÂMICOS- ASPECTOS GERAIS contém uma caracterização dos materiais cerâmicos (azulejos mais especificamente), do substrato de alvenaria de tijolos e das argamassas adesivas. Ainda neste capítulo apresentam-se as propostas para a elaboração do projeto de revestimentos cerâmicos, a normalização vigente no Brasil e os problemas patológicos mais comuns neste tipo de revestimento.

O capítulo 3- FUNDAMENTOS SOBRE ADERÊNCIA aborda aspectos relevantes sobre o assunto e a inter-relação entre os componentes que participam do conjunto substrato-argamassa adesiva-azulejo.

No capítulo 4- ENSAIOS REALIZADOS são descritos detalhadamente os ensaios executados. São três os tipos de argamassas adesivas empregadas nos ensaios: a primeira, uma argamassa adesiva de mercado à base de cimento; a segunda, uma argamassa convencional e a terceira, uma argamassa com aditivo incorporador de ar. Os azulejos utilizados foram de dois tipos, provenientes de uma mesma indústria cerâmica. Um tipo confeccionado pelo processo de monoqueima e o outro pelo processo de biqueima, com porosidades e dimensões diferentes entre eles, para que se pudesse verificar a influência destas características nos resultados obtidos nos ensaios.

No capítulo 5 consta a AVALIAÇÃO DOS EXPERIMENTOS, a partir de uma análise em que foram usados métodos estatísticos.

Finalmente no capítulo 6 são apresentadas as CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES, mostrando os possíveis caminhos a serem trilhados para que, no futuro, se possa entender melhor o fenômeno de choque térmico e a aderência de azulejos ao seu substrato.

## 2- REVESTIMENTOS CERÂMICOS- ASPECTOS GERAIS

Neste capítulo são descritos os componentes integrantes do revestimento de azulejos. São também discutidos alguns pontos que devem ser levados em consideração quando da elaboração de um projeto de revestimento, as etapas de execução importantes para a manufatura de um revestimento cerâmico, seu assentamento e a normalização brasileira a respeito. Algumas das patologias mais freqüentes encontradas nos azulejos, técnicas de reparos e locais de maior incidência do descolamento são apresentados no final do capítulo.

### 2.1- CARACTERIZAÇÃO DOS COMPONENTES

#### 2.1.1- Materiais Cerâmicos (azulejos)

Modernamente existem diversas definições para material cerâmico, caracterizando-o através de propriedades comuns e agrupando-os conforme estas mesmas propriedades. Uma delas, bastante ampla e abrangente, é empregada pela American Ceramic Society e pela American Society for Engineering Education (1963), citada por IOSHIMOTO (198\_), que define cerâmicas (no plural) ou materiais cerâmicos como sendo todos os materiais de emprego em engenharia (“engineering materials”) ou produtos químicos inorgânicos, excetuados os metais e suas ligas, que se tornam utilizáveis geralmente pelo tratamento em temperaturas elevadas. Esta definição é também utilizada pela Associação Brasileira de Cerâmica.

Conforme a definição acima, são consideradas cerâmicas uma ampla gama de materiais e entre eles se sobressaem os materiais empregados na construção civil, tais como (IOSHIMOTO, 198\_):

- materiais de cerâmica vermelha ou estrutural (tijolos, tubos, telhas, ladrilhos);
- materiais de cerâmica branca (louça sanitária,

- azulejos, pastilhas);
- materiais refratários;
  - vidros clássicos;
  - cimento Portland e especiais;
  - cales e gessos.

Segundo RANSON (1981), "Cerâmica é a arte e a ciência de fazer e usar artigos sólidos que tenham como componentes essenciais materiais inorgânicos não metálicos".

SAAD & RAMIRES (1990) citam que, na Europa, "Cerâmica são todos aqueles materiais não metálicos, inorgânicos, cuja estrutura após queima em altas temperaturas apresenta-se inteiramente ou parcialmente cristalizada".

Os materiais cerâmicos são produzidos através da mistura de quantidades preestabelecidas de matérias-primas, moldando-as e aquecendo-as até temperaturas de queima adequadas. Nestas temperaturas iniciam-se as reações que culminam na formação de silicatos, após as etapas de:

- a) desidratação;
- b) calcinação (destruição pelo calor da estrutura cristalina e da composição química);
- c) oxidação dos compostos de ferro e da matéria orgânica;
- d) formação de silicatos.

Assim, pode-se dizer que os produtos cerâmicos clássicos são silicatos mais ou menos refratários, cuja matéria-prima essencial é a argila.

### 2.1.1.1- Tecnologia da produção de azulejos

A tecnologia da produção de azulejos é bem descrita na publicação especial sobre revestimentos cerâmicos realizada pela revista PROJETO (1992) em conjunto com a ANFACER (Associação Nacional dos Fabricantes de Cerâmica).

Os azulejos são elaborados a partir de matérias-primas naturais- argilosas e não-argilosas- que formam a massa base. Na preparação de esmaltes e corantes, que são usados nos acabamentos superficiais dos azulejos, são usadas matérias-primas não naturais.

As matérias-primas argilosas apresentam uma grande quantidade de tipos, de composição variada, uma vez que cada jazida é resultado de uma formação diferente de solo. Os componentes mineralógicos principais das argilas são a caulinita, ilita, clorita e montmorilonita. Estas matérias-primas conferem trabalhabilidade (conformação) e resistência mecânica a cru, no processo de produção do azulejo.

As matérias-primas não argilosas são o quartzo, o feldspato, o filito e os carbonatos de cálcio e magnésio, e servem para formar o esqueleto do corpo cerâmico (quartzo), fundir em um corpo compacto (feldspato, filito) e dar estabilidade dimensional (carbonatos de cálcio e magnésio) aos elementos cerâmicos (PROJETO, 1992).

Os diferentes materiais são dosados por peso para que a composição adequada seja sempre mantida.

As matérias-primas não naturais são os compostos de chumbo, boro e titânio, óxidos metálicos diversos (de magnésio, ferro, cádmio, cromo, zinco, etc.), usadas para a preparação de corantes e esmaltes, os quais são obtidos pela moagem de "fritas", espécie de vidro próprio para este fim, acrescidas de minerais e pigmentos.

A preparação das matérias-primas para a massa pode ser feita por dois tipos de processos: a úmido ou a seco.

No processo a úmido as matérias-primas são misturadas em moinhos de bolas (seixos), junto com água, originando a massa líquida, denominada barbotina. Estes moinhos giram por um tempo pré-estabelecido, até a obtenção de partículas com diâmetros controlados (figura 2.1). Nesta etapa, a barbotina está com cerca de 35% de água, sendo então lançada na torre de secagem (spray-dryer) contra uma corrente de ar quente, resultando em massa granulada (com mais ou menos 7% de umidade). Este processo é o mais comumente encontrado, por permitir uma mistura mais homogênea dos componentes.

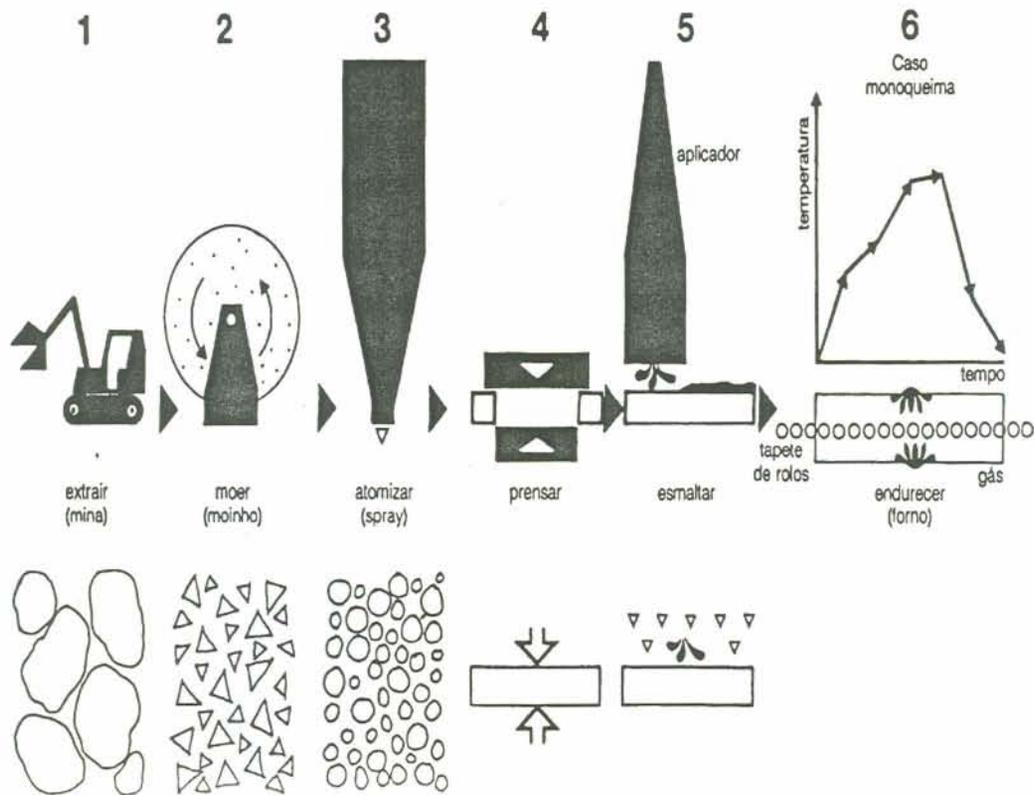


FIGURA 2.1- Processo de fabricação dos azulejos- caso monoqueima (PROJETO, 1992)

No processo a seco, as matérias-primas são moídas em moinhos do tipo martelo ou cone até a dimensão desejada e, em seguida, são umedificadas a mais ou menos 9%.

Após a etapa de preparação das matérias-primas a massa preparada entra na etapa de conformação e secagem (figura 2.2).

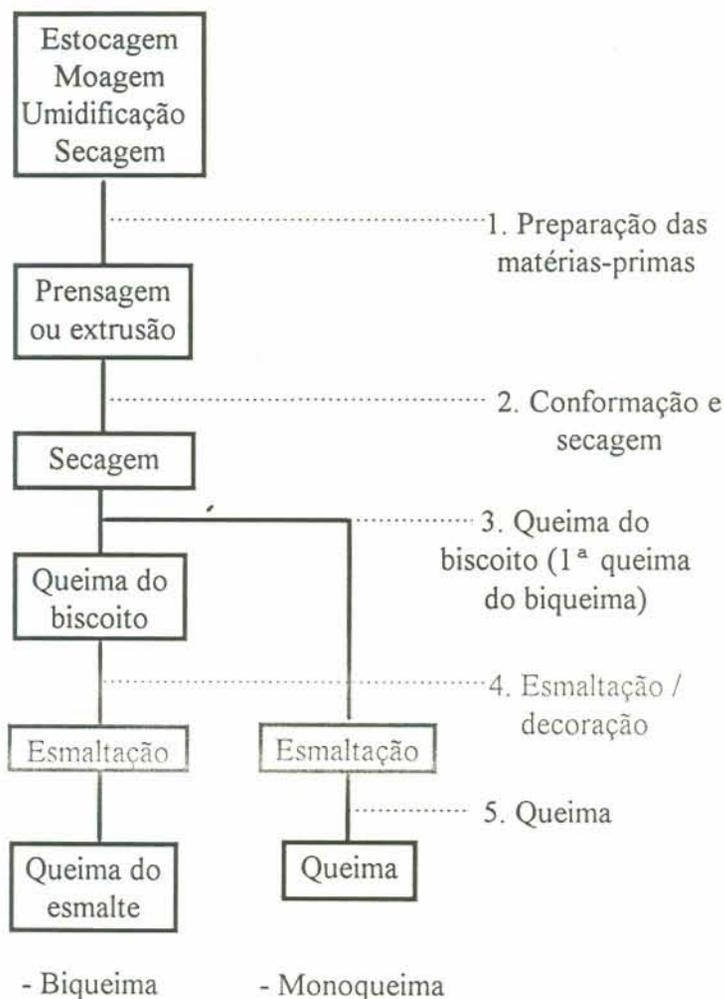


FIGURA 2.2- Processos produtivos dos azulejos-monoqueima e biqueima (PROJETO, 1992).

A conformação dos granulados pode ser feita de duas formas: por prensagem ou por extrusão. A prensagem confere ao produto maior estabilidade dimensional (massa com mais ou menos 7% de umidade) enquanto que na extrusão a massa tem mais ou menos 20% de umidade e uma estabilidade dimensional menor. O granulado é prensado no formato desejado, resultando no biscoito cru.

Denomina-se biscoito cru o corpo do azulejo antes da queima do produto.

Embora não apareça na figura 2.1, após a conformação, o biscoito cru é empilhado em vagonetes e levado para o forno de secagem. Na maioria das fábricas a secagem é feita em secadores a gás (gás liquefeito de petróleo, gás de carvão, etc.), verticais ou horizontais, de ciclos longos. Nesta fase, a umidade deve ser reduzida a aproximadamente 1%, aumentando com isto a resistência mecânica do produto.

Os azulejos podem ser queimados pelo processo de biqueima ou pelo processo de monoqueima. No processo de biqueima, o biscoito cru é levado ao forno de queima numa primeira etapa. Na queima do biscoito neste processo, a peça conformada e seca é exposta à temperatura de aproximadamente 1050°C a 1100°C, onde reações físico-químicas conferem à peça cerâmica a consistência definitiva (a resistência à flexão aumenta após a queima). Depois de queimado, é feita a esmaltação e, numa segunda etapa, o produto vai novamente para o forno para a vitrificação dos esmaltes e estabilização das cores. Em geral, a temperatura na etapa de vitrificação dos esmaltes está em torno de 980°C.

No processo monoqueima, acontece a sinterização do corpo cerâmico, simultaneamente à vitrificação do esmalte, provendo fortes ligações entre a base cerâmica e a decoração. As temperaturas neste processo ficam acima de 1.100°C. Neste caso, as peças cerâmicas esmaltadas são conduzidas em linha por correias, passando por equipamentos que fazem a aplicação de esmalte e serigrafias (figura 2.1). Estas linhas de esmaltação têm comprimentos que variam entre 20 e 100m, de acordo com o processo decorativo, em função da decoração ter mais de uma cor ou algum tipo de relevo.

Conforme mostra a figura 2.2, a queima do esmalte no processo biqueima e a etapa de queima no processo monoqueima é feita em forno a rolos que conduz os azulejos em todo o seu percurso interno. Na saída do forno o produto é automaticamente carregado em prateleiras onde fica exposto à temperatura ambiente até o equilíbrio de temperatura.

O produto final é visualmente classificado quanto à tonalidade e qualidade, sendo selecionado de acordo com suas medidas.

### 2.1.1.2- Características técnicas dos azulejos

O conhecimento prévio das diversas características técnicas dos revestimentos cerâmicos é de fundamental importância para que se possa avaliar os vários tipos disponíveis no mercado, especificando-se adequadamente as peças, como também para prescrever a técnica de assentamento adequada. A seguir encontram-se descritas as características mais importantes destes produtos:

**a) Absorção de água:** a absorção de água é o quociente entre a massa de água absorvida pelo azulejo quando saturado e a massa do azulejo seco, expressa em porcentagem. É também o parâmetro de classificação da norma ISO 10.545 e, provavelmente, da futura norma brasileira, devido ao fato de que muitas das características físicas e químicas dos revestimentos cerâmicos dependem da sua porosidade.

**b) Características dimensionais:** as normas técnicas descritas no item 2.3 estabelecem as características que o produto tem que obedecer:

- tolerância das dimensões dos lados, medidos e agrupados em faixas chamadas bitolas;
- limites máximos para a falta de ortogonalidade;
- curvatura (refere-se aos lados e diagonais);
- empenamento (refere-se ao desvio de um vértice em relação ao plano formado pelos outros três) e
- espessura.

**c) Dilatação:** as dilatações são aumentos de dimensões dos azulejos e podem ser de dois tipos: reversíveis, causadas por variação de temperatura e/ou umidade, ou irreversíveis, causadas por hidratação química. De acordo com a NBR 8214 (ABNT, 1983), ambas precisam ser absorvidas por juntas com espessuras suficientes (tabela 2.1) e por rejuntamentos capazes de absorver pequenas deformações.

TABELA 2.1- Juntas de assentamento mínimas (NBR 8214/83)

Dimensões dos azulejos (mm)	Juntas de assentamento mínimas (mm)	
	parede interna	parede externa
110 x 110	1,0	2,0
110 x 220	2,0	3,0
150 x 150	1,5	3,0
150 x 200	2,0	3,0
200 x 200	2,0	4,0
200 x 250	2,5	4,0

A porosidade dos produtos cerâmicos tende a aumentar a expansão por umidade e este fenômeno pode ser uma das causas da gretagem.

**d) Resistência ao choque térmico:** é a característica que indica se o revestimento é capaz de resistir a variações bruscas de temperatura sem apresentar danos. A norma brasileira não menciona este tipo de característica, embora deva ser incluída na próxima revisão da mesma.

**e) Resistência ao gelo:** é uma característica importante em revestimentos destinados principalmente a câmaras frigoríficas (locais sujeitos a temperaturas inferiores a 0°C). Na região sul do Brasil os revestimentos externos podem ficar expostos a temperaturas abaixo de 0°C em alguns dias de inverno.

O dano provocado pelo gelo deve-se ao fato de que a água congelada nos poros da peça aumenta de volume. Materiais de baixa absorção são os mais adequados a ambientes sujeitos a temperaturas próximas de 0°C.

**f) Resistência ao ataque químico e manchas:** é a capacidade que a superfície cerâmica tem de não alterar sua aparência quando em contato com determinados produtos químicos que mancham, os quais são padronizados pela norma NBR 6128/85.

**g) Comportamento ao fogo:** a cerâmica em forma de azulejo, em caso de incêndio, deve resistir a alterações quando em contato com o fogo, não produzindo fumaças ou gases tóxicos.

**h) Estabilidade de cores:** a estabilidade de cores é a característica dos materiais cerâmicos que fazem com que as suas cores permaneçam estáveis em relação aos efeitos de exposição ao sol e à luz. Exposições prolongadas à luz (especialmente à ultra-violeta) não devem alterar as cores dos produtos cerâmicos.

### 2.1.2- Substrato

O substrato, ou base de revestimento ou ainda superfície de aplicação pode ser definido como um "substrato poroso, constituído por material inorgânico não metálico, tais como: concreto, alvenaria de tijolos cerâmicos ou blocos de concreto e concreto em forma de painéis, sobre o qual é aplicado o revestimento" (IPT, 198\_).

Esta superfície de aplicação deve ser convenientemente preparada para o recebimento da camada de assentamento ou da camada de regularização, se houver. De maneira geral, a superfície a ser revestida não deve apresentar áreas muito lisas (elementos de concreto onde se utilizaram formas de chapas de compensado plastificadas novas, por exemplo) ou muito úmidas, pulverulência, eflorescência, bolor ou impregnações com substâncias gordurosas. Em bases com a presença de materiais deletérios, recomenda-se a sua retirada (DA ARTE, 1983).

### 2.1.3- Argamassas adesivas

As argamassas adesivas podem ser substâncias naturais ou sintéticas, capazes de ligar materiais entre si por meio de atração superficial (CONVÊNIO, 1990).

#### 2.1.3.1- Caracterização das argamassas adesivas convencionais

Entende-se por argamassa adesiva convencional uma argamassa mista de cimento, cal e areia com traços, em volume, podendo variar de 1:1:6 a 1:2:9, no caso de utilização de cal hidratada e 1:0,5:6 a 1:1,5:9, quando do emprego de pasta de cal extinta em obra (ABNT, 1983).

### 2.1.3.2- Caracterização das argamassas adesivas à base de cimento

Argamassas adesivas à base de cimento, por vezes chamadas apenas de cimento-cola, são produtos industrializados compostos por uma argamassa pré-dosada fornecida em embalagens apropriadas, que se apresenta em forma de pó, no estado seco. Pode ser entendida como um adesivo mineral constituído de cimento Portland comum, grãos finos de sílica (areia) e aditivos (CONVÊNIO, 1990). A composição desta argamassa varia de um fabricante para outro, entretanto, a dosagem recomendada para a sua constituição é de 40% de cimento Portland, 57% de areia quartzosa e 3% de resinas, compreendendo as vinílicas (acetato de polivinila) e as celulósicas (éteres de celulose) (OLMO et al, 1982).

Para o seu preparo em obra, basta a adição de água nas proporções indicadas na embalagem (geralmente 1 parte de água para 4 de pó), previamente ao seu emprego. No entanto, para que a argamassa possa desenvolver as suas características de aderência e resistência, permitindo a completa hidratação do cimento, deve-se esperar algum tempo após a mistura do material seco com a água. Desta maneira torna-se possível que os componentes ativos reajam, formando as cadeias de polímeros. Este espaço de tempo é de aproximadamente 15 min (NBR 8214/83).

Como maneira de caracterização, existem três tipos de tempos considerados para as argamassas adesivas, que são o tempo de validade da argamassa, tempo de abertura (tempo de assentamento) e o tempo de ajustabilidade.

Além de apresentar um tempo de validade da mistura que proporcione produtividade elevada por parte dos operários, outras características são esperadas de uma argamassa adesiva, sendo as principais:

- o tempo de abertura e o tempo de ajustabilidade compatíveis com as condições de trabalho;
- a tendência de não aderir exageradamente permitindo o ajuste dos componentes;
- o poder de retenção de água e a extensão de aderência (item 3.1.5) compatíveis com os componentes e com o substrato e, ainda,

- uma adequada superfície de contato entre os seus sulcos e os componentes de acabamento.

O tempo de abertura é também denominado tempo de assentamento, e pode ser entendido como o tempo disponível para o trabalho de aplicação dos componentes cerâmicos a partir do espalhamento da argamassa sobre o substrato. É o período entre o instante em que a argamassa adesiva é espalhada e o instante em que a mesma não mais apresenta capacidade de aderência suficiente em relação ao material de revestimento. Este último instante é identificado pelo aparecimento de uma película esbranquiçada sobre os cordões de argamassa. Cordões de argamassa são os sulcos formados depois que o azulejista passa a desempenadeira denteada metálica na argamassa adesiva já espalhada no substrato. Ao se assentar um componente sobre esta película, ele apenas amassará os cordões, não havendo, porém, uma aderência entre ambos. Em pouco tempo este componente poderá desprender-se.

O tempo de ajustabilidade, por sua vez, é entendido como o período de tempo no qual, após o assentamento dos componentes cerâmicos com argamassa adesiva, os mesmos possam ainda ter sua posição corrigida sem redução da capacidade de aderência.

Tendo em vista estas características, uma boa argamassa adesiva deve apresentar, pelo menos, um tempo de abertura de 15 min e um tempo de validade da mistura, que é o tempo de pega do cimento, de 2,5h (NBR 8214/83).

O espalhamento deve ser feito em camada fina (de 3 a 4 mm) e o mais uniforme possível, sobre uma área não superior a 1m<sup>2</sup>. Assim, consegue-se o máximo da força de aderência entre a superfície e o componente cerâmico e também maior contato entre os dois elementos. Após o espalhamento aplica-se a desempenadeira com o lado denteado sobre a camada de argamassa, formando sulcos que facilitarão o nivelamento e a fixação dos azulejos (NBR 8214/83).

#### 2.1.3.3- Caracterização das colas

As colas empregadas para a fixação de componentes cerâmicos são produtos à base de elementos orgânicos, cujos principais são:

- as resinas à base de PVA ou acrílicas, que originam as colas brancas. Devem ser empregadas apenas para uso no interior de edifícios, pois sofrem o ataque das intempéries;
- as emulsões asfálticas que originam as colas pretas;
- as resinas epóxicas e
- as borrachas sintéticas.

Normalmente, as colas apresentam-se sob a forma de pastas, prontas para serem empregadas, exceto a epóxica que é do tipo bi-componente necessitando sua prévia mistura.

As colas não são correntemente empregadas no Brasil, mas a fixação dos revestimentos cerâmicos por meio de colas é largamente utilizada nos países tecnologicamente mais avançados pois, quando aplicadas sobre um substrato adequado, resultam em elevada produtividade. A adequação do substrato está relacionada à sua regularidade e porosidade superficiais.

A necessidade da completa regularidade do substrato decorre das reduzidas espessuras de aplicação das colas, pois, para que sejam técnica e economicamente viáveis, as espessuras devem variar de 1 a 2 mm, não permitindo ajuste do componente sobre uma base que apresente desvios de planeza (NBR 8214/83).

Um dos aspectos a serem abordados quanto à caracterização das colas é que devem ser aplicadas sobre substratos de porosidade baixa. Quando aplicadas em substratos de elevado poder de sucção, como os rebocos de argamassas convencionais, por exemplo, todo o material da cola é absorvido antes da fixação do componente, podendo comprometer a sua aderência. No caso de substratos com porosidade elevada, deve-se aplicar, sobre o substrato, uma camada de "primer", previamente à cola, para diminuir o seu poder de absorção. Isto, porém, eleva o custo da camada de fixação e diminui a produtividade, podendo inviabilizar economicamente a sua utilização. No Brasil não existe normalização que indique como avaliar o poder de sucção das superfícies, sendo que esta característica depende basicamente da prática do profissional envolvido no processo.

#### 2.1.3.4- Caracterização das argamassas adesivas com aditivo incorporador de ar

As argamassas adesivas com aditivo incorporador de ar são, em geral, de cimento e areia, e devem seguir as recomendações de traço de acordo com o fabricante do aditivo.

O aditivo incorporador de ar tem como conseqüências principais o aumento da trabalhabilidade da argamassa, a diminuição da sua porosidade, uma redução da permeabilidade e o aumento da plasticidade.

Este tipo de aditivo deve ser adicionado à água de amassamento, nas proporções indicadas pelo fabricante. Tem a propriedade de incorporar às argamassas misturadas em betoneira minúsculas bolhas de ar, uniformemente distribuídas. Para uma mesma trabalhabilidade permite a redução de até 10% na água de amassamento, melhorando as propriedades da argamassa fresca, tornando-a mais coesiva, elevando a resistência final da mesma.

## 2.2- PROJETOS DE REVESTIMENTO

### 2.2.1- Introdução

No projeto de uma edificação, normalmente muito pouca atenção é dada para certas etapas da construção, como os revestimentos de paredes e pisos e as alvenarias. Poucos profissionais preocupam-se em elaborar projetos detalhados de revestimentos, concentrando suas atenções na estrutura e nas instalações.

Dentre os subsistemas considerados de menor importância no conjunto da obra, encontra-se o revestimento vertical, cuja execução envolve diversos serviços que caracterizam muito bem este conjunto de atividades, que não dispõem de um projeto específico. Pensa-se na sua execução apenas quando se elabora o orçamento da obra, "adotando-se" alguns parâmetros que nem sempre serão os efetivamente reproduzidos durante a construção do edifício. A produção e planejamento de todas as atividades fica a cargo do mestre de obras ou do próprio operário resultando, muitas vezes, em revestimentos de baixo desempenho.

Observa-se que a execução dos revestimentos não se dá baseada num projeto específico. Assim, apenas durante a realização dos serviços é que poderão ser detectados possíveis problemas ou falhas, tais como: irregularidades acentuadas, perda de prumo e de

alinhamento da base, desvios dos elementos estruturais, etc. que implicam, de modo geral, em espessuras de revestimento acima das previamente programadas. Da mesma forma, a falta de um projeto dificulta que as atividades possam ser acompanhadas e verificadas a fim de que se tenha um controle de qualidade de execução, baseado em critérios para aceitação bem definidos.

Com o elevado nível de fragmentação da indústria da construção nos dias de hoje, muitas vezes os projetos são elaborados por empresas diferentes e a execução é realizada por uma terceira empresa. O projeto arquitetônico é normalmente elaborado pela empresa contratada pelo cliente. Em alguns casos, esta mesma empresa subcontrata o projeto estrutural de outra empresa e o projeto de instalações muitas vezes é feito por uma terceira empresa. A falta de comunicação entre os profissionais envolvidos no mesmo projeto, a inexistência de um banco de dados técnicos fundamentados em obras já executadas, que possam auxiliar o desenvolvimento de novos projetos e ainda a dificuldade de troca de informações dentro do setor da construção civil, acaba por gerar problemas na execução ou dentro da vida útil do edifício em questão.

A seqüência lógica de desenvolvimento de um empreendimento requer sempre a elaboração do projeto previamente à sua realização. A experiência tem mostrado que o custo final de uma atividade realizada de modo não planejado tende a ser muito superior ao de uma adequadamente projetada, mesmo incorporando, neste caso, o custo de elaboração do projeto (CONVÊNIO, 1990).

No projeto de revestimento deve constar, pelo menos:

- a) a definição da composição, dosagem e espessura das camadas constituídas por argamassas;
- b) a definição dos componentes cerâmicos, considerando-se suas características principais como padrão de qualidade (classe), dimensões, etc.;
- c) a definição de detalhes construtivos necessários ao bom desempenho do revestimento, a especificação dos locais das juntas de movimentação, quando necessário, pingadeiras, modulação, previsão de cortes, etc.

Estes detalhes são importantes tanto sob o ponto de vista do comportamento final do revestimento (resistência de aderência) como também para elevar a produtividade dos serviços de produção. Com todos os problemas resolvidos a nível de projeto, o desperdício de

materiais pode ser mantido em níveis reduzidos, além dos serviços executados resultarem em maior produtividade e melhor qualidade.

Daí a importância de, ao se elaborar o projeto, reunir do projetista ao consultor de materiais e estes, ao construtor que domine efetivamente as técnicas de execução, a fim de que o projeto seja realizado dentro das condições de exequibilidade e que sejam empregados materiais compatíveis com as condições de uso. Para que o projeto seja corretamente executado, é importante que o seu responsável acompanhe a execução do revestimento, procurando observar as reais condições de produção, a partir das quais pode-se redefinir o projeto, se necessário, e melhorar as soluções em trabalhos futuros.

### **2.2.2- Parâmetros para projeto**

Os principais parâmetros a serem considerados ao se projetar o revestimento são (CONVÊNIO, 1990):

- as características e dimensões das peças cerâmicas;
- a natureza e as características da base e das camadas constituintes;
- as solicitações de obra;
- as solicitações durante a vida útil da edificação e
- a geometria dos painéis a serem revestidos.

A base de um sistema de revestimento pode ser constituída por componentes de alvenaria de diferentes tipos, como os blocos cerâmicos e de concreto, e também por componentes da estrutura do edifício como vigas, pilares, etc. Suas características exercem grande influência no desempenho do revestimento já que cada um destes componentes, quando inseridos na vedação, apresenta um comportamento distinto frente às diversas solicitações.

As características da base que devem ser levadas em consideração quando da elaboração de um projeto de revestimento são:

- a sua resistência, deformabilidade e capacidade de absorver deformações;
- o acabamento e regularidade superficial e
- as condições de nivelamento, prumo e alinhamento.

O projeto de revestimentos, como um todo, deve considerar as características de cada uma das camadas constituintes, isto é, seus materiais, sua espessura, as técnicas mais adequadas para sua produção, etc.

A camada de regularização da base, que é a camada intermediária aplicada sobre a superfície da parede com a finalidade de eliminar irregularidades existentes (NBR 8214/83), deve ser projetada com a espessura mínima necessária para atender às funções do revestimento. Essa espessura será mínima quando os serviços executados, anteriormente à essa atividade (execução das estruturas e elevação das alvenarias), respeitarem os níveis de tolerância para o seu prumo, nivelamento e alinhamento. Caso contrário, uma espessura muito mais elevada será necessária onerando todo o serviço de revestimento, podendo haver casos em que o desempenho fique comprometido. A espessura desta camada deve, de preferência, ser igual ou menor que 15mm (NBR 8214/83).

Além disso, para o projeto, é necessário o conhecimento das reais dimensões do componente e a definição das espessuras das juntas entre os mesmos para que se possa propor a modulação dos painéis de revestimentos. Portanto, o projeto de revestimento tem início com a definição do componente a ser utilizado.

As solicitações de obra e durante a vida útil do revestimento condicionam as características que o revestimento deve apresentar como resistência mecânica, comportamento térmico, resistência aos raios solares e intempéries, etc. Neste caso, cada camada deve dar a sua contribuição para o adequado desempenho do conjunto.

A fim de que o revestimento não venha a se deteriorar precocemente faz-se necessário que as juntas, entre componentes e de movimentação ou construtivas, sejam projetadas de modo a resistirem às solicitações devido à presença de água, variações térmicas, ação de agentes químicos, etc. É importante citar que as juntas não têm a função única da modulação, mas principalmente absorver deformações ocasionadas por calor, frio, umidade ou movimentações de quaisquer natureza na estrutura sobre a qual o revestimento está assentado.

A geometria dos painéis de revestimento interferem no seu desempenho, principalmente pelo seu potencial de deformações. Assim, ao se elaborar o projeto, suas dimensões deverão ser consideradas a fim de que possam ser propostas as juntas de movimentação nos locais mais adequados, evitando-se, desta forma, o surgimento de problemas patológicos decorrentes da ausência das mesmas, ou falha de projeto- espessuras inadequadas. Os locais onde são necessárias juntas de movimentações encontram-se definidos

no item 2.3 deste trabalho e as espessuras mínimas de juntas de assentamento constam na tabela 2.1.

A modulação ou paginação definidas a nível do projeto conduzem à racionalização das atividades de canteiro, evitando-se possíveis erros ou alteração da concepção original, além de diminuir consideravelmente os desperdícios.

## **2.3- PROCESSOS PRODUTIVOS (NORMALIZAÇÃO)**

### **2.3.1- Recebimento de materiais**

As normas técnicas de todos os países do mundo estão agora se unificando e o Brasil participa, com outras nações ocidentais, na elaboração das normas internacionais.

As normas dos países do Mercado Comum Europeu se unificaram em 1985, com a sigla EN (European Norms) e as demais levarão a sigla ISO (International Standards Organization).

Na área dos azulejos já se dispõe de um número considerável de normas brasileiras em vigência, na ordem de 12, mas ainda em número insuficiente.

As normas vigentes fornecem as características técnicas de azulejos.

As características visuais de qualidade e tonalidade para os azulejos encontram-se na NBR 7169, a qual prescreve que os defeitos meramente visuais devem ser avaliados em painel, a uma distância de 1m.

Entre as características dimensionais encontram-se as bitolas ou calibros (faixas de tamanho permitidas), a curvatura e o empenamento, o esquadro e a espessura. Elas podem ser medidas peça por peça com paquímetro e calibre de folgas. As fábricas modernas têm medidores eletrônicos que dimensionam e classificam a cerâmica em alta velocidade.

As normas brasileiras que tratam da variação das dimensões para azulejos são:

- NBR 5644- Azulejo- especificação;
- NBR 6133- Azulejo- determinação das dimensões - método de ensaio e
- NBR 8040- Azulejo- formato e dimensões - padronização.

Estas normas têm como objetivos fixar condições exigíveis para aceitação e/ou recebimento de azulejos (NBR 5644), prescrever o método de determinação das dimensões

dos azulejos lisos ou decorados (NBR 6133) e padronizar formatos e dimensões nominais para azulejos planos (NBR 8040). De maneira específica, fixam para comprimento e largura a tolerância máxima de mais ou menos 0,5% em relação à média da amostra e em termos de espessura a tolerância máxima é de mais ou menos 5,0%.

As diferenças de comprimento entre lados opostos e adjacentes são regidas pelas normas NBR 5644 e NBR 6129, sendo que esta última é denominada de **Azulejo-determinação da diferença de comprimento entre lados opostos e adjacentes- método de ensaio**. Esta norma fixa como máximo tolerável a diferença de 0,5% em relação à média de comprimento, a diferença de comprimento entre lados opostos e adjacentes de azulejos.

Para curvatura de diagonal, além da NBR 5644, tem-se a NBR 6130 (**determinação da curvatura diagonal- método de ensaio**), cujo objetivo é o de prescrever o método de determinação da curvatura côncava ou convexa dos lados e da diagonal de azulejos. Limita para uma curvatura côncava o máximo de 0,5% da média dos lados e para uma curvatura convexa um máximo de 0,6% da média dos lados.

Como empeno máximo, as NBRs 5644 e 9201 (**azulejo- determinação do empeno- método de ensaio**) limitam um valor de mais ou menos 0,5% do comprimento da diagonal como valor máximo aceitável. O método de ensaio para a determinação do empeno na face do azulejo é prescrito pela NBR 9201.

Em termos de absorção de água, as normas NBR 5644 e NBR 6127 limitam em 23% como limite máximo para azulejos. O método de ensaio encontra-se descrito na NBR 6127 (**azulejo- determinação da absorção de água- método de ensaio**).

A normalização determina que os azulejos devem resistir ao ataque químico de acordo com as seguintes normas específicas:

- NBR 5644- Azulejo- especificação;
- NBR 6126- Determinação da estabilidade de cores para azulejos- método de ensaio.  
Estabilidade das cores da superfície vidrada de azulejos.
- NBR 6128- Determinação da resistência ao ataque químico- método de ensaio.

Para tensão de ruptura, os azulejos devem atender a NBR 5644 e a NBR 6132 (**determinação da tensão de ruptura à flexão- método de ensaio**).

Finalmente tem-se a resistência ao gretamento de azulejos, prescrito pela NBR 6131 (determinação da resistência ao gretamento- método de ensaio), apoiada pela NBR 5644.

### 2.3.2- Metodologia de aplicação do azulejo (produção do revestimento vertical)

A NBR 8214 (ABNT, 1983) fixa as condições exigíveis para a execução, fiscalização e recebimento de revestimentos de paredes internas e externas com azulejos, sendo seus principais pontos:

- a cal, ao ser recebida em obra, deve ser imediatamente extinta e a água de amassamento deve ser potável;
- o chapisco a ser aplicado deve ter o traço de 1:3 ou 1:4 (cimento e areia, em volume);
- a camada de regularização deve ser executada com a máxima antecedência possível com vistas a atenuar-se o efeito da retração da argamassa sobre o revestimento. Traço em volume 1:1:6 a 1:2:9 no caso de utilização de cal hidratada e 1:0,5:6 a 1:1,5:9, quando do emprego de pasta de cal extinta em obra (argamassa mista de cimento, cal e areia). Este mesmo traço deve ser usado para argamassa convencional de assentamento. No caso de empregar-se argamassa com traço distinto ao apresentado, recomenda-se que a relação entre o volume de agregado e o volume de cimento não deve ser superior a 9;
- exige-se o uso de taliscas com 1cm de espessura para a obtenção do prumo adequado (figura 2.3);

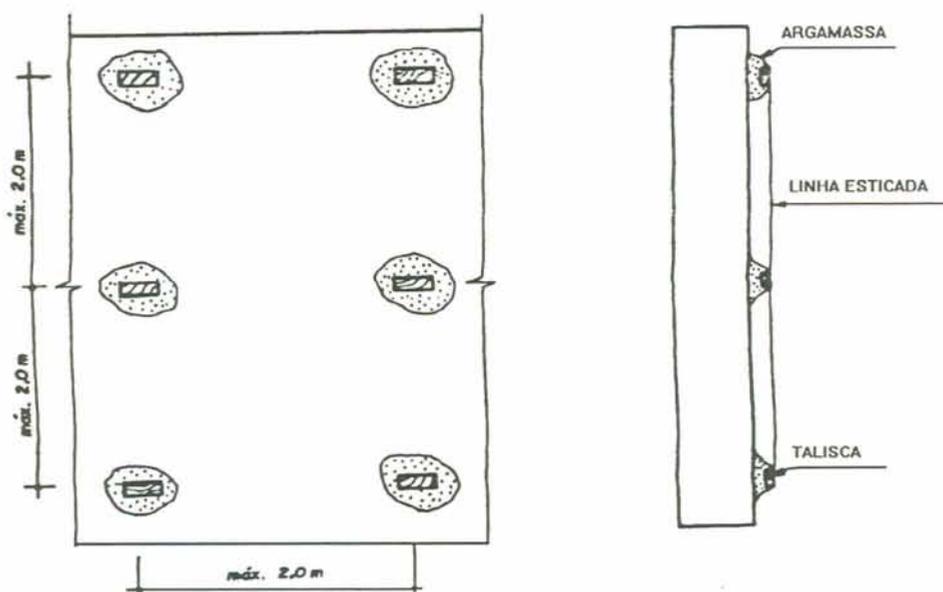


FIGURA 2.3- Colocação de taliscas para execução de camada de regularização.

- a espessura, tanto da camada de regularização como da camada de assentamento, deve ser igual ou menor que 15mm para evitar o aumento das tensões de retração;
- as juntas de movimentação, tanto longitudinais como transversais, devem aprofundar-se até a superfície da parede conforme a figura 2.4, e devem ser preenchidas com material deformável, necessitando ser executadas nos seguintes casos:
  - a) em paredes internas com área igual ou maior que  $32\text{m}^2$ , ou sempre que a extensão do lado for maior que 8m;
  - b) em paredes externas com área igual ou maior que  $24\text{m}^2$ , ou sempre que a extensão do lado for maior que 6m;

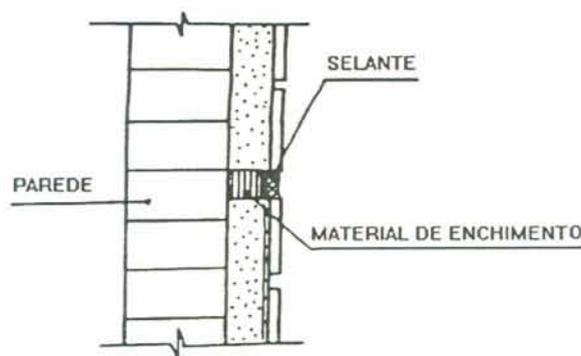


FIGURA 2.4- Detalhe das juntas de movimentação com acabamento de material de enchimento e selantes.

- quanto à planeza, as irregularidades graduais não devem superar 3mm em relação a uma régua com 2m de comprimento, e as irregularidades abruptas não devem superar 1mm em relação a uma régua com 20cm de comprimento.

Em relação à aderência, a NBR 8214 recomenda que ao ser submetido a pequenos impactos com instrumentos rijos não contundentes, o revestimento não deve produzir som cavo. No ensaio de resistência de aderência, após a cura do material por 28 dias, pelo menos 4 valores, em 6 ensaios, devem ser superiores a 0,3MPa (3,0 kgf/cm<sup>2</sup>).

Já como condições específicas a cada processo de assentamento, pode-se considerar que no processo convencional de assentamento com argamassa adesiva, deve-se levar em conta aspectos como (NBR 8214/83):

- tempo de validade da argamassa de 2,5 horas, não especificando o tipo de cimento utilizado para a confecção da argamassa;
- preparação dos azulejos- imersos em água limpa, recipiente não metálico- período de 15 min. a 2 horas- após, escoamento da água em excesso;

- os azulejos devem ser assentados de baixo para cima, uma fiada de cada vez, como mostra a figura 2.5.



FIGURA 2.5- Detalhe da execução dos azulejos.

Para adesivos à base de cimento, as condições específicas são as seguintes (NBR 8214/83):

- os azulejos não precisam ser umedecidos, todavia devem ser mantidos à sombra em local bem ventilado;
- para a preparação da argamassa adesiva à base de cimento a água deve ser adicionada ao produto pré-misturado a seco na proporção indicada pelo fabricante. Deve-se misturar até obter-se uma argamassa com consistência homogênea e deixar em repouso durante aproximadamente 15min,

remisturando-a antes da aplicação. Deve-se empregar a argamassa até 2,5 horas após o seu preparo.

- o assentamento dos azulejos- deve ser executado de baixo para cima, conforme mostra a figura 2.5, com desempenadeira metálica com uma aresta lisa e outra com dentes. A argamassa deve ser estendida com o lado liso da desempenadeira, formando uma camada uniforme de 3 a 4 mm, sobre uma área não superior a 1 m<sup>2</sup>. Em seguida, com o lado denteado, deve-se formar sulcos, que facilitarão o nivelamento e a fixação dos azulejos.

No caso da utilização de produtos isentos de cimento, devem ser seguidas as recomendações do fabricante.

A NBR 8214 (ABNT, 1983), prescreve o seguinte:

- "o rejuntamento deve ser iniciado após 3 dias, pelo menos, do assentamento dos azulejos;
- preparar a pasta composta de cimento branco e alvaiade, na proporção 3:1 em volume, caso o rejuntamento desejado seja na cor branca;
- as juntas de assentamento dos azulejos devem ser umedecidas;
- a pasta deve ser aplicada em excesso com auxílio de um rodo e ou espátula;
- o excedente da pasta deve ser removido com pano úmido, assim que iniciar o endurecimento, a fim de evitar a aderência da pasta à superfície do azulejo".

## 2.4- PATOLOGIAS MAIS COMUNS

As patologias nas edificações são decorrentes de falhas ocorridas durante as fases de concepção, projeto, execução e utilização, e ocorrem também se os materiais escolhidos não tiverem uma qualidade satisfatória para o uso a que forem destinados. Estas falhas causam mudanças na composição ou nas condições dos materiais, tornando-os suscetíveis ao ataque de agentes agressivos. Causam desde pequenas fissuras na estrutura até a completa destruição, provocando também alterações na forma, tamanho, peso, cor e aparência do material.

De uma maneira mais prática, pode-se dizer que a grande maioria das patologias podem ser agrupadas, de acordo com a causa, conforme segue, podendo ocorrer efeitos simultâneos, ou seja, sobreposição dos grupos (PRÖPSTER, 1983):

GRUPO 1 - patologias causadas por umidade (neste grupo estão incluídos os defeitos causados por fungos e outros agentes que têm na água seu principal veículo de subsistência);

GRUPO 2 - patologias causadas por aplicação de cargas não previstas em projeto, levando ao fissuramento do material cerâmico;

GRUPO 3 - patologias causadas por alterações no tamanho dos materiais ou componentes de uma edificação (parte deste grupo pode estar vinculado ao grupo 1).

A seguir são analisadas as patologias mais comuns em revestimentos cerâmicos, como elas ocorrem, porque ocorrem e como podem ser reparadas.

#### **2.4.1- Cerâmicas descoladas**

O principal sintoma do descolamento de uma peça cerâmica é o som produzido por ela quando batida: soa como se fosse oca.

As causas do descolamento podem ser muitas, agindo separadamente ou em conjunto. Deve-se analisar principalmente se o material de fixação da peça (seja adesivo, pastas à base de cimento ou argamassas) descolou ou não junto com ela. Caso ele tenha permanecido aderido à base (parede), ou seja, a cerâmica descolou do material de fixação, podem ter ocorrido os seguintes fenômenos:

##### **2.4.1.1- Retração da base**

Alguns substratos, tais como concreto moldado no local, paredes constituídas por blocos sílico-calcáreos e blocos de concreto, estão sujeitos à retração. Quando isto ocorre numa parede com revestimento cerâmico, as peças são forçadas para fora devido a um esforço de compressão exercido sobre elas, uma vez que estas não acompanham o movimento de retração ocorrido na parede. A maior movimentação, ou seja, a maior parcela da retração ocorre nos primeiros meses de vida da parede ou laje. Este problema é muito comum, pois são inúmeras as obras executadas com atraso de cronograma levando assim a uma pressa também no assentamento da cerâmica, que geralmente é feito quando o substrato ainda não tem condições de recebê-lo (por exemplo, concreto não completamente curado).

#### 2.4.1.2- Expansão das peças cerâmicas

Um esforço adicional de compressão das cerâmicas pode ser ocasionado pela expansão que elas sofrem devido à absorção de umidade. Uma peça cerâmica recém saída do forno possui baixa umidade e, assim que é posta em contato com o meio ambiente, passa a absorvê-la gradualmente, sofrendo expansão. A absorção de umidade é mais rápida nos primeiros dias após a fabricação, mas pode continuar a uma taxa reduzida por muitos anos, sendo maior nos dois primeiros anos de vida da peça (SANTOS, 1968). Entretanto, cerâmicas altamente vítreas, de baixa porosidade, apresentam expansão insignificante. A umidade, ou água, pode ser proveniente do ar, de operações de limpeza ou de defeitos de execução nos substratos, permitindo assim a sua passagem até atingir a peça cerâmica.

Se as peças cerâmicas são assentadas muito novas, elas tendem a sofrer maior expansão, sendo submetidas a um grande esforço de compressão podendo, conseqüentemente, descolar do material de fixação. As cerâmicas descolam provocando um ruído muito forte (semelhante ao estampido de um tiro), tanto em grandes áreas- arqueamento no piso- como em 2 ou 3 fiadas- em forma de "barracas", sendo que o material de fixação permanece aderido à base (característica básica deste tipo de defeito). Se a sua recolocação for tentada, notar-se-á que é impossível encaixá-las novamente no seu local de origem, pois elas sofreram um aumento de volume. Geralmente o problema ocorre durante o primeiro ano de vida do revestimento. Cabe salientar, entretanto, que devido à expansão gradativa sofrida pelas peças cerâmicas quando absorvem umidade, este tipo de defeito pode ocorrer até muitos anos após o revestimento.

O mecanismo de expansão não é completamente conhecido, mas ele provavelmente envolve adsorção física de vapor de água e hidratação química (denotando o caráter irreversível da expansão) (BRE, 1977).

Após longos períodos de serviço satisfatório, a expansão lenta é a mais provável causa de defeitos em revestimentos cerâmicos.

#### 2.4.1.3- Uso indevido do adesivo

A escolha do adesivo deve atender tanto às exigências da cerâmica quanto do meio onde o revestimento é aplicado. Por exemplo, um adesivo incapaz de resistir à umidade não pode ser utilizado em revestimentos externos, nem em locais sujeitos a umidades muito altas, tais como cozinhas industriais e quartos de banho. O uso de um adesivo incompatível com o substrato ou com a cerâmica também deve ser evitado. Além disso, pode ocorrer a aplicação incorreta do adesivo ou a preparação inadequada do substrato, causando assim danos ao revestimento.

#### 2.4.1.4- Problemas originados no assentamento

Uma causa comum de descolamentos com origem na execução é a pequena área da peça cerâmica em contato com o material de fixação. Muitos pedreiros colocam apenas uma quantidade de argamassa na parte central da face de assentamento da cerâmica (tardoz), sendo que os cantos não chegam a ter contato com este material, afetando sensivelmente a aderência (FERREIRA & SILVA, 1991). A figura 2.6 mostra exemplos de tardoz dos azulejos comumente usados no Brasil.

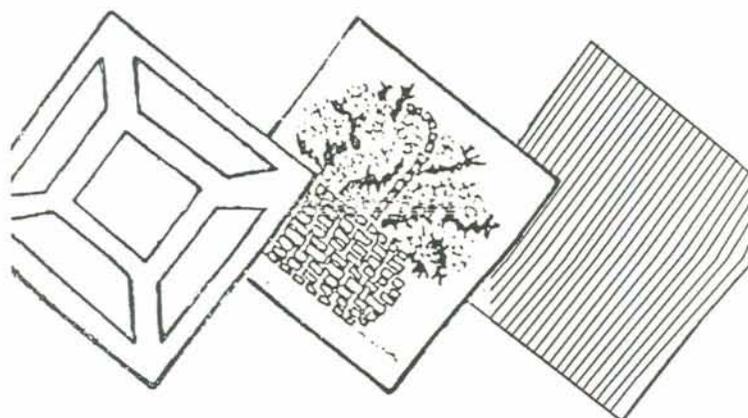


FIGURA 2.6- Exemplos de tardoz dos azulejos (CONVÊNIO, 198\_).

Outra causa bastante comum é a execução de juntas de tamanho inadequado entre as cerâmicas (menores que 1mm (BRE, 1977)), as quais não são suficientes para absorver as pequenas movimentações de dilatação e contração das peças (ver tabela 2.1- "Juntas de assentamento mínimas").

#### 2.4.1.5- Movimentações térmicas

As cerâmicas, como os outros materiais, sofrem contração e dilatação conforme as mudanças de temperatura. Sua capacidade de contração é menor que a do substrato ou base (um reboco, contrapiso ou concreto). Os materiais cerâmicos têm um coeficiente de dilatação muito menor que as misturas de cimento, estas variando de dimensões perante uma troca de temperatura muito antes das cerâmicas. Este problema torna-se sério em regiões que sofrem quedas bruscas de temperatura, como é o caso do Rio Grande do Sul, podendo ocorrer até mesmo quando se assenta um revestimento sobre uma base de concreto antigo, já curado onde não existe problema quanto à retração por secagem.

Neste tipo de patologia serão feitas algumas referências aos pisos cerâmicos uma vez que estes também sofrem problemas consideráveis de descolamento.

O concreto contrai 2 a 3 vezes mais que a cerâmica (BRE, 1977), e isto torna-se um grande problema quando se tem um longo período frio. Temperaturas muito baixas podem produzir tensões suficientes para causar o levantamento do revestimento. O mesmo pode ocorrer em revestimentos que tenham apresentado bom desempenho durante muitos anos. As movimentações térmicas são significativas em pisos ou paredes de áreas muito grandes, de forma muito alongada ou de cor escura. Durante o aquecimento (dilatação)- ver figura 2.7- as peças são submetidas à tração devido à vinculação com a base. Durante o resfriamento (contração) as peças são submetidas à compressão: se a resistência à tração da peça é ultrapassada, formam-se fissuras regularmente espaçadas. Em se tratando de revestimentos externos, estes movimentos de dilatação e contração podem provocar também pequenas fissuras no material que preenche as juntas entre as peças, possibilitando então a entrada e o armazenamento da água da chuva na argamassa de assentamento não impermeabilizada.

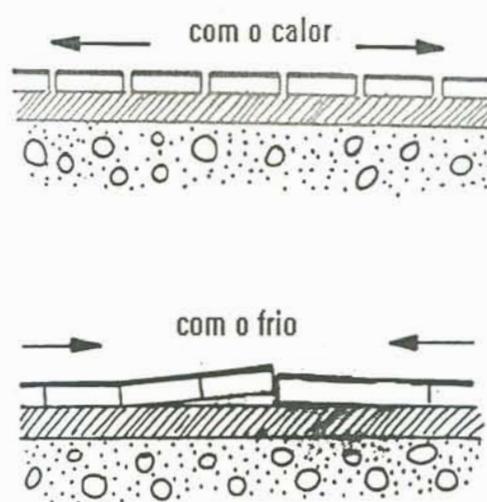


FIGURA 2.7- Movimentações térmicas (VERÇOZA, 1991).

A água armazenada transforma-se em vapor quando a cerâmica sofre um aquecimento, exercendo pressão sobre o revestimento, no sentido de expulsá-lo (figura 2.8). Caso não sejam executadas juntas de movimentação adequadas, o revestimento pode vir a descolar em trocas muito acentuadas de temperatura.

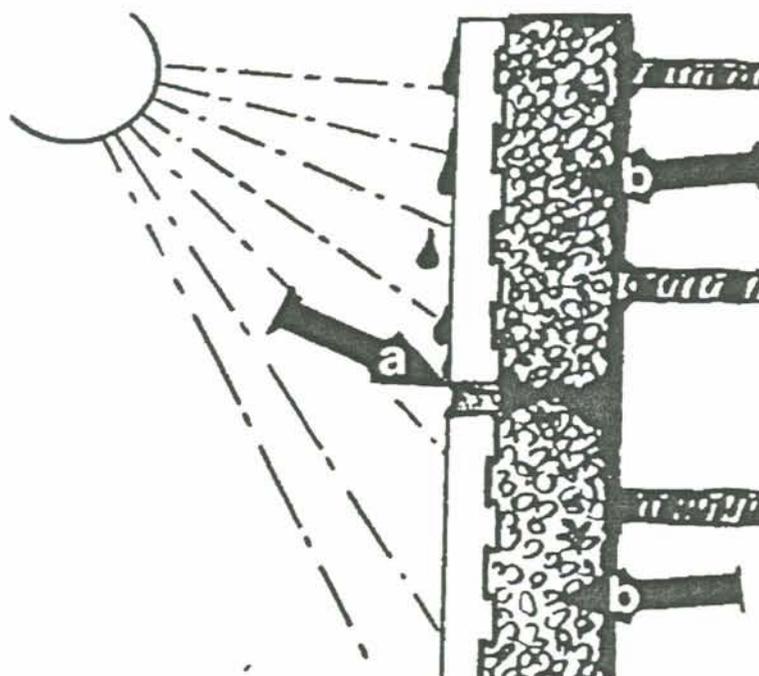


FIGURA 2.8- Corte esquemático de uma parede revestida com peças cerâmicas cujo rejuntamento foi fissurado por movimentações térmicas; (a) representa a entrada de água pelas fissuras e (b) representa a pressão de vapor de água sobre o revestimento (PRÖPSTER, 1980).

Um grande número de patologias é evitado neste tipo de revestimento quando se prevê a execução de **juntas de dilatação** regularmente espaçadas. Os problemas devidos à expansão das peças cerâmicas e às movimentações térmicas podem ser minimizados desta forma. Uma peça cerâmica sofre movimentações térmicas e de expansão pela absorção de umidade. As juntas entre elas podem absorver razoáveis movimentos, mas quando há trocas bruscas de temperatura ou movimentos de expansão irreversíveis, torna-se imprescindível o uso de juntas de dilatação. Estas devem ser executadas com juntas de espessura de aproximadamente 6mm (ADDLESON, 1982) e devem alcançar a base na qual o revestimento está sendo aplicado, atuando também no sentido de evitar problemas causados pela retração por secagem de uma base muito nova, como, por exemplo, um concreto não completamente curado. Na figura 2.9 podem ser observadas as maneiras correta e incorreta de executá-la.

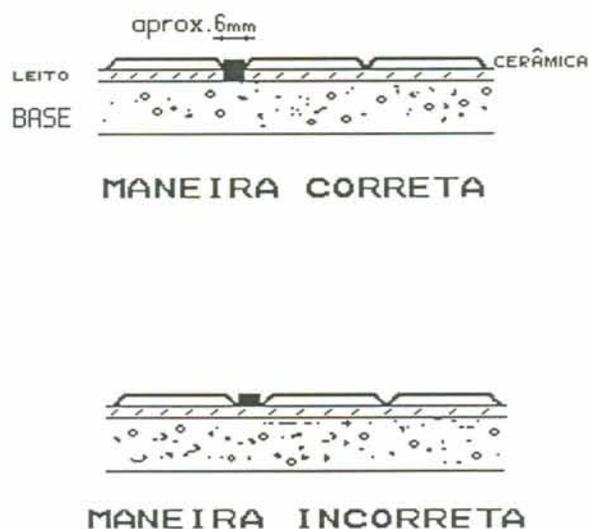


FIGURA 2.9- Junta de dilatação (FERREIRA & SILVA, 1991).

A junta de dilatação deve ser preenchida com materiais elásticos para suportarem as movimentações do revestimento. Esses materiais são chamados de **selantes** e são facilmente encontrados no mercado. Deve-se ter cuidado na sua escolha, pois alguns perdem a elasticidade e tornam-se quebradiços quando expostos a condições externas.

Quando se trata de revestimento cerâmico em pisos, as juntas devem ser executadas ao longo do perímetro do revestimento, ao redor de pilares, de bases de máquinas, etc. Na união com paredes, pode ser executada entre o revestimento e o rodapé, ou escondida sob o rodapé, conforme indica a figura 2.10. Se a área de piso for grande, juntas adicionais de expansão devem ser colocadas a intervalos de 3 ou 4 metros nos dois sentidos (RIPPER, 1986).

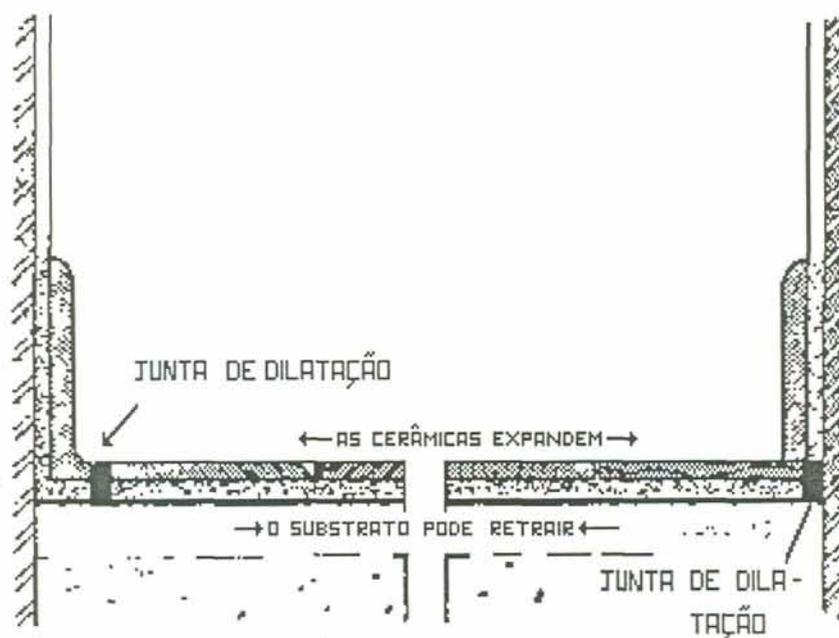


FIGURA 2.10- Junta de dilatação na união com paredes (BRE, 1977).

Quando se trata de revestimento cerâmico em paredes, devem ser executadas juntas a cada troca de pavimento na horizontal, e a cada 3 metros na vertical.

Juntas de assentamento entre as cerâmicas de 1 a 4mm, dependendo das dimensões das peças que se está utilizando- por exemplo, azulejos 15 x 15cm requerem juntas de assentamento mínimas de 1,5mm para paredes internas e de 3mm para externas- trazem um bom desempenho ao revestimento, sempre aliadas à correta utilização de juntas de dilatação (ver tabela 2.1- "Juntas de assentamento mínimas").

#### 2.4.2- Patologias oriundas do processo de fabricação do material de revestimento cerâmico

##### 2.4.2.1- Desprendimentos pontuais na superfície da cerâmica

Os desprendimentos pontuais na superfície da cerâmica formam pequenas crateras com diâmetros que variam entre 1 e 10mm e profundidade não superior a 3mm (PRÖPSTER, 1983), sendo que no fundo pode ser encontrado um pó branco. Isto se deve ao fato de que,

durante o cozimento, a areia calcárea que forma a cerâmica perde cerca de 44% do anidrido carbônico. Quando posto em contato com o meio, o hidróxido de cálcio reage com o gás carbônico ( $\text{CO}_2$ ) em presença de umidade transformando-se em óxido de cálcio, cujo volume é muito maior, provocando os desprendimentos. O pó branco no fundo da cratera é justamente este último composto. A umidade penetra na cerâmica graças à heterogeneidade do material que, mesmo vitrificada, permite o acesso de vapor de água por difusão através de sua rede capilar. Os desprendimentos ocorrem até que o hidróxido de cálcio tenha reagido, formando óxido de cálcio. Geralmente, isto ocorre nos primeiros dois anos após a colocação do revestimento.

#### 2.4.2.2- Listras em cerâmicas

As listras em cerâmicas também se devem ao processo de fabricação (PRÖPSTER, 1983). Trata-se de uma sinterização diferenciada entre uma região e outra da cerâmica. A faixa escura é a que tem menor cozimento, sendo bastante mais absorvente.

#### 2.4.2.3- Bolhas nas cerâmicas

As bolhas nas cerâmicas são formadas devido a presença de vazios saturados no interior do material, cuja umidade transforma-se em vapor de água durante o cozimento (PRÖPSTER, 1983). O corte de uma peça com este tipo de defeito pode ser visualizado na figura 2.11.

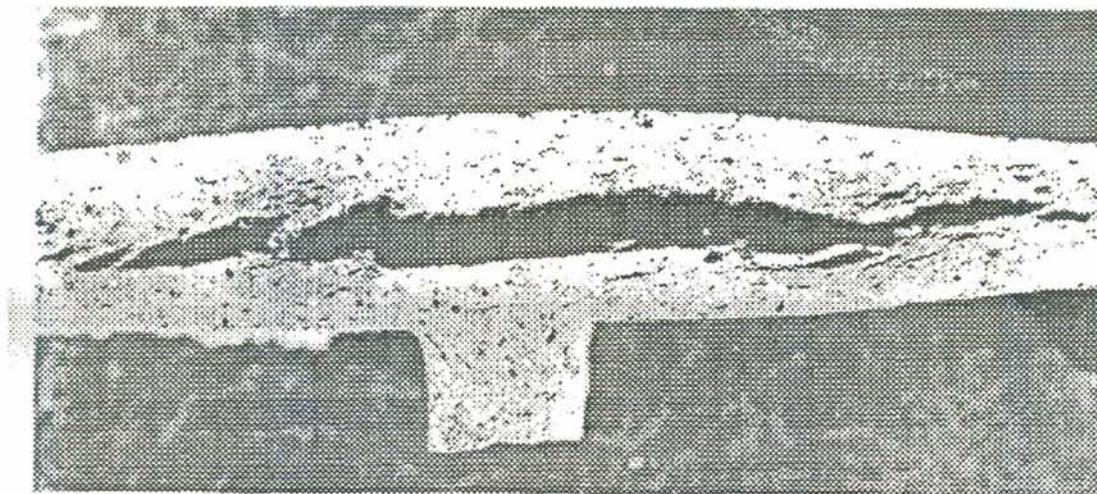


FIGURA 2.11- Corte de uma placa cerâmica com um grande vazio no seu interior produzido pela pressão de vapor de água durante o cozimento (PRÖPSTER, 1980).

### 2.4.3- Outras patologias em revestimentos cerâmicos

Além do descolamento de peças cerâmicas, existem outras falhas que são comumente observadas, como a gretagem e a eflorescência. Elas podem ser provenientes tanto do assentamento quanto da presença de umidade ou agentes agressivos no meio onde o revestimento foi aplicado. A seguir são expostas as mais comuns:

#### 2.4.3.1- Gretagem de azulejos

O termo "gretagem" refere-se a fissuras, como fio de cabelo, sobre a superfície esmaltada. Essas fissuras são geralmente de forma circular, espiral ou como uma teia de aranha, como mostra a figura 2.12.

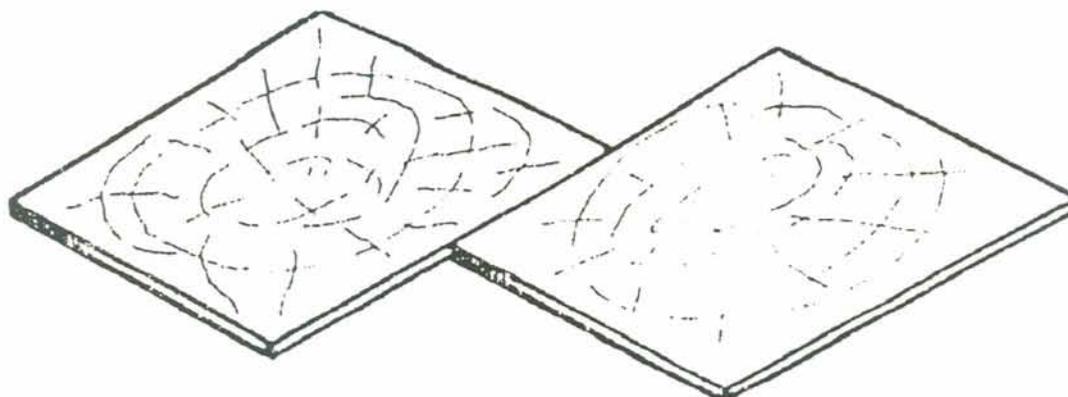


FIGURA 2.12- Gretagem de azulejos (CONVÊNIO, 198\_).

A tendência à gretagem é medida em laboratório, de acordo com a NBR 6131/85, submetendo a peça cerâmica a uma pressão de vapor de 7 atm por uma hora. Este teste acelerado reproduz a expansão por umidade que a peça sofrerá ao longo dos anos, depois de assentada.

Os azulejos são peças cerâmicas esmaltadas e de espessuras reduzidas. Muitas vezes são assentados com argamassa mista de cimento, cal e areia. A quantidade de cimento adicionada à mistura deve ser pequena. No caso de se empregar um teor de cimento muito elevado, a argamassa de assentamento resultará acentuadamente rígida, com pouca capacidade de deformação. Uma argamassa forte, com alto teor de aglomerante (cimento e/ou cal), apesar de apresentar maior resistência, pode apresentar fissuras em virtude da maior retração do aglomerante. Uma argamassa fraca, além de diminuir o custo, reduz a tendência de fissuras e apresenta uma melhor adesividade, uma vez que a contração da argamassa durante a secagem é menor e assim diminui a tendência de deslocamento do azulejo (MACHADO & FERREIRA, 1983). A retração da argamassa forte provocará nos azulejos um abaulamento, ou seja, suas faces de assentamento serão solicitadas à compressão, e as faces esmaltadas à tração. Em função da intensidade destas solicitações, as faces tracionadas poderão apresentar pequenas gretas, conforme ilustrado na figura 2.13.

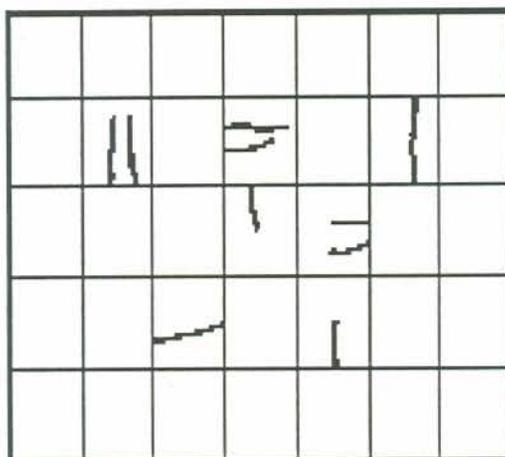


FIGURA 2.13- Gretagem de azulejos, provocada pela retração da argamassa de assentamento (THOMAZ, 1988).

Este gretamento ou fissuração do vidrado no azulejo é devido ao chamado "efeito beliscão" (pinching effect) da argamassa de assentamento contendo cimento Portland, sendo peculiar no caso de azulejos de massa porosa. Como já foi dito, esta é uma das principais causas do gretamento de azulejos após assentados. Considere-se o caso de um azulejo de massa porosa de dimensões usuais no qual seja colocada argamassa na superfície de assentamento (tardoz). No momento em que o cimento houver endurecido, a argamassa estará aderente à massa porosa do azulejo. Se o sistema argamassa-azulejo permanecer em atmosfera seca, a contração de pega do cimento irá gradualmente causar uma contração da superfície não vidrada ou porosa do azulejo, provocando uma flexão, de modo a tornar convexa a superfície vidrada, portanto, a face vidrada estará em tração e a face de assentamento em compressão.

A tração no vidrado provoca o gretamento do mesmo. O grau de arqueamento do azulejo depende de fatores como o módulo de elasticidade da massa e do vidrado, espessura da massa e do vidrado, contração e espessura da camada de argamassa de assentamento e o tipo de base (tijolo), cimento, sobre a qual o azulejo está assentado.

A contração de pega de uma argamassa de cimento Portland e areia é maior nas primeiras semanas de aplicação, mas continua a ocorrer mais lentamente durante aproximadamente dois anos, de modo que a tração do vidrado deixa totalmente de existir dentro desse intervalo de tempo (SANTOS, 1968). Em uma atmosfera com umidade normal, a

massa do azulejo estará expandindo ou dilatando pela absorção de umidade, tendendo a neutralizar a convexidade causada pelo cimento. Contudo, o efeito na tensão do vidrado é o mesmo, isto é, aumenta a tendência ao gretamento. Assim tem-se um efeito combinado e aditivo para aumentar o gretamento do azulejo assentado com argamassa de cimento Portland e areia.

#### 2.4.3.2- Eflorescência

A eflorescência caracteriza-se por um depósito de sal branco, pulverulento, muito solúvel em água, que aparece nas peças cerâmicas e no rejuntamento. Em geral este tipo de defeito afeta somente a aparência. Ocorre devido à presença de sais solúveis em água, que são trazidos à superfície por percolação, através da porosidade das cerâmicas e do rejuntamento. Estes sais podem ser provenientes de tijolos e materiais cerâmicos, do cimento, da reação tijolo/cimento, do solo, dos agentes poluentes do ar, da água de amassamento e de agregados. A eflorescência resulta da combinação de três fatores igualmente importantes (UEMOTO, 1988a): a existência de sais solúveis nos materiais e componentes (quanto maior o seu teor, maior a tendência ao fenômeno); a presença de água, para dissolver os sais e carregá-los para a superfície; e a existência de pressão hidrostática ou condições de evaporação, para mover a solução salina até a superfície. Estas três condições devem existir simultaneamente e, se uma delas for eliminada, não ocorre o fenômeno.

## 2.5- REPARO DOS DANOS EM CERÂMICAS

Caso tenha ocorrido somente o descolamento da cerâmica, e não do material de fixação, indica que o problema está ou na cerâmica ou na aderência entre esta e o material de fixação. Neste caso, o reparo pode, no máximo, incluir este último.

Conforme discutido no item 2.4, as causas de descolamentos dessa natureza de revestimentos cerâmicos são basicamente duas: movimentos diferenciais e problemas no material de fixação.

Quando ocorre o defeito, a maior parte dos movimentos diferenciais já ocorreram. Portanto, se as peças cerâmicas originais puderem ser limpas, podem ser usadas para o

reassentamento. Quando pequenas áreas tiverem sido afetadas, basta reassentá-las, mas quando grandes áreas tiverem descolado, recomenda-se a retirada de todas as cerâmicas e o reassentamento. Os únicos movimentos que podem continuar existindo são aqueles provenientes de trocas de umidade e temperatura do ar que circunda a edificação. Deve-se então procurar usar um adesivo mais flexível, ou mais elástico, para absorver estas possíveis movimentações. Neste ponto existem dois caminhos: ou se reassenta as peças colocando um novo adesivo sobre o adesivo antigo que permaneceu aderido ao substrato ou retira-se todo o adesivo antigo, o que normalmente é um trabalho difícil, demorado e oneroso. Neste caso, deve-se fazer uma análise se vale mais a pena concluir o trabalho (reassentamento) ou empregar outro revestimento. Se o revestimento se localizar em um local muito úmido (como banheiros e cozinhas) ou se for externo (sujeito às intempéries), deve-se procurar usar adesivos que resistam à umidade e às condições externas. As juntas entre as cerâmicas são necessárias, assim como a execução de juntas de movimentação.

Se o material de fixação descolar do substrato junto com a cerâmica, é um indício de que outro tipo de problema aconteceu. Certamente, este problema não está relacionado com a cerâmica, mas sim com o material de fixação e sua aderência ao substrato, talvez uma incompatibilidade entre os dois materiais. A reparação total neste caso é necessária. Recomenda-se a retirada de todas as peças cerâmicas e reassentamento de peças novas com material de fixação compatível com elas, com o substrato, com o meio externo e com a presença de umidade (se for o caso).

Para solucionar o problema dos desprendimentos pontuais na superfície da cerâmica, defeito inerente à fabricação do material cerâmico, o reparo completo não é possível, a não ser que se retire todo o material e se assente novas peças. O mesmo ocorrendo no caso de listras em cerâmicas, onde o reparo total só é obtido através da troca de todas as peças danificadas por peças sãs.

Já para o caso de eflorescência, os reparos podem ser feitos procedendo-se ao que segue (UEMOTO, 1988b):

- eliminação da fonte de umidade, já que esta é responsável pelo transporte dos sais à superfície;
- aguardar a eliminação dos sais pela ação da chuva, em casos de eflorescência de revestimentos externos;
- lavagem com água para acelerar a eliminação dos sais;

- escovamento da superfície por processo mecânico;
- após saturar o revestimento com água, lavar com solução clorídrica a 10% e em seguida com água abundante.

## 2.6- LOCAIS DE MAIOR OCORRÊNCIA DO DESCOLAMENTO

As seguintes observações foram coletadas de forma não sistemática pelo IPT, em locais onde foi observada a ocorrência do fenômeno de desprendimento de ladrilhos de piso cerâmico e de azulejos (SANTOS, 1968):

- o descolamento é mais freqüente em edifícios de concreto armado (apartamentos);
- o descolamento é mais freqüente no primeiro ou segundo ano após o assentamento das cerâmicas;
- o descolamento e a ruptura das cerâmicas de piso é mais freqüente em áreas superiores a 10m<sup>2</sup>;
- o descolamento pode também ser acompanhado por uma ruptura das peças cerâmicas, formando-se rapidamente uma trinca que corta de lado a lado o conjunto, ouvindo-se um estalo (ou série de estalos) da intensidade do estampido de um tiro; após a formação da trinca (ou trincas) as cerâmicas estão descoladas; é o caso mais freqüente após lavagem com soluções quentes em dias frios. Pode ocorrer a projeção dos revestimentos cerâmicos até alguns metros de distância;
- movimentos vibratórios na parede facilitam ou aceleram o aparecimento do fenômeno (efeito "beliscão"): observações não sistemáticas parecem indicar que o desprendimento de azulejos é mais freqüente nos andares mais altos de edifícios de ruas de maior trânsito e também nas paredes mais afetadas pelas vibrações de elevadores. Nesse caso é freqüente que o deslocamento inicie na parede que pertence ao poço do elevador.

Deixaram de ser incluídos nessa exposição defeitos na aplicação dos azulejos tais como a saturação inadequada por água das superfícies porosas dos azulejos e dos tijolos de alvenaria da parede antes da aplicação da argamassa de assentamento e o uso de argamassas

defeituosas, uma vez que são amplamente conhecidos e de domínio público e podem ser facilmente evitados por meio de uma fiscalização eficiente da obra.

A identificação da causa do desprendimento de azulejos em um caso específico é mais fácil do que no caso de cerâmicas de piso: se o descolamento ocorre pouco tempo depois do assentamento e se os azulejos, que não descolaram e os que descolaram, não apresentam o vidrado completamente trincado, a causa do descolamento é o mau assentamento. Se o descolamento ocorre algum tempo depois do assentamento e se os azulejos apresentam o vidrado trincado, as causas do descolamento são o efeito "beliscão", o vidrado dos azulejos e a dilatação higroscópica da massa porosa dos mesmos.

### **3- FUNDAMENTOS SOBRE ADERÊNCIA**

Devido à escassez de bibliografia na área específica de aderência de azulejos à argamassa de assentamento, procurou-se analisar aderência entre outros materiais, tal como a união entre argamassa-tijolo. Onde aplica-se ao caso de união entre argamassa e azulejo é feito um paralelo, uma vez que algumas características básicas do tijolo, como absorção superficial, são comuns também aos azulejos.

Tem-se a aderência como um fenômeno essencialmente mecânico, o qual deriva da conjunção de três propriedades da interface argamassa-material cerâmico, que são a resistência de aderência à tração, resistência de aderência ao cisalhamento e extensão de aderência, não dependendo exclusivamente das argamassas, mas do conjunto azulejo-argamassa-substrato (CARASEK, 1991).

Para avaliar e quantificar a aderência de azulejos a substratos porosos, empregam-se ensaios de tração ou ensaios de cisalhamento. A avaliação desta aderência pode ter diversas finalidades: pesquisas experimentais (para avaliação de desempenho de diferentes argamassas e/ou substratos) e serviços tecnológicos em obra (para controle de qualidade da execução ou para fornecer subsídios a diagnósticos de problemas patológicos).

Alguns conceitos relacionados com aderência devem ser discutidos para que se possa abordar o princípio da teoria de aderência com maior clareza.

#### **3.1- CONCEITOS BÁSICOS**

Neste item, são abordados os conceitos básicos de aderência, que são: adesão ou aderência, coesão, adesivo, área de contato e extensão de aderência.

### 3.1.1- Adesão ou aderência

Adesão ou aderência é um fenômeno resultante de forças atrativas, que mantêm superfícies distintas unidas, seja sólido-sólido ou sólido-líquido (SELMO & LICHTENSTEIN, 1986).

Conforme definição proposta pela ASTM D907-91b (1991), adesão é o estado em que duas superfícies são unidas através de forças interfaciais, que podem consistir de forças de valência ou ações de intertravamento ou mesmo ambas em um único caso.

### 3.1.2- Coesão

Coesão é a união íntima das partes de um todo, ou as forças de atração que mantêm moléculas ou cristais de um material qualquer unidos (GOODWIN & WEST, 1980).

### 3.1.3- Adesivo

A aderência entre superfícies sólidas distintas à temperatura ambiente só é obtida mediante utilização de um adesivo, que é uma substância capaz de manter materiais unidos através de suas respectivas superfícies de junção (SELMO & LICHTENSTEIN, 1986).

Para um adesivo proporcionar aderência entre duas superfícies sólidas ele precisa aderir a ambas as superfícies e "sustentar-se" devido à sua própria coesão.

### 3.1.4- Área de contato

A área de contato efetiva entre dois sólidos é aquela que realmente é contactada pelo tardo (superfície de aderência do azulejo, destinada ao seu assentamento) do azulejo com a argamassa ou desta com a alvenaria. A área de contato real é, na maioria das vezes, uma pequena fração da área de contato aparente, devido à rugosidade macro ou microscópica inerente a qualquer superfície e/ou à existência de contaminação orgânica ou inorgânica.

### 3.1.5- Extensão de aderência

A extensão de aderência corresponde à razão entre a área de contato efetiva e a área total possível de ser unida.

### 3.2- MECANISMO DE ADERÊNCIA

A aderência é um fenômeno predominantemente mecânico, que se processa por ação de encunhamento em uma superfície porosa e irregular de precipitados intra-capilares presentes inicialmente na pasta da argamassa (SABBATINI, 1986).

Quando a argamassa fresca é colocada sobre uma superfície absorvente, parte da água de amassamento (que contém os componentes do aglomerante, dissolvidos ou em estado coloidal) é succionada pela base penetrando pelos poros e canais. No interior destes se produzem fenômenos de precipitação de géis silíceos do cimento ou do hidróxido de cálcio da cal. Esses precipitados formados nos poros (cristais de etringita) exercem, após a cura, uma ação de ancoragem da argamassa à base.

Apesar da aderência ser um processo essencialmente mecânico, há também uma parcela de adesão química, ambos levando em conta a natureza das superfícies e do adesivo utilizado. Por conseguinte, a aderência entre superfícies sólidas ou sólidas e líquidas é função de vários fatores, entre os quais se destacam (SELMO & LICHTENSTEIN, 1986):

- natureza dos materiais, pois dela dependerá a intensidade das forças atrativas;
- área de contato real;
- recuperação das deformações elásticas que surgem nos pontos de contato através da pressão de justaposição. No caso de superfícies sólidas, uma vez que para cessar esta pressão de acoplamento, estas tensões elásticas de recuperação atuam em sentido contrário às forças de adesão;
- atrito, ou seja, o encaixe e a subsequente ancoragem mecânica das saliências de uma superfície sólida nas reentrâncias de outra e vice-versa. Muitas vezes o atrito é a única parcela responsável pela aderência entre sólidos à temperatura ambiente e pode contribuir significativamente para incrementar o fenômeno de aderência entre eles, por favorecer o aumento da área de contato real.

A aderência do azulejo ao substrato é consequência de um conjunto de fatores que compreendem a aderência física, que é influenciada pela tensão superficial e rugosidade do aderente, aderência química, ancoragem mecânica e resistência da interface de aderência que faz parte do sistema. Cada um destes fatores será abordado separadamente.

### 3.2.1- Aderência física

O contato interfacial do adesivo com uma superfície sólida e que permite a atuação das forças atrativas de adesão depende das tensões superficiais do sólido e do adesivo, bem como da rugosidade da superfície.

Para garantir-se o desempenho da aderência de um adesivo deve-se remover todas as camadas soltas da superfície do aderente, bem como impurezas orgânicas ou inorgânicas, que irão reduzir a área real de adesão física.

A limpeza da superfície do aderente é, portanto, imprescindível, mas em função da sua natureza e do tipo de adesivo, poderão ser necessários outros tratamentos como (SELMO & LICHTENSTEIN, 1986) o aumento da rugosidade superficial para melhorar a retenção mecânica do adesivo e a secagem ou umedecimento do aderente.

Os fatores que têm papel fundamental na aderência física são a tensão superficial do sólido e do adesivo e a rugosidade superficial do aderente.

#### 3.2.1.1- Tensão superficial

A tensão superficial corresponde à energia livre por unidade de área superficial (RAABE & PETRUCCI, 1989). Este fenômeno decorre das tensões existentes na superfície dos líquidos e dos sólidos e que são responsáveis pela forma que possuem.

Tomar-se-á como exemplo as moléculas de um material hipotético em diferentes posições, como na figura 3.1 (POLISSENI, 1986). No caso da molécula 1 tem-se atrações iguais em todas as direções e sentidos, resultando em atração nula. No caso da molécula 2, a atração exercida pelo conjunto de moléculas contidas na superfície livre do líquido encontra-se

desequilibrada. As forças superficiais que não estão equilibradas, servem para reforçar as ligações laterais entre as moléculas, dando origem à tensão superficial.

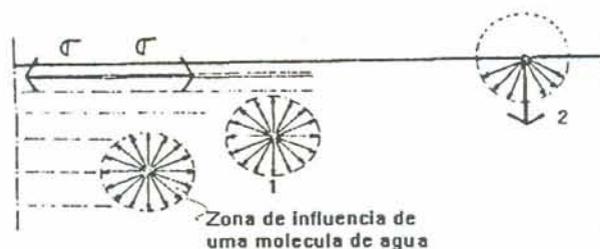


FIGURA 3.1- Tensão superficial (Polisseni, 1986; Selmo & Lichtenstein, 1986; TRANSPORT, 1982).

A partir destas considerações pode-se afirmar que as tensões superficiais atuam sobre uma pequena profundidade, que corresponde à espessura de algumas moléculas em uma zona na qual as forças da superfície não estão equilibradas completamente.

A temperatura também influencia a tensão superficial. Pode-se observar, na figura 3.2, que quando a temperatura aumenta, o valor da tensão superficial diminui.

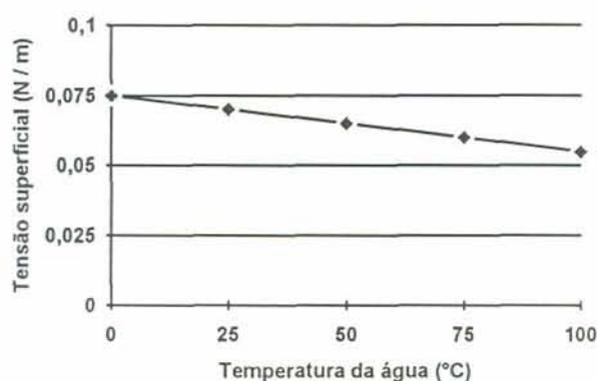


FIGURA 3.2- Variação da tensão superficial da água em função da temperatura (POLISSENI, 1986; TRANSPORT, 1982).

As ligações intermoleculares são menos intensas na maioria dos líquidos, onde há presença de forças tipo pontes de hidrogênio, que são um tipo de ligação intermolecular fraca.

Este tipo de ligação confere menor coesão interna ao material, resultando num afastamento entre as moléculas que se encontram na superfície, decorrente de uma menor tensão superficial que nos sólidos, nos quais as tensões superficiais são mais elevadas, pela proximidade dos átomos e/ou moléculas, frente às suas ligações químicas (iônicas, metálicas, etc.). A figura 3.3 ilustra o fenômeno que ocorre no interior de um líquido.

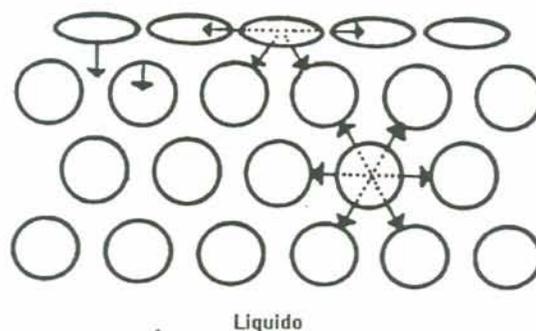


FIGURA 3.3- Representação esquemática da atração entre moléculas no interior e superfície de um líquido (MASUERO, 1993).

Pelo exposto, tem-se que a viscosidade de um líquido relaciona-se com a tensão superficial, ou seja, quanto mais viscoso o material, tanto maior será a sua tensão superficial. A viscosidade é a resistência que todo o fluido real oferece ao movimento relativo de qualquer de suas partes, que pode ser entendido como o atrito interno de um fluido.

Quando um líquido entra em contato com uma superfície plana sólida, as suas moléculas entram em contato com o sólido sob o efeito da atração das moléculas superficiais deste. A figura 3.4 mostra como se dá este contato. O fenômeno que ocorre é chamado de molhamento e é o processo que permite o contato intermolecular (ou interfacial) entre o adesivo e o aderente (SELMO & LICHTENSTEIN, 1986).

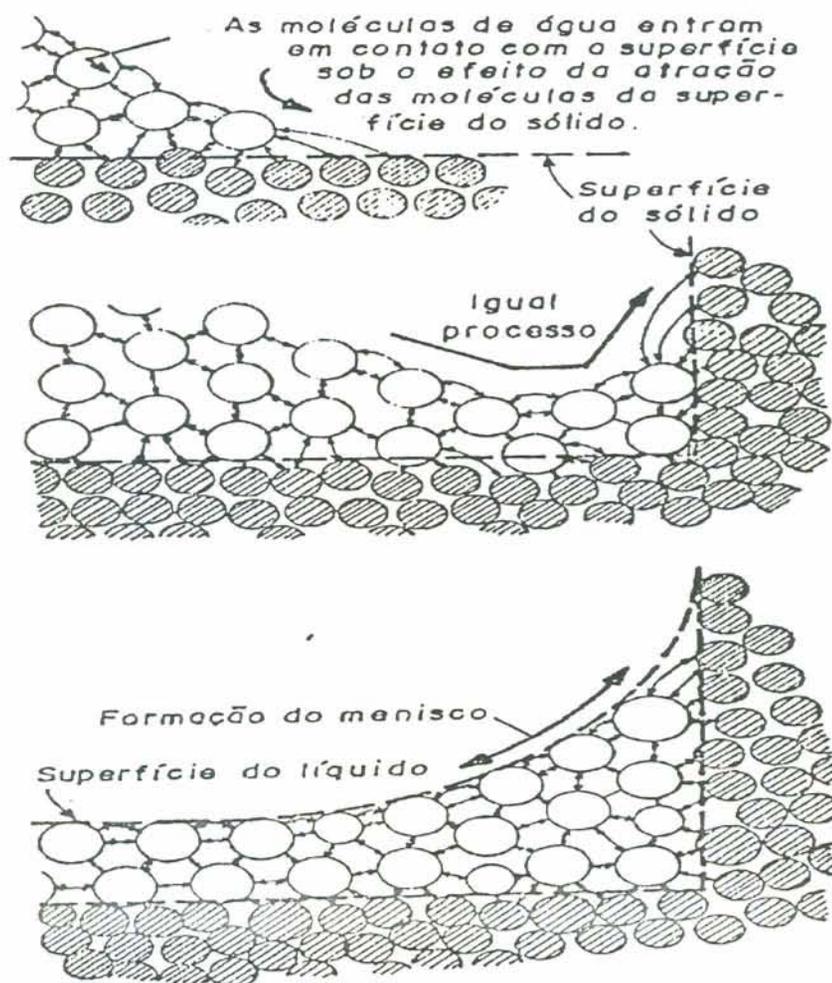


FIGURA 3.4- Aderência física de um líquido sobre um sólido (molhamento) (POLISSENI, 1986; SELMO & LICHTENSTEIN, 1986).

De acordo com fatores como a viscosidade e tensão superficial do adesivo, a atração das moléculas superficiais do sólido será ou não suficiente para resultar num contato intermolecular entre as fases sólida e líquida. Um líquido molha um sólido quando a sua força de adesão é maior que a sua força de coesão, ou energia coesiva, que é, por definição, o dobro de sua tensão superficial. Se a força de coesão do adesivo for maior que a sua força de adesão, o líquido não molhará o sólido (SELMO & LICHTENSTEIN, 1986).

A capacidade que apresenta uma superfície sólida de atrair átomos e moléculas de um líquido depende de sua energia superficial. A energia superficial dos materiais pode ser estimada em função do ângulo de contato entre a superfície do sólido e um líquido. Quando o ângulo de contato aumenta, a energia da superfície diminui, o que implica num enfraquecimento das propriedades adesivas (figura 3.5).

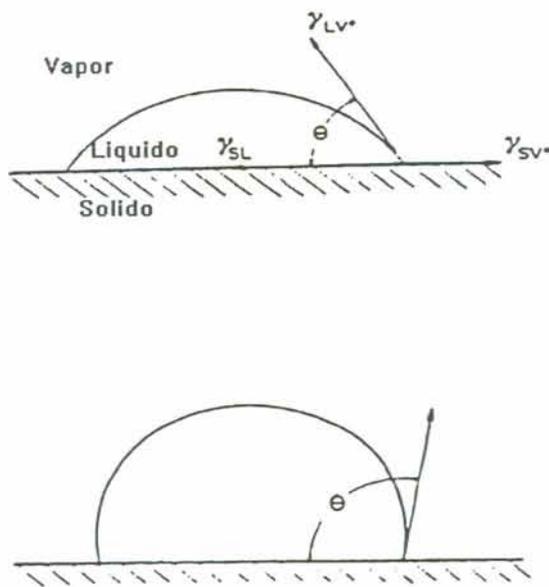


FIGURA 3.5- Molhamento de um sólido por um líquido (RAABE & PETRUCCI, 1989).

Quando do espalhamento do adesivo ( $\theta=0^\circ$ ), se a força de adesão é igual ao dobro da sua tensão superficial, pode-se concluir que a energia de adesão obtida é maior que a força de coesão e dessa forma as superfícies de alta energia apresentam resistências termodinâmicas na interface adesivo/substrato maiores que a resistência à tração e cisalhamento do próprio adesivo. Sendo assim, quando solicitado à tração ou ao cisalhamento, a ruptura dar-se-á, preferencialmente, no interior do adesivo e não na interface adesivo/substrato.

### 3.2.1.2- Rugosidade do aderente

Segundo SELMO & LICHTENSTEIN (1986), a área superficial real é em geral superior a 1,5 vezes a área aparente, devido aos poros e rugosidades que toda superfície real possui. O efeito da rugosidade sobre o desempenho da adesão é afetado:

- pelos raios de curvatura dos poros,
- pela sua profundidade e
- pelo seu formato irregular.

SELMO & LICHTENSTEIN (1986) afirmam também que, em princípio, para capilares menores em quantidades grandes, a quantidade de adesivo que penetra é maior, proporcionando maior área de molhamento. O processo de penetração termina quando não se tem mais líquido disponível ou quando ocorre a diminuição da viscosidade pela solidificação do adesivo (perda de umidade e/ou reação química).

A rugosidade influi de maneira benéfica no fenômeno de aderência porque propicia uma maior adesão física, sendo que esta é máxima quando o adesivo penetra em todos os capilares da superfície atingindo uma posição de equilíbrio.

A adesão física adesivo-aderente é função da natureza e tensão superficial dos materiais, bem como da penetração do adesivo nas rugosidades do aderente.

A velocidade de molhamento depende da espessura da camada do adesivo e da sua viscosidade, assim como da existência de ar aprisionado na interface. A presença de ar aprisionado na interface adesivo-sólido, além de provocar um decréscimo da velocidade, é responsável pelo surgimento de áreas macroscópicas que deixam de ser molhadas (SELMO & LICHTENSTEIN, 1986)

### 3.2.2- Aderência química

A aderência química entre superfícies macroscópicas é influenciada pela natureza química do aderente e do adesivo e ocorre a nível intermolecular ou atômico. É influenciada por forças de natureza muito variada, como as forças de London, de Van der Waals, eletrostáticas, coordenativas e covalentes, fixando-se a partir da adesão física (GALEMBECK, 1985).

Conforme GALEMBECK (1985), a aderência pode se processar a nível de forças atrativas como as de Van der Waals e de London, desde que não hajam tensões diferenciadas significativas na interface de aderência (secagem prematura do adesivo, variações térmicas, etc.) e a distância entre as superfícies seja da ordem de alguns ângstrons. GALEMBECK não estabelece fronteiras entre aderência física e química.

Então, uma vez ocorrida a aderência física, proporcionar-se-á a aderência tanto por ancoragem mecânica quanto por adesão química e a contribuição de cada uma das parcelas será função da natureza do adesivo e do aderente, bem como da rugosidade e absorção da superfície (SELMO & LICHTENSTEIN, 1986).

### 3.2.3- Ancoragem mecânica

Antes de aplicar-se o adesivo, pode-se recorrer a processos de jateamento ou outro método capaz de criar sulcos que prendam o adesivo solidificado, com intuito de dificultar a separação posterior dos materiais. Estes pré-tratamentos mecânicos servem também para remover camadas superficiais pouco coesas que podem provocar falhas na junta adesiva obtida (GALEMBECK, 1985).

O adesivo, ao solidificar-se, propicia a ancoragem mecânica por retenção da massa adesiva em todas as saliências, reentrâncias e poros capilares onde tenha ocorrido a adesão física no estado líquido.

A ancoragem mecânica é influenciada pela natureza e estado de conservação e limpeza do substrato, por características da própria argamassa de assentamento e, também, pelas condições atmosféricas que vigorem durante a aplicação (GALEMBECK, 1985).

CARASEK (1991) afirma que a fim de não prejudicar a aderência pela fuga prematura da água necessária para as reações de hidratação do aglomerante, é necessário que a argamassa possua, enquanto fresca, adequada retenção da água de amassamento, que não seja aplicada em camadas muito finas (espessura ideal na ordem de 1,5cm), que o substrato não seja demasiadamente absorvente e que as condições atmosféricas durante a aplicação (temperatura, umidade relativa, vento, incidência de raios solares) não sejam tais que favoreçam a evaporação demasiadamente rápida dessa água.

### 3.2.4- Resistência da interface de aderência

A resistência da interface de aderência entre azulejo-argamassa adesiva ou desta com o substrato é a capacidade desta interface absorver tensões normais e tangenciais à superfície de contato, frente às condições de serviço, que muitas vezes envolvem solicitações cíclicas.

Dependendo da finalidade da interface e da natureza dos materiais a serem unidos, a resistência à fadiga e a sua capacidade de deformação assumem importância muito mais

significativa que o valor absoluto da resistência ao arrancamento estático, por cisalhamento ou tração.

No capítulo 5 é feita uma avaliação dos experimentos realizados neste trabalho, relativos ao assentamento de azulejos sujeitos a ciclos de choque térmico e posterior arrancamento dos corpos-de-prova à tração. A seguir tem-se algumas considerações sobre os fatores que influenciam a aderência.

### **3.3- FATORES QUE INFLUENCIAM A ADERÊNCIA**

A quantidade de parâmetros que influenciam a aderência revestimento-substrato é bastante significativa propiciando um número grande de combinações.

Os principais fatores que influenciam a aderência são os seguintes:

- o tipo de argamassa (sua trabalhabilidade, retenção de água, consistência inicial, características de pega, teor de ar incorporado, resistência, mudança de volume, elasticidade, etc.);
- o tipo de substrato (sua absorção, permeabilidade, características superficiais, etc.);
- o tipo de azulejo e
- a qualidade da mão-de-obra (preenchimento de juntas, grau de pressão aplicada ao elemento a ser assentado, instrumento de assentamento, etc.).

#### **3.3.1- Características dos componentes**

Aqui são abordadas as características relevantes dos materiais componentes do sistema substrato-argamassa-azulejo no que diz respeito à aderência.

##### **3.3.1.1- Argamassas adesivas**

Para que uma argamassa adesiva seja eficiente, deve possuir inicialmente baixa viscosidade, mas com capacidade de fluir e preencher as juntas de assentamento e laterais e

molhar a superfície da unidade a ser assentada, sem no entanto apresentar escoamento excessivo pelas superfícies livres. Tem-se assim, no estado fresco, as propriedades de retentividade e de trabalhabilidade como as mais importantes.

A retenção de água diminui na seguinte ordem, sendo maior nas argamassas que contém aglomerantes com alto grau de finura (JAWOROSKI, 1990):

- argamassas com aditivos para retenção de água (derivados da celulose);
- argamassas com aditivos incorporadores de ar;
- argamassas de cimento com adições;
- argamassas mistas de cimento, cal e areia; e
- argamassas de cimento e areia.

Se a retentividade é baixa, a água é cedida facilmente, impedindo que a hidratação do cimento seja completa e a argamassa endurecerá antes do desejado, impedindo o correto assentamento das peças cerâmicas.

O desempenho das argamassas adesivas à base de cimento é função (SELMO & LICHTENSTEIN, 1986):

- da capacidade de retenção de água da argamassa;
- da rugosidade e porosidade das superfícies;
- do grau de umedecimento das superfícies (azulejo e substrato) teores excessivos reduzem a sucção da argamassa pelos poros e a falta de umidade pode vir a causar uma sucção excessiva;
- da finura do cimento, já que quanto maior a finura mais água este requer, mas por outro lado, argamassas com grãos mais finos são mais plásticas e formam um reticulado cristalino mais perfeito; e
- da relação água/cimento onde valores altos podem, em princípio, reduzir a tensão superficial das argamassas, mas não são interessantes tanto por enfraquecer a estrutura do gel formado posteriormente, quanto por aumentar a variação volumétrica na secagem.

A propriedade da trabalhabilidade, que pode ser melhorada com o uso da cal ou de aditivos químicos, é essencial para assegurar a extensão de aderência, ou seja, permitir a penetração da argamassa em todos os interstícios dos materiais a serem assentados (azulejos

e substrato). A trabalhabilidade é resultado de várias propriedades como a plasticidade, fluidez e coesão que por sua vez estão relacionadas com as seguintes características: relação água-aglomerante, relação aglomerante-agregado, natureza e qualidade dos aglomerantes, teor e natureza dos aditivos e conteúdo de ar (JAWOROSKI, 1990).

A cal melhora a trabalhabilidade, a plasticidade e a retenção de água. Alguns aditivos também têm estas propriedades. Além disso a cal atua na interface aumentando a extensão de aderência, tornando a microestrutura mais densa e contínua, podendo contribuir para uma boa resistência de aderência, durabilidade e estanqueidade. A capacidade da cal de reter água favorece a gradual e mais efetiva hidratação dos compostos de cimento. Esta característica ainda permite um tempo maior de manuseio mantendo a consistência da argamassa.

BOGGIO & SOLANO (1990) apontam como inconveniente da utilização da cal em teores elevados o fato desta aumentar a demanda de água e a concentração de  $\text{Ca(OH)}_2$  na interface, dando origem à formação de uma base de baixa resistência mecânica na superfície do elemento cerâmico.

A cura da argamassa é também um fator decisivo na qualidade final da aderência, devendo-se assim considerar fatores como temperatura ambiente, umidade relativa do ar, intensidade das correntes de ar e insolação direta, uma vez que a rápida evaporação da umidade, de modo geral, prejudica a aderência.

### 3.3.1.2- Substrato

As características mais importantes do substrato em relação à aderência são a sucção ou taxa inicial de absorção e as condições da superfície.

SABBATINI (1986) afirma que a velocidade de absorção inicial (ou sucção inicial) depende do diâmetro e da distribuição dos poros e das características de absorção dos poros (que interagem com a tensão superficial da pasta na determinação do ângulo de contato entre o menisco e a parede do poro e por consequência determina a pressão capilar).

A aspereza da superfície da alvenaria tem participação na resistência de aderência, sendo menor em superfícies lisas do que em superfícies rugosas ou em tijolos texturados e blocos de concreto.

A existência de partículas soltas pode diminuir a extensão de aderência.

Um estudo importante sobre a relação de aderência com a superfície física de tijolos foi feito por J.C.THORNTON, citado por BOYINTON & GUTSCHICK (1964), no qual o mesmo deu grande importância não somente à aspereza, mas também à ação capilar das unidades. Ele indicou que são importantes a elevada retenção de água e a trabalhabilidade, particularmente com tijolos ásperos, de modo que a argamassa possa fluir imediatamente em todas as depressões para produzir um contato íntimo.

### 3.3.1.3- Azulejos

Fazendo-se um paralelo à capacidade de sucção das unidades de alvenaria, quanto mais poroso for o tardo do azulejo, tanto melhor será a sua aderência à argamassa de assentamento. A NBR 5644 (1986) estabelece que o tardo deve apresentar porosidade regular e asperezas ou relevos destinados a favorecer a aderência (ver figura 2.6).

### 3.3.2- Qualidade da mão-de-obra

A qualidade da mão-de-obra pode ter um efeito considerável na aderência entre revestimento cerâmico e substrato. Preferências e técnicas individuais de assentadores afetam a qualidade final do pano de azulejo assentado.

Há vários aspectos que dependem da mão-de-obra e entre eles estão a trabalhabilidade das argamassas, o tratamento da sucção das unidades de alvenaria, o assentamento das peças cerâmicas (espessura e preenchimento das juntas, pressão de assentamento), o movimento das unidades após assentamento e o ritmo das construções (SABBATINI, 1986).

O limite de tempo no qual os azulejos podem ser movimentados sem destruição da aderência é maior para tijolos com baixa sucção e argamassas com alta retentividade de água.

## **4- ENSAIOS REALIZADOS**

### **4.1- OBJETIVOS**

O objetivo principal dos ensaios realizados foi o de testar a influência do choque térmico na aderência de azulejos ao substrato. Para isto foram realizados ensaios experimentais com dois tipos de azulejos e três tipos de argamassas. Os ensaios realizados foram os de choque térmico e de resistência de aderência à tração. Para cada tipo de combinação argamassa-azulejo foram assentados dois painéis sendo um usado como testemunho e o outro usado como painel que sofreu a ação de intempéries, simuladas através do choque térmico. Finalmente efetuou-se o arrancamento de todos os azulejos assentados sendo possível fazer um estudo comparativo entre os panos de azulejos que sofreram ação dos ciclos de calor e de frio e dos que nada sofreram.

### **4.2- DESCRIÇÃO DOS ENSAIOS**

#### **4.2.1- Materiais empregados**

Para execução dos ensaios foram utilizados dois tipos de azulejos, provenientes de uma mesma indústria, assentados com três tipos diferentes de argamassa. As características dos CP (azulejos) utilizados constam na tabela 4.1.

TABELA 4.1- Características dos azulejos utilizados

	Dimensões de fabricação (mm)	Data do Ensaio	Absorção (NBR 6127)
CP1 biqueima	154,3x154,3x4,2	29/4/93	17%
CP2 monoqueima	201,3x248,3x7,3	29/4/93	14%

A absorção de água dos corpos-de-prova foi determinada com auxílio da NBR 6127 (ABNT, 1984), através da fórmula (1).

$$AA = \frac{Mu - Ms}{Ms} \cdot 100\% \quad (1)$$

Onde:

Ms é a massa seca de cada azulejo ensaiado; e  
Mu a massa úmida.

As argamassas utilizadas foram as seguintes:

- (A1) argamassa adesiva à base de cimento de fabricação nacional, para assentamento de azulejos e cerâmicas, na proporção recomendada pelo fabricante, que é 4 partes de argamassa para uma parte de água, em volume;
- (A2) argamassa convencional com traço 1:0,5:5 (cimento, cal e areia), dosado em volume;
- (A3) argamassa com aditivo incorporador de ar, confeccionada com cimento e areia fina, traço 1:2 (cimento e areia, em volume) e aditivo incorporador de ar na proporção recomendada pelo fabricante, que é de 0,50ml de aditivo para cada litro de areia fina utilizada, em volume.

#### 4.2.2- Metodologia

Para a realização dos ensaios foi necessária a execução prévia de panos de azulejos executados sobre parede de alvenaria de tijolos. Com intuito de evitar a inclusão de mais uma variável não controlável dentro de todo o sistema do ensaio, optou-se pelo uso de paredes já existentes no laboratório de NORIE/UFRGS, uma vez que estas já estavam estabilizadas, pois

foram construídas há mais de quinze anos. A execução dos panos de azulejos seguiu estritamente as recomendações da NBR 8214 (ABNT, 1983) que dita os procedimentos de assentamento de azulejos.

#### **4.2.3- Ensaio realizado com as argamassas**

A título de caracterização das argamassas foram executados ensaios de consistência e de resistência à compressão, de acordo com a NBR 7215 (ABNT, 1991) (MB-1)- Cimento Portland- Determinação da Resistência à Compressão.

##### **4.2.3.1- Determinação do índice de consistência normal**

A moldagem dos corpos-de-prova foi feita imediatamente após a preparação de cada argamassa. A mesa do aparelho de consistência (descrita na NBR 7215/91) foi lubrificada ligeiramente com óleo mineral e em seguida a forma troncocônica foi colocada bem no centro da mesa, sendo mantida nesta posição por um auxiliar, enquanto que o operador procedeu o enchimento da forma, feita em três camadas, sendo que a primeira recebeu 15 golpes com o soquete, a segunda 10 e a terceira camada 5 golpes uniformes e homoganeamente distribuídos. Após alisou-se o topo do molde e retirou-se a forma verticalmente (foto 4.1).

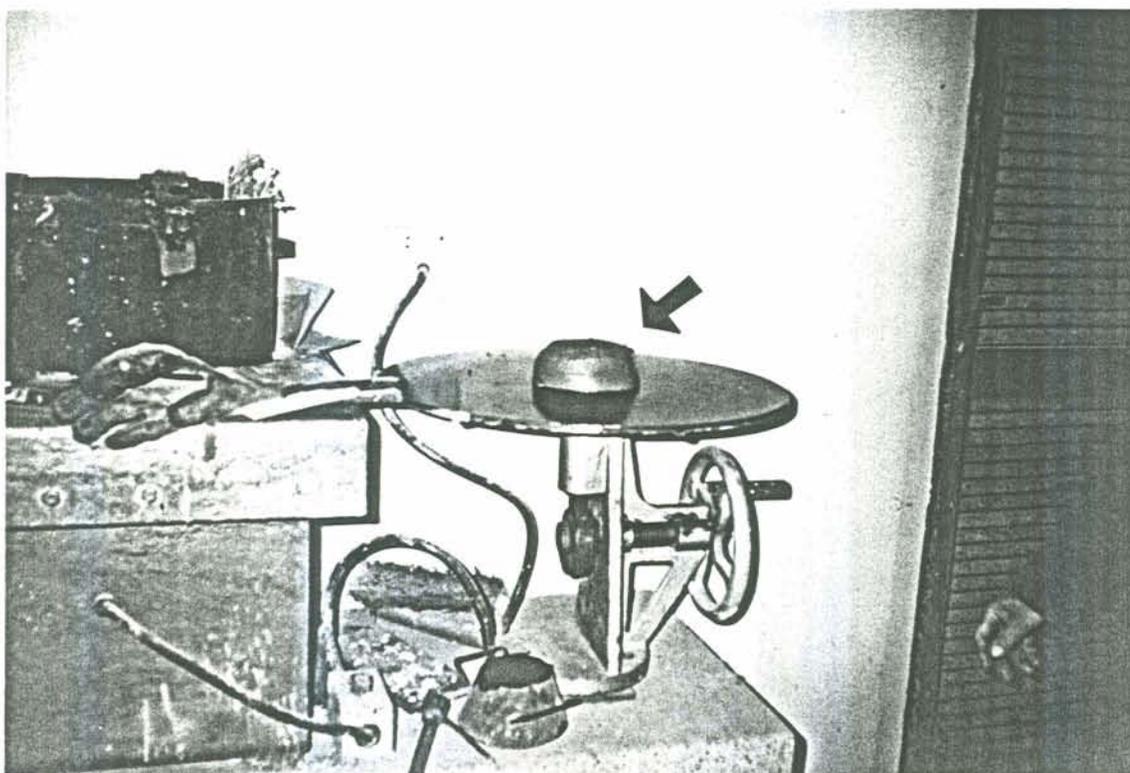


FOTO 4.1- Aspecto da argamassa logo após a retirada da forma troncocônica.

Para o abatimento do tronco de cone da argamassa, moveu-se a manivela do aparelho para medida de consistência, fazendo com que a mesa caísse 30 vezes em aproximadamente 30s. O índice de consistência foi medido com uma régua de precisão (foto 4.2), e é a média aritmética das medidas de dois diâmetros ortogonais. O ensaio foi repetido sempre que houve diferença maior que 5mm entre as duas medidas.



FOTO 4.2- Medição do abatimento da argamassa na mesa do ensaio de consistência.

A tabela 4.2 traz os resultados obtidos neste ensaio.

TABELA 4.2- Resultados obtidos no ensaio do índice de consistência normal (abatimento)

Argamassa	Abatimento (média)- mm
A1	280,0
A2	242,5
A3	280,0

#### 4.2.3.2- Determinação da resistência à compressão

Na mesma oportunidade em que foram realizados os ensaios de consistência das argamassas, foram moldados corpos-de-prova para a posterior determinação da resistência à compressão (NBR 7215/91). O molde utilizado para este ensaio é composto de forma cilíndrica e base com dimensões de  $50 \pm 0,2$ mm de diâmetro interno e  $100 \pm 0,5$ mm de altura.

A argamassa é colocada em quatro camadas de alturas aproximadamente iguais, cada uma recebendo 30 golpes uniformes com o soquete normal (foto 4.3).

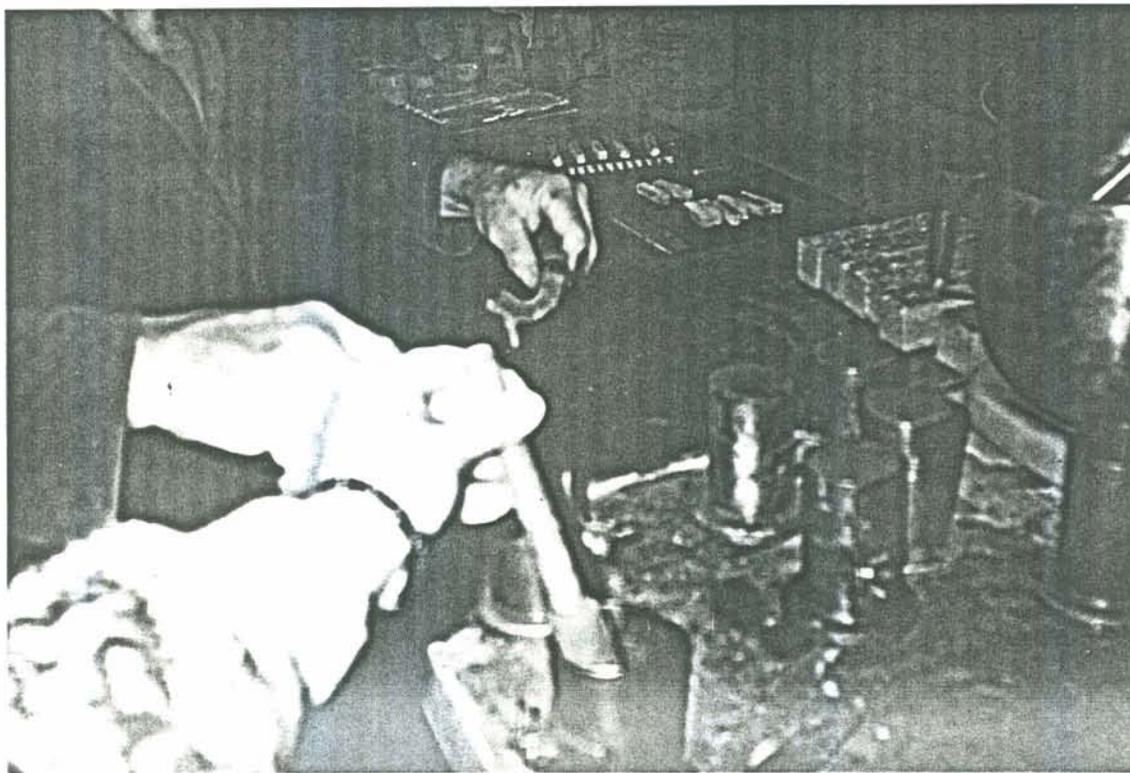


FOTO 4.3- Confeção dos corpos-de-prova de argamassa.

Os corpos-de-prova de argamassa foram submetidos à cura em câmara úmida a uma temperatura constante de  $23^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ . Aproximadamente quatro horas antes de serem submetidos ao ensaio de resistência à compressão os corpos-de-prova, em número de 3 por argamassa, eram retirados da câmara úmida para proceder-se o seu capeamento com enxofre (foto 4.4).

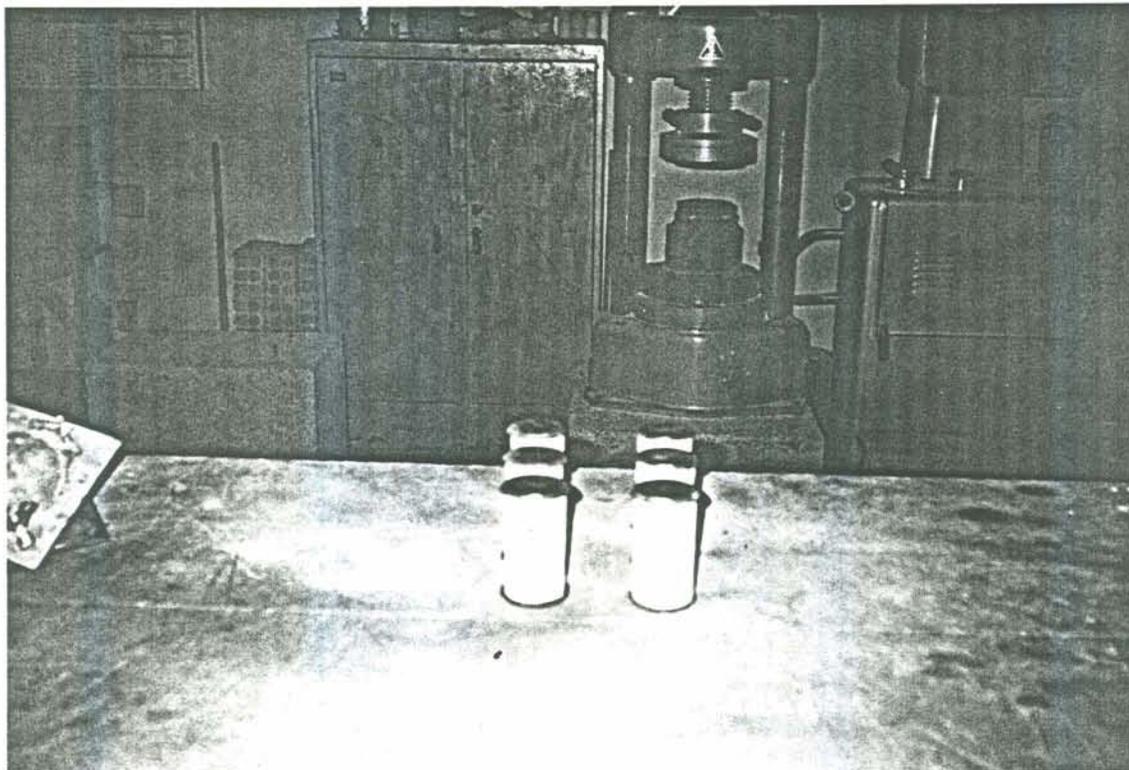


FOTO 4.4-       Corpos-de-prova de argamassa capeados e prontos para serem ensaiados à compressão.

Os corpos-de-prova foram ensaiados aos 28 e aos 91 dias de idade por uma prensa tipo múltipla (pode ensaiar CPs à compressão e/ou à tração) que aplica cargas de maneira contínua sem choques e à velocidade constante (foto 4.5). Esta prensa tem procedência alemã e marca WPM, VEB Thüringer Industrie-werk, Ravenstein. Os resultados obtidos encontram-se na tabela 4.3.

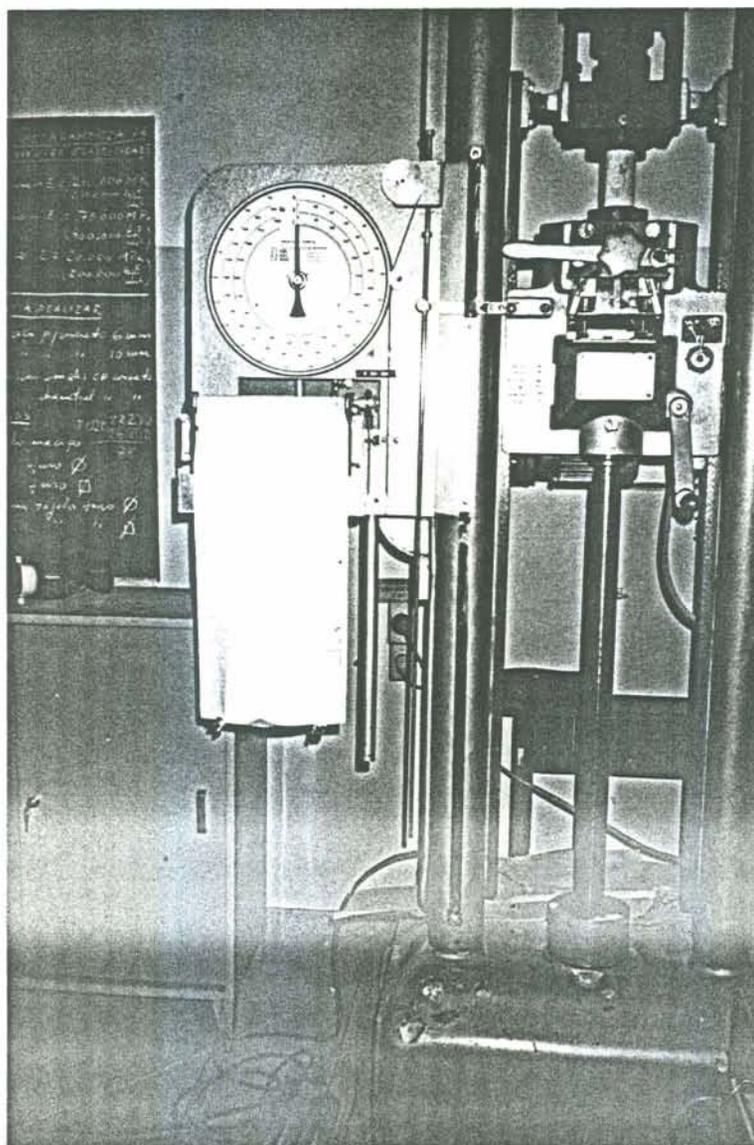


FOTO 4.5- Ensaio de determinação da resistência à compressão das argamassas.

TABELA 4.3- Resultados obtidos no ensaio de determinação da resistência à compressão das argamassas

CP	Traços	Resistência média a compressão (MPa)	
		28 dias	91 dias
A1	4 partes de argamassa para 1 parte de água	21,23	21,81
A2	1:0,5:5	7,83	10,75
A3	1:2 (citar em volume) + aditivo incorporador de ar	21,60	24,39

#### 4.2.4- Ensaio realizados com os azulejos assentados

##### 4.2.4.1- Introdução

Os ensaios realizados com os azulejos assentados foram os de choque térmico e o de arrancamento. Existem vários ensaios normatizados para os azulejos individualmente, como ensaios de absorção de água, de variação das dimensões, resistência ao gretamento e outros (item 2.3). Em contrapartida, existem poucos trabalhos experimentais para os azulejos assentados nos quais seja estudado o comportamento destes materiais mediante as diferentes argamassas usadas e o meio ambiente no qual estão inseridos. Esta carência de ensaios na área foi o que conduziu à opção pela parte experimental deste trabalho.

Para a realização destes ensaios foi necessária a execução prévia de painéis de azulejos assentados com as diferentes argamassas propostas. Estatisticamente chegou-se ao número de seis pares de painéis (NANNI & RIBEIRO, 1987), sendo que cada um deles era composto por um painel submetido ao ensaio de choque térmico e um painel usado como testemunho.

Após os ciclos de choque térmico procedeu-se ao arrancamento de todos os corpos-de-prova testemunho e de 6 corpos-de-prova dos painéis não-testemunho para se verificar a resistência de aderência à tração simples destes elementos com o substrato.

A seguir descreve-se as etapas preparatórias aos ensaios propriamente ditos, que são a limpeza da parede, execução das camadas de chapisco, regularização da alvenaria, assentamento dos panos de azulejos e colagem das pastilhas termofixas para o ensaio de choque térmico.

##### 4.2.4.2- Etapas preparatórias dos ensaios

Inicialmente procedeu-se à limpeza da superfície existente, efetuada por escovamento, com o intuito de se remover o pó e materiais soltos que porventura pudessem estar depositados sobre a parede.

Em toda a extensão da parede utilizada neste ensaio, que é de alvenaria de tijolos maciços já estabilizados, foi executado um chapisco no traço 1:4 (cimento e areia, em volume) com objetivo de melhorar a aderência da argamassa de assentamento e da camada de regularização à alvenaria (foto 4.6).

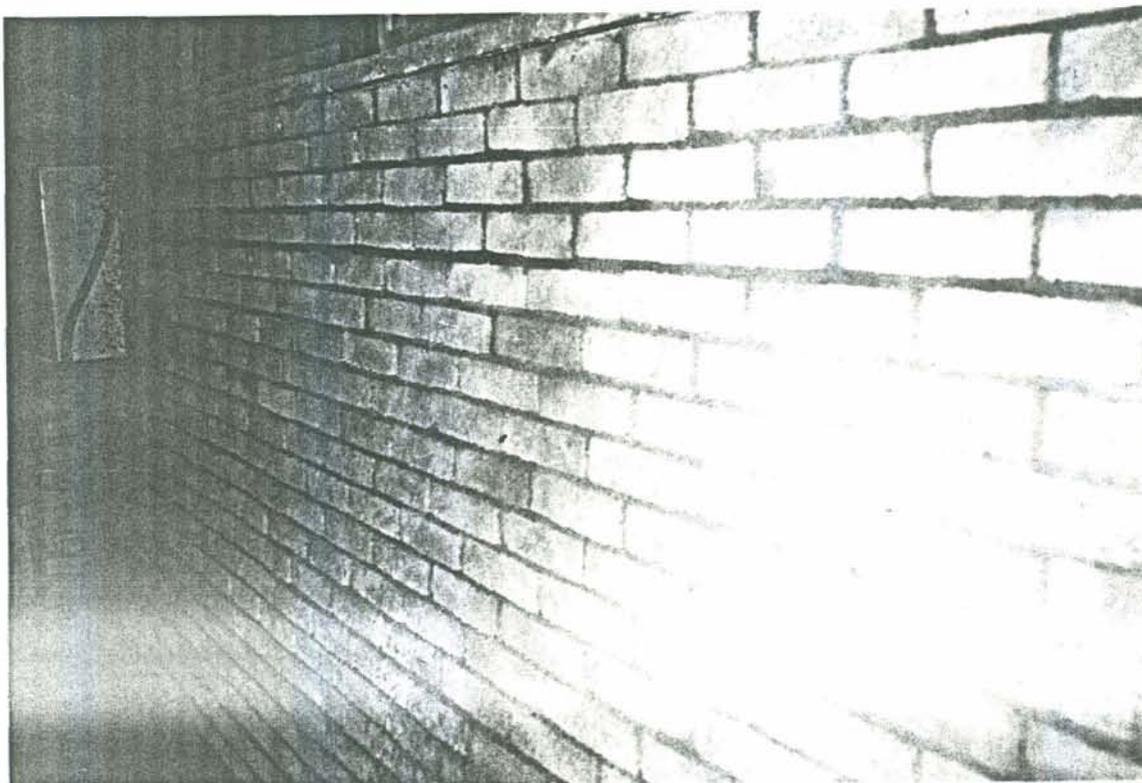


FOTO 4.6- Parede chapiscada para receber assentamento dos azulejos.

Após três dias da execução deste chapisco, no local onde seriam posteriormente assentados os azulejos com argamassa adesiva pronta à base de cimento, foi necessária a execução de uma camada de regularização, a qual foi executada de acordo com a NBR 8214 (ABNT, 1983) e já descrito no capítulo 2, item 2.3, no traço 1:2:9 (cimento, cal e areia, em volume). Esta camada de regularização é necessária, pois a argamassa adesiva deve ter espessuras máxima de 3 a 4mm para que seja economicamente viável. Sendo assim, a superfície de assentamento deve ser a mais regular possível. A execução desta etapa encontra-se ilustrada pelas fotos 4.7 e 4.8.



FOTO 4.7- Execução da camada de regularização.



FOTO 4.8- Execução da camada de regularização- desempenamento.

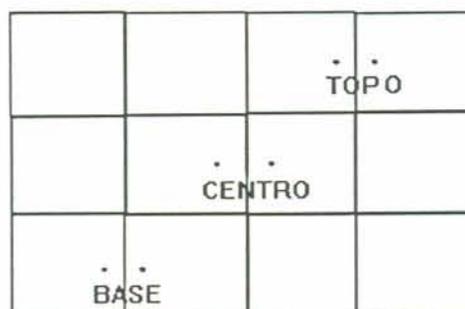
Segundo a NBR 8214/83 esta camada de regularização deve ser executada com a máxima antecedência possível para que atenuem-se o efeito da retração da argamassa sobre o revestimento. Os azulejos foram assentados após 3 meses da execução desta camada.

Para tornar o ensaio o mais confiável possível os painéis de azulejos foram assentados de maneira aleatória<sup>1</sup>. Todos os painéis foram assentados pelo mesmo profissional e seguindo-se estritamente o recomendado pela NBR 8214 (ABNT, 1983) que trata do procedimento do assentamento de azulejos. O processo de assentamento está descrito no item 2.3.

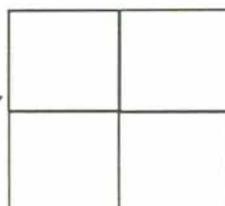
Os azulejos foram assentados com juntas a prumo, com as distâncias entre azulejos nas peças 15x15 e nas peças 20x25 de 1,5mm entre elas, procurando-se verificar a influência destas juntas nos resultados finais dos ensaios. Os painéis que foram submetidos aos ciclos de calor e de frio foram compostos por doze azulejos cada um e os painéis testemunho compostos por quatro azulejos cada (figura 4.1). Na figura 4.1 é também possível verificar a posição onde as pastilhas termofixas foram fixadas nos painéis não testemunho. Cada par de pastilhas foi colado numa distância de aproximadamente 50mm entre si com objetivo de se medir no ensaio de choque térmico, com auxílio de um paquímetro, a variação das juntas de assentamento dos azulejos.

---

<sup>1</sup>Entende-se por assentamento de maneira aleatória que um painel, composto de 12 peças, seja assentado de cada vez, não na ordem de 1 a 6, mas primeiro houve o assentamento do painel n<sup>o</sup> 3, a seguir o n<sup>o</sup> 6, o n<sup>o</sup> 2 e assim por diante. Cada painel foi assentado simultaneamente ao seu painel testemunho, composto por 4 azulejos cada. Esta aleatoriedade evita que o azulejista assente os primeiros painéis com todo o cuidado e os últimos, com o cansaço do dia, sejam assentados com um cuidado menor.



PAINEL QUE SOFREU  
CHOQUE TÉRMICO



PAINEL  
TESTEMUNHO

FIGURA 4.1- Aspecto dos pares de painéis de azulejos.

As combinações utilizadas para confecção dos painéis entre os corpos-de-prova e as argamassas encontram-se no esquema da figura 4.2, onde CP1 é o corpo-de-prova 1 ou azulejo 15x15, CP2 o azulejo 20x25 e A1, A2 e A3 as argamassas empregadas, já definidas em 4.2.1.

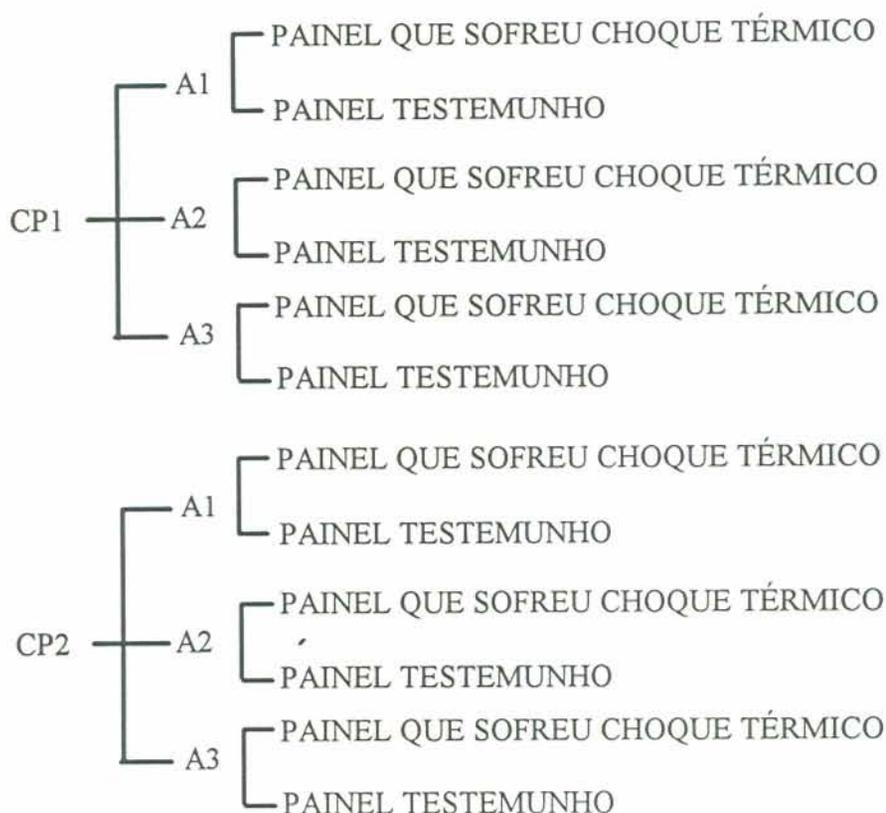


FIGURA 4.2- Combinações utilizadas entre os corpos-de-prova e as argamassas empregadas.

Conforme descrito em 2.3, a execução dos painéis assentados com argamassa adesiva à base de cimento foi feita espalhando-se uma camada fina de argamassa com o lado liso da desempenadeira metálica (foto 4.9) e depois, com o lado denteado, foram feitos sulcos (foto 4.10) que facilitam o nivelamento e a fixação dos azulejos, assentados de baixo para cima em uma fiada de cada vez.



FOTO 4.9- Azulejista estendendo a argamassa adesiva à base de cimento.

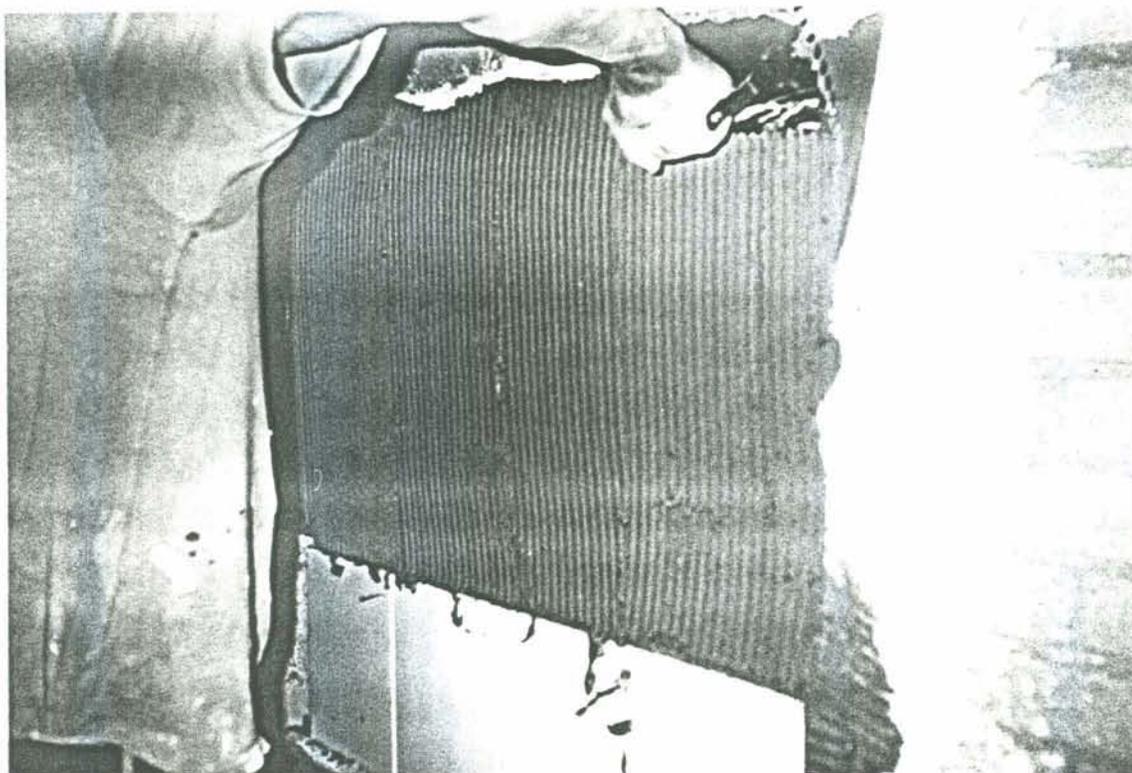


FOTO 4.10- Sulcos na argamassa adesiva à base de cimento.

Nas fotos 4.11 e 4.12 tem-se a seqüência de execução dos painéis assentados com argamassa adesiva convencional, que é o mesmo procedimento usado para argamassa adesiva com aditivo incorporador de ar.

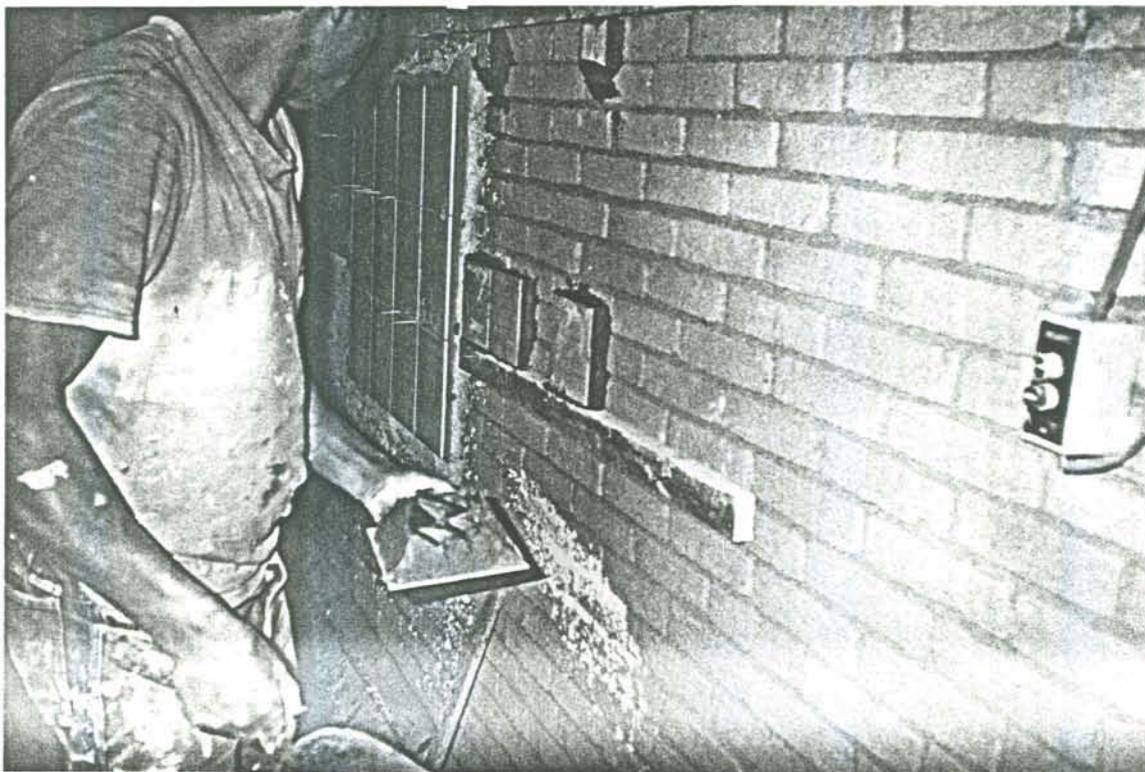


FOTO 4.11- Colocação da porção de argamassa de assentamento sobre a face não vidrada do azulejo (tardoz).

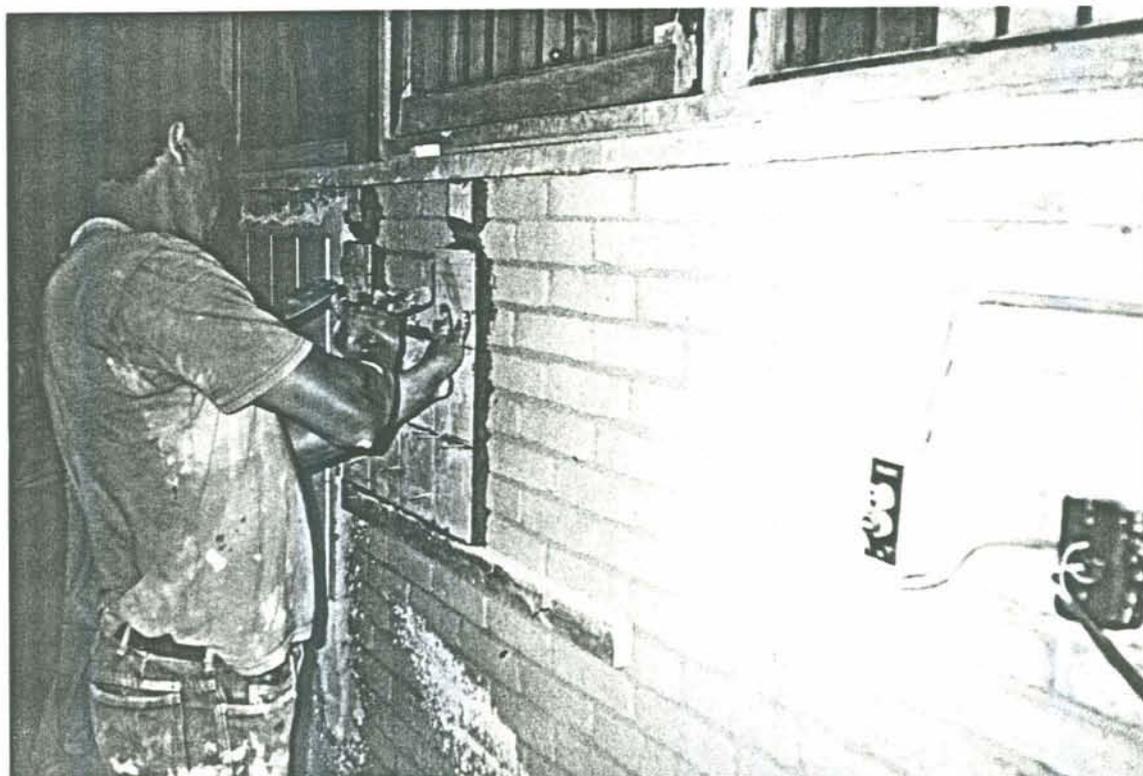


FOTO 4.12- Ajuste do nível do azulejo assentado.

De acordo com a NBR 8214/83, depois de três dias de assentados os azulejos, procedeu-se à execução do rejunte dos mesmos, com cimento branco e alvaiade, na proporção de 3:1.

Nos painéis a ensaiar foram colados pares de pastilhas de material termofixo que auxiliaram na medida da variação das juntas dos azulejos, o que pode ser observado na foto 4.13.

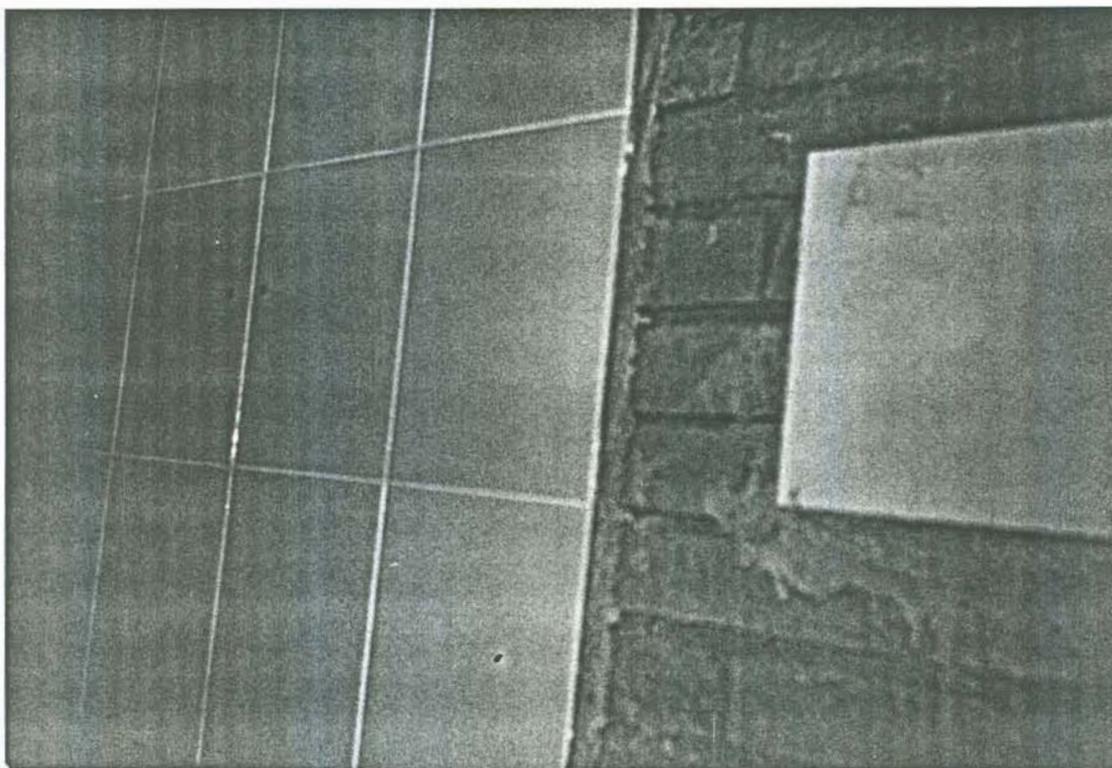


FOTO 4.13- Vista de um dos painéis ensaiados com detalhe das pastilhas coladas.

#### 4.2.4.3- Ensaio de choque térmico

O objetivo deste ensaio é verificar o comportamento quanto à variação dimensional e perda de aderência de paredes revestidas com azulejos quando submetidas a ciclos de ação do calor proveniente de fonte radiante e resfriamento por meio de aspersão de água, visando simular condições usuais de serviço.

Para a realização deste ensaio é recomendado pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT, 198\_b) o uso de termopares e registrador de temperaturas para se controlar a temperatura superficial dos corpos-de-prova, bem como de um relógio comparador de haste para se medir deslocamentos horizontais da parede. Durante a pesquisa foram solicitados recursos a órgãos competentes, os quais foram negados por falta de recursos destes órgãos na época. Devido a este fato não se pode contar com equipamentos do tipo termopares, registrador de temperaturas e relógio comparador de haste para a realização dos ensaios.

Os deslocamentos dos azulejos foram medidos com paquímetro, pois não se dispunha de um equipamento mais preciso na época. As variações de temperaturas foram controladas por um termômetro colocado junto a cada painel no momento do ensaio, onde se controlava a temperatura inicial (ambiente), a temperatura logo após a retirada da fonte radiante e a temperatura após a aspersão de água sobre o pano de azulejos assentados.

#### 4.2.4.3.1- Descrição do equipamento desenvolvido para a execução do ensaio

O equipamento desenvolvido para a execução deste ensaio consta de um painel de lâmpadas incandescentes, confeccionado de acordo com o painel já desenvolvido pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT, 198\_b) e utilizado no seu método de ensaio, que faz a verificação do comportamento de paredes externas expostas à ação do choque térmico. O painel desenvolvido na UFRGS foi uma adaptação do utilizado pelo IPT, mas com as mesmas características básicas, apenas com dimensões menores, já que os panos de azulejos a ensaiar tinham dimensões de, no máximo, 75,50cm x 80,75cm, para o painel de azulejos 20x25. As dimensões do painel de lâmpadas, bem como o seu detalhamento, encontram-se na figura 4.3.

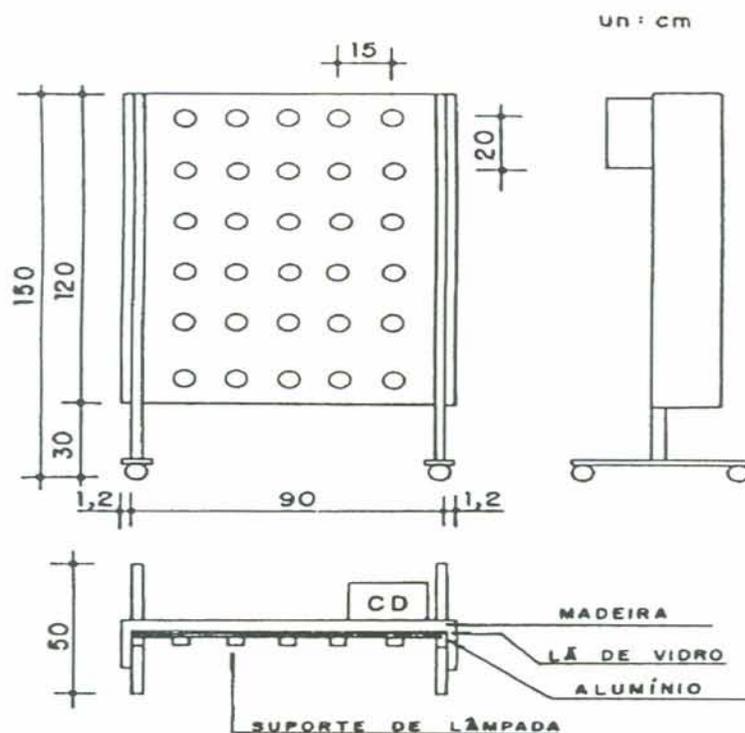


FIGURA 4.3- Equipamento para ensaio de choque térmico.

Para facilidade de locomoção deste painel, uma vez que o mesmo precisou ser movimentado a cada troca de painel de azulejos a ensaiar, foram colocados 4 rodízios na madeira de suporte deste, um em cada extremidade dos seus apoios.

Foram utilizadas 30 lâmpadas incandescentes sendo que 5 com potência de 150W cada e as outras 25 com potência de 100W cada uma (foto 4.14). Como o calor sobe, para se ter uma homogeneidade na temperatura da face dos azulejos, evitando perdas de calor pela parte inferior do painel, as 5 lâmpadas da última camada eram de potência mais elevada que as demais.

Para evitar sobrecarga no sistema elétrico, as lâmpadas foram dimensionadas e agrupadas em 2 circuitos diferentes, de maneira que as 5 mais potentes ficassem num disjuntor e as restantes 25 em outro disjuntor, de 15 Ampéres cada. Estes disjuntores foram colocados numa caixa de distribuição (CD) localizada na parte de trás do painel (figura 4.3).

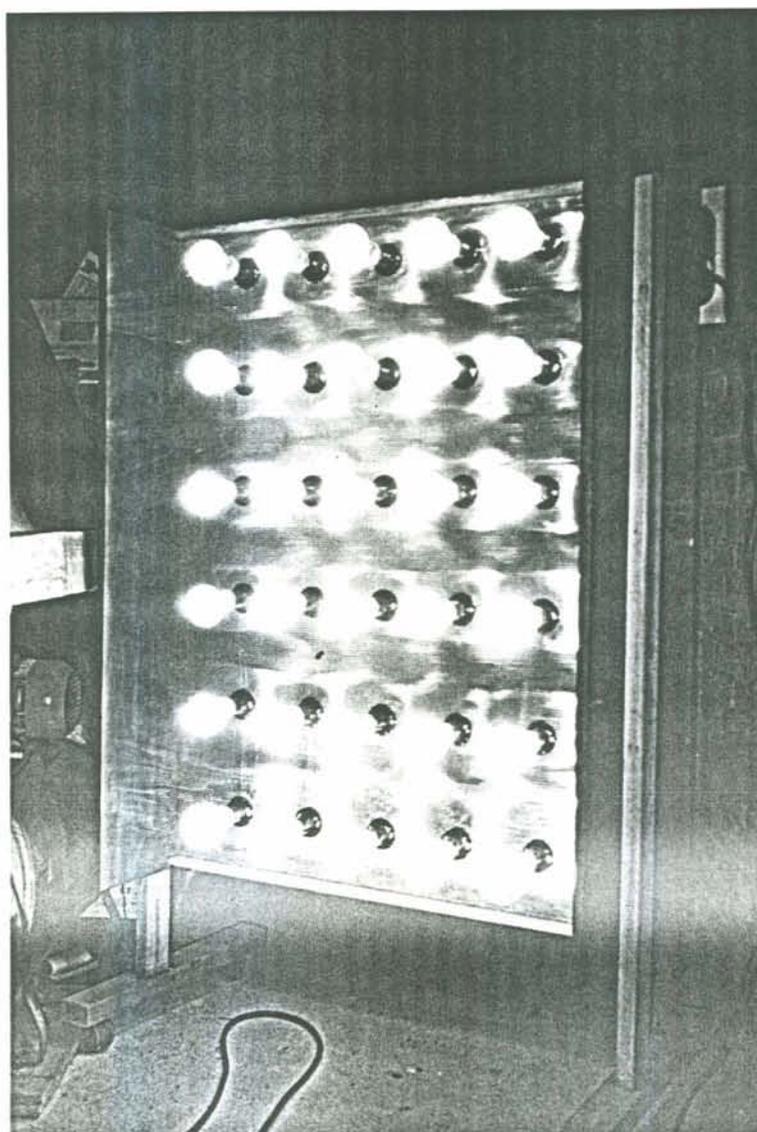


FOTO 4.14- Equipamento para ensaio de choque térmico ligado.

O painel foi confeccionado em madeira compensada plastificada de 12mm de espessura. Com intuito de reduzir as perdas de calor fornecido pelas lâmpadas incandescentes, foram criados alguns artificios como:

- a) uso de lâmpadas incandescentes pintadas com alumínio na sua base, para direcionar melhor os raios de luz;
- b) execução de abas laterais em madeira no painel de lâmpadas; e
- c) na parte frontal do painel, entre os suportes das lâmpadas e a madeira, foram executadas duas camadas. Uma camada composta de lã de vidro com 1,27cm (1/2") de espessura unida à madeira e em frente a esta camada uma lâmina de

alumínio para ajudar na reflexão da luminosidade e calor das lâmpadas (detalhe na figura 4.3).

#### 4.2.4.3.2- Metodologia de execução do ensaio

O ensaio em si consta da disposição do painel radiante diante do corpo-de-prova numa distância de 25cm, até que a temperatura superficial da face se mantenha uniforme (foto 4.15). Após a constância de temperatura, o mesmo permanece no local por um período de uma hora. Imediatamente após a supressão da radiação, a face dos corpos-de-prova é resfriada por meio de jatos de água aspergidos sobre toda a sua superfície, até se atingir temperatura superficial igual a do ambiente (que se manteve praticamente constante, pois os ensaios foram realizados dentro de um único mês- janeiro/93). A fonte de calor permaneceu na frente de cada painel rigorosamente por uma hora em cada ciclo, para que todos os panos de azulejos ficassem na mesma situação, cada um tendo sido submetido à mesma intempérie, no mesmo intervalo de tempo.



FOTO 4.15- Painel de lâmpadas na realização do ensaio de choque térmico.

Cada conjunto de corpos-de-prova ou painel de azulejos foi submetido a 10 ciclos de ação do calor e da água, sendo feito 1 ciclo por dia em 10 dias diferentes para cada painel.

Em três momentos distintos foram feitas medições na variação das juntas de assentamento dos azulejos- retração e expansão- (foto 4.16). Estas medições foram feitas com auxílio de um paquímetro e como base de medição utilizou-se as pastilhas de material termofixo que haviam sido fixadas aos azulejos em três pontos diferentes na etapa final da execução dos panos de azulejos. A localização destes pontos aparece na figura 4.1.

As medições foram efetuadas em três momentos:

- antes do ciclo de calor,

- após uma hora de exposição do painel de azulejos ao aquecimento pelo painel de lâmpadas e
- após a aspersão de água ao painel de azulejos.

Estas variações foram medidas com paquímetro e os resultados encontrados constam no capítulo 5, onde é feita a avaliação dos experimentos realizados.

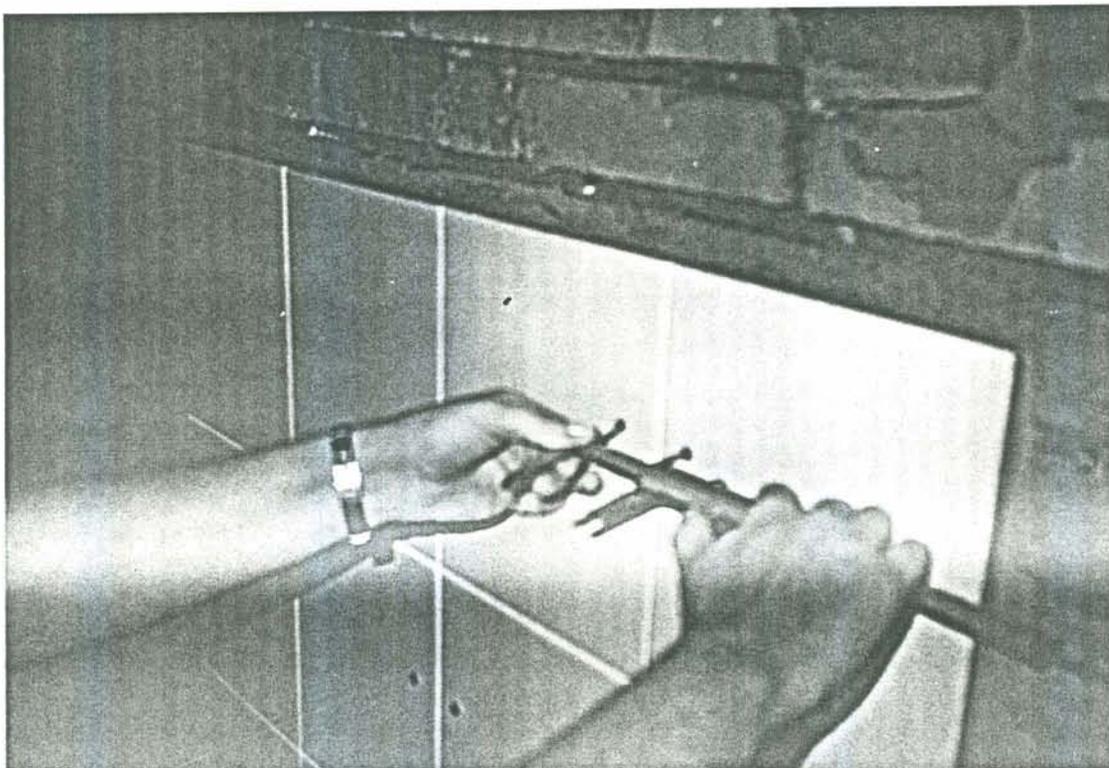


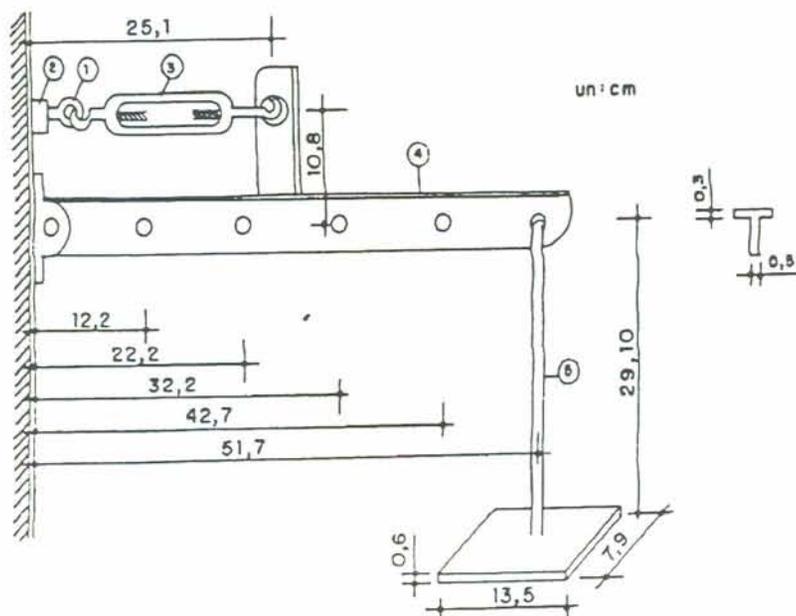
FOTO 4.16- Medição com paquímetro.

#### 4.2.4.4. Ensaio de resistência de aderência à tração

O objetivo deste ensaio é o de verificar a influência dos ciclos de calor e de frio sobre os corpos-de-prova assentados, através do arrancamento dos azulejos que sofreram os ciclos do ensaio exposto no item 4.2.4.4 comparados com o dos azulejos usados como testemunho.

## 4.2.4.4.1- Descrição do equipamento

O equipamento utilizado para este ensaio foi desenvolvido pela EPUSP/ENCOL (CONVÊNIO, 1989) e reproduzido pela equipe técnica da UFRGS. Este equipamento encontra-se detalhado na figura 4.4.



Nomenclatura das partes do equipamento:

- 1- parafuso com argola
- 2- pastilha de alumínio
- 3- esticador ou "prisioneiro"
- 4- dispositivo de arrancamento
- 5- suporte para implementação de pesos e/ou água

FIGURA 4.4- Aparelho para ensaio de resistência de aderência (revestimento de parede).

Para que se compreenda melhor o funcionamento do equipamento demonstrado na figura 4.4, recorre-se à descrição da metodologia de execução deste ensaio.

#### 4.2.4.4.2- Metodologia de execução do ensaio

O ensaio consiste em se cortar os corpos-de-prova (CP), na região central dos azulejos, seccionando toda a espessura do mesmo até a interface deste com a sua argamassa de assentamento. Isto é conseguido com o auxílio de uma serra copo diamantada com 5cm de diâmetro interno, elétrica e refrigerada com água (foto 4.17).



FOTO 4.17- Corte dos corpos-de-prova.

Após o corte dos corpos-de-prova promove-se a limpeza dos mesmos a fim de eliminar grãos soltos e/ou poeira. Quando os CP já estão limpos e secos cola-se com adesivo de secagem ultra rápida (Araldite, no caso) uma pastilha de alumínio sobre cada CP, aguardando-se de 2 a 3 horas para a execução do ensaio.

O procedimento do ensaio pode ser detalhado da seguinte forma:

- a) o acoplamento do aparelho ao corpo-de-prova dá-se através de um parafuso com argola (1);
- b) esta argola é rosqueada na pastilha de alumínio (2);
- c) o equipamento é fixado ao parafuso com argola através de um esticador (3);
- d) no dispositivo de arrancamento (4);

e) pela implementação de pesos no equipamento, através de pesos e/ou água (5), dá-se o arrancamento do corpo-de-prova. Neste momento é registrado o valor da carga aplicada sobre ele e a região onde se deu a ruptura em cada corpo-de-prova.

Neste ensaio, a aplicação de carga sobre o equipamento deve ser efetuada, preferentemente, no furo nº 5 (mais distante do corpo-de-prova), colocando-se uma placa de 0,5kg a cada 10 segundos ou de 1kg a cada 20 segundos (no que resulta uma taxa aproximada de 0,1kg/cm<sup>2</sup>.s, para o furo nº 5) (CONVÊNIO, 1989). Para este ensaio, além dos pesos de 0,5kg e 1kg foi utilizada também água como peso, uma vez que necessitou-se de até 40kg para a realização dos ensaios. A água era colocada dentro de um balde localizado no furo nº 5, observando a mesma velocidade de carregamento.

Uma ilustração deste ensaio sendo realizado pode ser observada na foto 4.18.

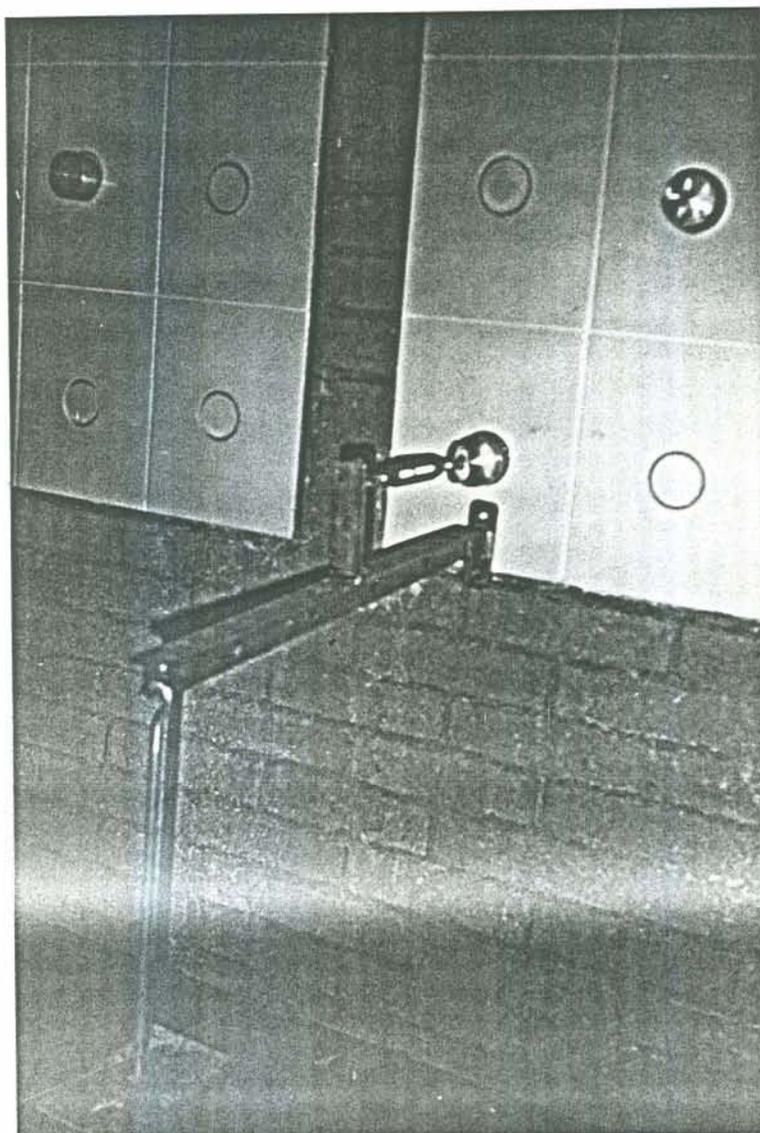


FOTO 4.18- Aparelho para ensaio de resistência de aderência durante a realização do ensaio.

Os resultados obtidos neste ensaio encontram-se no capítulo 5 deste trabalho, onde é feita uma avaliação dos experimentos realizados.

## 5- AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS

Os resultados obtidos nos ensaios realizados encontram-se neste capítulo onde também é feita uma análise destes experimentos. Primeiramente tem-se o ensaio de choque térmico e em seguida o ensaio de resistência de aderência à tração simples.

### 5.1- ENSAIO DE CHOQUE TÉRMICO

No ensaio de choque térmico, como já foi descrito em 4.2.4.3.2, as medições foram feitas em três momentos do ensaio com auxílio de um paquímetro e de pastilhas de material termofixo coladas aos azulejos assentados, para se determinar a variação das juntas entre os azulejos em função do choque térmico aplicado a eles.

Os resultados obtidos nestas medições encontram-se nas tabelas 5.1 e 5.2, onde CP1 é o azulejo 15x15, CP2 o azulejo 20x25, e A1, A2 e A3 as argamassas adesivas utilizadas e já caracterizadas no capítulo 4, item 4.2.1. Para cada ciclo existem três linhas de medidas. A primeira linha refere-se à leitura inicial, à temperatura ambiente; o segundo local são os valores medidos imediatamente após a supressão do calor fornecido pelo painel de lâmpadas e a terceira linha é a leitura da variação das distâncias das pastilhas termofixas após o resfriamento do painel.

TABELA 5.1- Resultados das medidas do ensaio de choque térmico para o CPI

CICLO	CPI x A1			CPI x A2			CPI x A3		
	PONTOS DE MEDIDA (mm)								
	B	C	T	B	C	T	B	C	T
1	50.8	51.5	50.9	50.9	50.7	50.8	50.8	51.5	50.9
	50.7	51.4	50.8	50.8	50.8	51.0	50.9	50.8	50.9
	50.9	51.5	50.9	50.8	50.9	51.0	50.9	50.9	50.9
2	50.8	51.4	50.9	50.8	50.9	51.0	50.9	50.9	51.0
	51.0	51.5	50.9	50.8	50.8	51.0	50.9	50.9	50.9
	50.9	51.5	50.9	50.9	50.9	51.0	50.9	50.9	50.9
3	50.9	51.4	51.0	50.9	50.9	51.0	50.9	50.9	50.9
	50.8	51.4	50.9	50.8	50.9	51.0	50.9	50.9	51.0
	50.9	51.4	51.0	50.9	50.9	51.0	50.9	50.9	50.9
4	50.8	51.4	50.9	50.8	50.9	51.0	50.9	50.9	51.0
	50.8	51.4	50.9	50.9	50.9	51.0	50.9	50.9	50.9
	50.9	51.5	51.0	50.9	50.9	51.0	50.9	50.9	51.0
5	50.8	51.4	50.9	50.9	50.9	51.0	50.9	50.9	50.9
	50.8	51.5	50.9	50.8	50.9	51.0	50.8	50.9	50.9
	50.9	51.5	51.0	50.9	50.9	51.0	50.9	50.9	50.9
6	50.9	51.5	50.9	50.8	50.9	51.0	50.9	50.9	50.9
	50.9	51.4	51.0	50.8	50.9	51.0	50.9	51.0	50.9
	50.9	51.5	51.0	50.8	50.9	51.0	50.9	50.9	50.9
7	50.9	51.5	51.0	50.9	50.9	51.0	50.9	50.9	50.9
	50.9	51.5	51.0	50.8	50.9	51.0	50.8	50.9	50.9
	50.9	51.5	51.0	50.8	50.9	51.0	50.9	50.9	50.9
8	50.8	51.5	51.0	50.9	50.9	51.0	50.9	50.9	50.9
	50.9	51.5	51.0	50.9	50.9	51.0	50.9	50.9	50.9
	50.9	51.5	51.0	50.9	50.9	51.0	50.9	50.9	50.9
9	50.8	51.4	51.0	50.9	50.9	51.0	50.9	50.9	51.0
	50.8	51.4	51.0	50.8	50.9	51.0	50.9	50.9	51.0
	50.8	51.4	51.0	50.8	50.9	51.0	50.9	50.9	51.0
10	50.9	51.4	50.9	50.8	50.9	51.0	50.9	50.9	51.0
	50.8	51.5	51.0	50.8	50.9	51.0	50.9	50.9	51.0
	50.9	51.4	50.9	50.9	50.9	51.0	50.9	50.9	51.0

B = BASE  
C = CENTRO  
T = TOPO

TABELA 5.2- Resultados das medidas do ensaio de choque térmico para o CP2

CICLO	CP2 X A1			CP2 X A2			CP2 X A3		
	PONTOS DE MEDIDA (mm)								
	B	C	T	B	C	T	B	C	T
1	52.0	51.2	51.6	50.8	50.9	50.8	50.9	50.9	50.8
	52.1	51.2	51.5	50.7	51.0	50.7	50.9	50.9	50.8
	52.1	51.2	51.5	50.8	50.9	50.8	50.9	50.9	50.9
2	52.1	51.3	51.5	51.0	51.0	51.0	51.8	50.9	50.9
	52.0	51.3	51.6	50.8	51.0	50.9	51.9	50.9	51.0
	52.0	51.2	51.6	50.8	51.0	50.9	51.8	51.0	51.0
3	52.2	51.2	51.5	50.8	51.0	50.9	51.8	50.9	50.9
	52.1	51.3	51.6	50.9	51.0	50.9	51.8	50.9	50.9
	52.1	51.2	51.6	50.9	51.0	50.9	51.8	50.9	50.9
4	52.1	51.2	51.5	50.8	51.0	50.9	51.8	50.9	50.9
	52.1	51.2	51.6	50.8	51.0	50.9	51.8	50.9	50.9
	52.1	51.3	51.5	50.8	51.0	50.9	51.7	50.8	50.9
5	51.7	50.9	51.0	50.8	51.0	50.9	51.7	50.9	51.0
	51.7	50.9	50.9	50.8	51.0	50.9	51.7	50.9	50.9
	51.8	51.0	51.0	50.8	51.0	50.9	51.8	51.0	51.0
6	52.2	51.3	51.6	50.8	51.0	50.9	51.8	50.9	50.9
	52.1	51.3	51.6	50.8	51.0	51.0	51.8	50.9	50.9
	52.2	51.3	51.6	50.8	51.0	51.0	51.8	50.9	50.9
7	52.1	51.3	51.6	50.8	51.0	50.9	51.7	50.9	51.0
	52.1	51.3	51.6	50.9	51.0	51.0	51.8	50.9	51.0
	52.1	51.3	51.6	50.9	51.0	51.0	51.8	50.9	51.0
8	52.1	51.2	51.6	50.8	51.0	51.0	51.8	50.9	51.0
	52.1	51.2	51.6	50.8	51.0	51.0	51.8	50.9	51.0
	52.1	51.2	51.6	50.9	51.0	51.0	51.8	51.0	51.0
9	52.1	51.3	51.6	50.8	51.0	51.0	51.8	50.9	50.9
	52.2	51.3	51.6	50.8	51.0	51.0	51.8	51.0	51.0
	52.1	51.3	51.6	50.9	51.0	51.0	51.8	51.0	51.0
10	52.1	51.2	51.6	50.8	51.0	50.9	51.8	51.0	51.0
	52.1	51.2	51.6	50.9	51.0	51.0	51.8	51.0	51.0
	52.1	51.2	51.6	50.8	51.0	51.0	51.8	50.9	50.9

B = BASE  
C = CENTRO  
T = TOPO

Para uma melhor compreensão dos resultados obtidos nestes ensaios experimentais de choque térmico, os mesmos foram submetidos a uma análise estatística gráfica com auxílio de um programa computacional estatístico para tentar se observar tendências das curvas formadas.

Como variáveis principais tem-se os três tipos de argamassas usadas, (A1), (A2) e (A3) e como variáveis secundárias tem-se os dois tipos de azulejos utilizados para a realização dos ensaios (CP1 e CP2).

As variáveis dependentes são a retração/expansão das juntas de assentamento (mm), medidas no ensaio de choque térmico e a tensão de arrancamento (MPa), medida no ensaio de resistência de aderência.

As figuras 5.1 a 5.6 apresentam gráficos com os dados das tabelas 5.1 e 5.2.

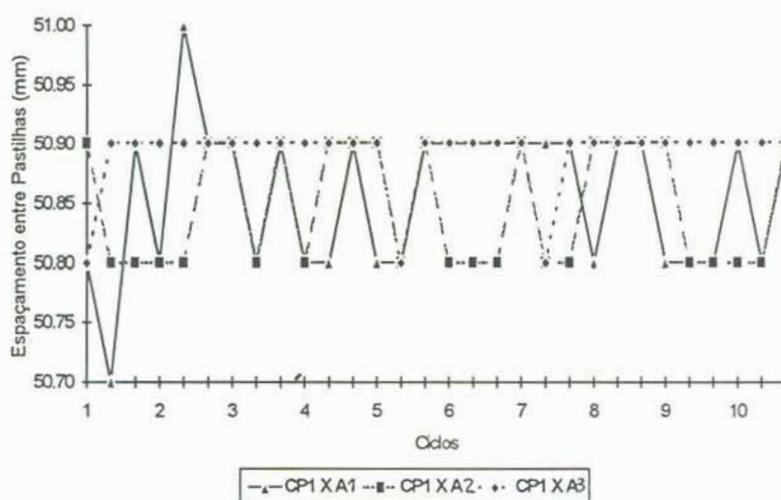


FIGURA 5.1- Ciclos de choque térmico para CP1- leituras do ponto de base.

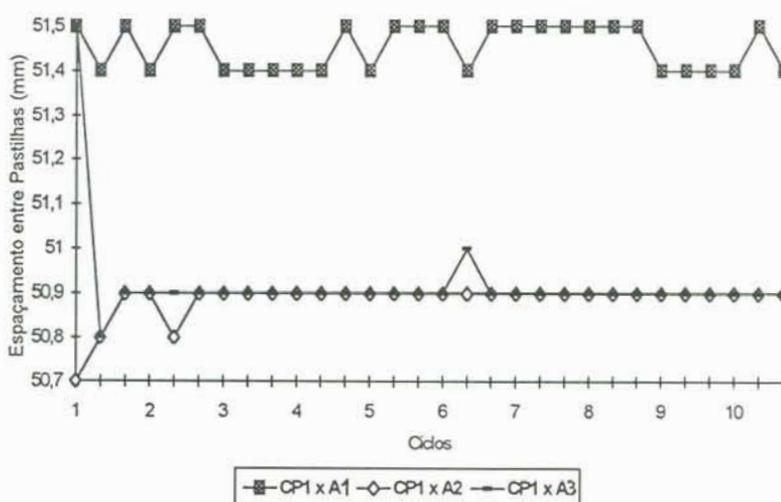


FIGURA 5.2- Ciclos de choque térmico para CP1- leituras do ponto de centro.

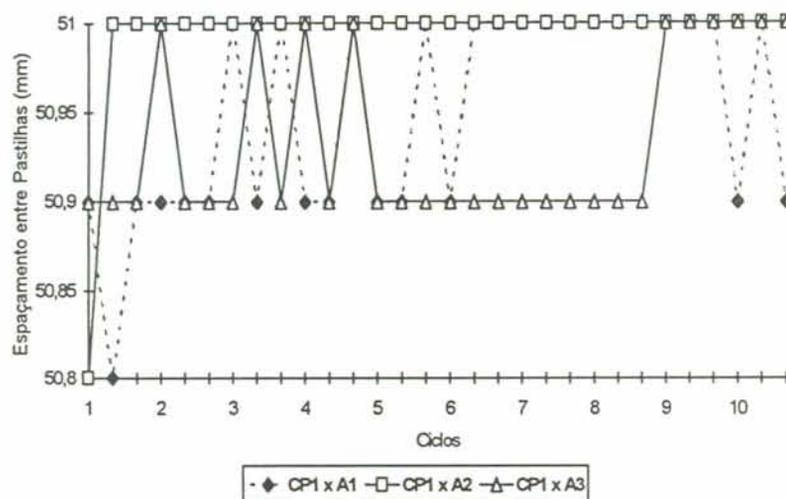


FIGURA 5.3- Ciclos de choque térmico para CP1- leituras do ponto de topo.

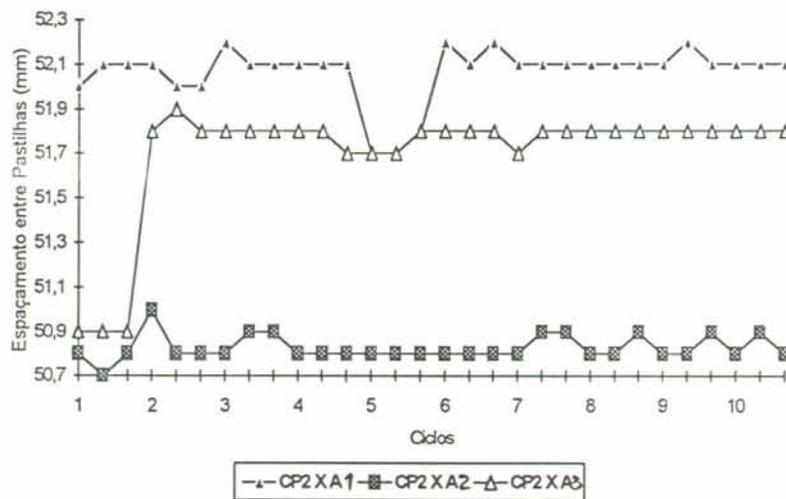


FIGURA 5.4- Ciclos de choque térmico para CP2- leituras do ponto de base.

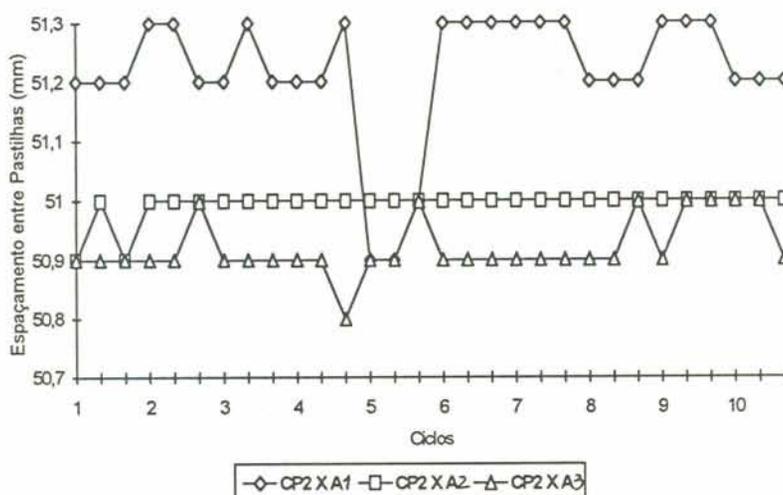


FIGURA 5.5- Ciclos de choque térmico para CP2- leituras do ponto de centro.

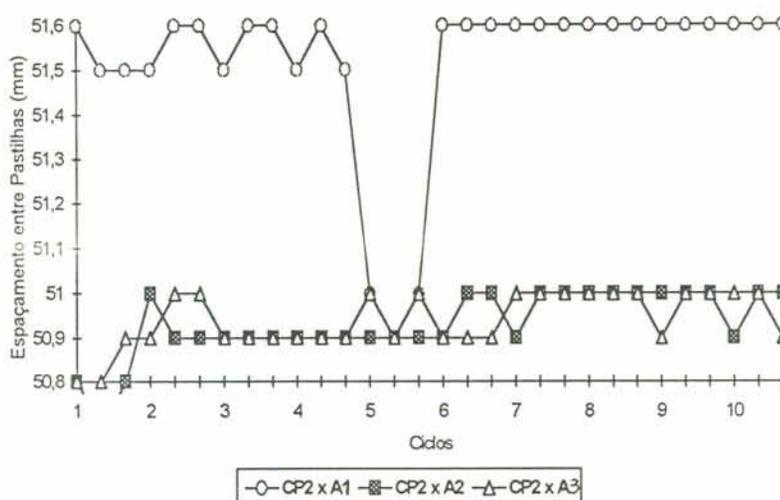


FIGURA 5.6- Ciclos de choque térmico para CP2- leituras do ponto de topo.

Os gráficos expressos nas figuras 5.1 a 5.6 contém os 10 ciclos medidos e a variação das distâncias entre os pares de pastilhas termofixas, simbolizando a variação das espessuras das juntas nos 3 pontos diferentes da cada painel. Ponto de **base** é o nome dado ao par de pastilhas termofixas colocadas nos azulejos inferiores do painel, **centro** os colocados nos azulejos centrais e **topo** os azulejos superiores, como mostra a figura 4.1. Cada uma das linhas que aparecem nos gráficos representam, conforme a legenda, CP1 x A1, CP1 x A2, CP1 x A3, para o corpo-de-prova 1, e CP2 x A1, CP2 x A2 e CP3 x A3 para o corpo-de-prova 2.

Nota-se nestes gráficos que não há uma uniformidade na dilatação/retração das juntas medidas. O que esperava-se era que houvesse uma diminuição da junta de assentamento

logo após a supressão do calor, uma vez que os azulejos tendem a dilatar, diminuindo assim a junta entre eles, e após a aspersão de água gelada sobre os painéis de azulejos assentados, estes deveriam voltar à posição inicial, voltando a aumentar o tamanho da junta.

Baseado nos gráficos demonstrados e com auxílio da estatística, chegou-se às seguintes conclusões:

- a) o erro de arredondamento é da ordem da leitura do que se estava medindo, necessitando-se assim uso de um equipamento com uma resolução maior que a do paquímetro para este tipo de medição. Sugere-se o uso do equipamento denominado elongômetro, que não foi usado nos ensaios por não estar disponível na época da realização dos mesmos;
- b) seria esperado observar-se, na maioria dos pontos, uma tendência de diminuição da junta de assentamento logo após a supressão do calor e após a aspersão de água sobre os painéis, a volta destes à posição original. Esta variação é muitas vezes inferior a 1mm, sendo impossível de ser detectada por problemas de imprecisão do equipamento de medição. Devido a esta imprecisão do equipamento, esta tendência foi observada em apenas alguns poucos pontos medidos;
- c) foi feita uma análise de resíduos utilizando-se papel de probabilidade. Nesta análise a hipótese de normalidade dos resíduos não foi rejeitada, sugerindo uma distribuição normal para os resultados obtidos.

Finalmente, após uma análise gráfica dos resultados obtidos no ensaio de choque térmico concluiu-se que o mesmo teve uma influência muito pequena sobre as juntas.

## 5.2- ENSAIO DE RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO

Dos azulejos estudados foram submetidos a este ensaio todos os azulejos usados como testemunho, e seis azulejos de cada painel não testemunho. O procedimento para realização do mesmo encontra-se no capítulo 4, item 4.2.4.4 e os resultados obtidos encontram-se nas tabelas 5.3 e 5.4. Os arrancamentos foram realizados após os 10 ciclos de choque térmico e na idade de aproximadamente três meses dos azulejos assentados.

TABELA 5.3. Resultados obtidos no ensaio de resistência de aderência à tração para o corpo-de-prova 1.

CP1	A1	A1-T	A2	A2-T	A3	A3-T
Pontos Ensaiaados	Fad(MPa)		Fda (MPa)		Fda (MPa)	
1	0,56	0,22	>0,78	0,72	>0,98	0,87
2	0,27	0,22	0,96	0,86	>0,71	>0,98
3	0,59	0,44	>0,91	0,81	>0,98	>0,98
4	0,38	0,40	0,88	0,79	>0,98	>0,98
5	0,42		>0,91		>0,98	
6	0,68		>0,96		>0,98	
n	6	4	6	4	6	4
x (MPa)	0,483	0,320	0,940	0,795	>0,94	>0,95
S (MPa)	0,127	0,127	-	0,058	-	-
CV (%)	26	40	-	7	-	-

Nota: T= Testemunho  
 Fad= Resistência de aderência à tração  
 n= tamanho da amostra  
 x= resistência média à tração  
 S= desvio padrão  
 CV= coeficiente de variação

TABELA 5.4. Resultados obtidos no ensaio de resistência de aderência à tração para o corpo-de-prova 2.

CP2	A1	A1-T	A2	A2-T	A3	A3-T
Pontos Ensaiaados	Fad (MPa)		Fad (MPa)		Fad (MPa)	
1	0,22	0,37	0,88	0,96	>1,03	>0,98
2	0,38	0,46	>1,02	>0,98	>1,03	>1,03
3	0,38	0,64	>0,96	>0,98	>1,03	>0,98
4	0,27	0,49	>0,98	>1,00	>1,03	>0,98
5	0,32		>0,92		>1,03	
6	0,49		>0,95		>1,03	
n	6	4	6	4	6	4
x (MPa)	0,343	0,490	>0,95	>0,98	>1,03	>0,99
S (MPa)	0,095	0,112	-	-	-	-
CV (%)	28	23	-	-	-	-

Nota: T= Testemunho  
 Fad= Resistência de aderência à tração  
 n= tamanho da amostra  
 x= resistência média à tração  
 S= desvio padrão  
 CV= coeficiente de variação

O equipamento de tração simples fornece o resultado em kg. Para obter-se o valor de resistência individual de aderência em MPa utiliza-se a fórmula (1).

$$F_{ad} = \frac{10 \cdot n \cdot (M + 1)}{A} \quad (1)$$

Onde:

$F_{ad}$  = resistência de aderência, em MPa;

$n$  = número do furo no qual se efetuou o carregamento durante o ensaio;

$M$  = massa total, em kg, das placas para a qual ocorreu o arrancamento do CP da parede; e

$A$  = área do CP em mm<sup>2</sup>, cujo diâmetro é de 50mm.

O equipamento utilizado para o ensaio de resistência de aderência tem uma capacidade de aproximadamente 45kg em pesos que podem ser colocados no equipamento, não comprometendo a integridade do mesmo quer seja por quebra do equipamento, quer seja por torção deste. Como é necessário que pelo menos quatro dentre seis valores medidos fossem superiores a 0,3MPa, correspondendo a uma carga de aproximadamente 15kg colocada no 5º furo da barra do equipamento (figura 4.2), usou-se como critério, no momento da realização do ensaio, parar com o incremento de pesos quando estes atingissem 40kg, uma vez que a resistência neste ponto, em MPa, já é muito superior ao mínimo exigido por norma (NBR 8214/83). Por este motivo, estatisticamente falando, alguns dados ficaram "truncados" não podendo ser usados de maneira absoluta no momento da análise estatística.

Pode-se, outrossim, analisar os dados da argamassa 1, da qual foi possível obter todos os resultados e assim fazer-se uma extrapolação para os dados obtidos para as argamassas 2 e 3, cujo desvio padrão não seria maior que o obtido para a argamassa 1, adotado na análise gráfica das amostras. Pode-se também utilizar os dados obtidos para se fazer uma análise em termos relativos.

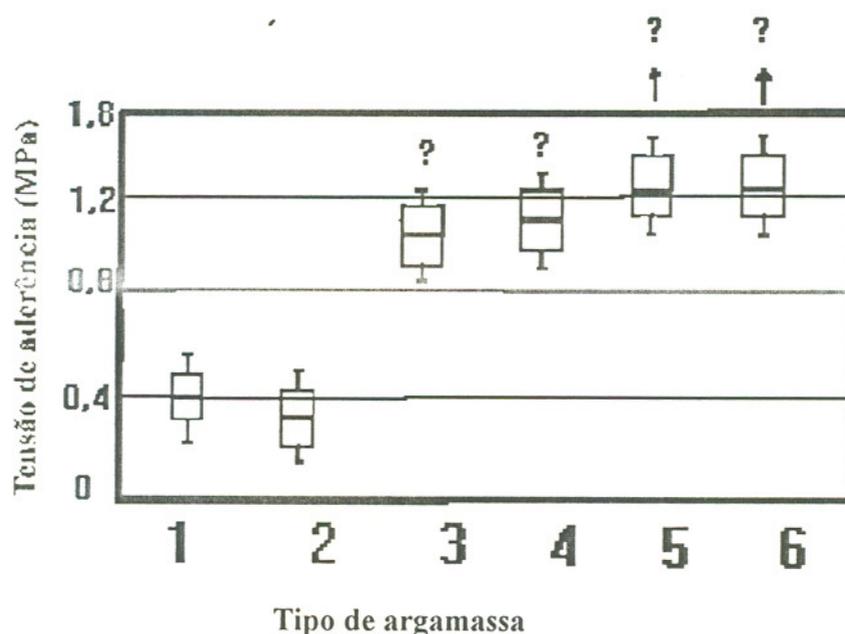
Utilizando métodos de estimativa de parâmetros para amostras truncadas, obteve-se para o grupo CP1-A2 uma média de 0,94MPa, com um desvio padrão igual ao da argamassa 1.

O desvio padrão médio do ensaio pode ser medido para a argamassa A1 já que esta foi a única amostra completa onde pode-se analisar a variabilidade. Assim sendo, a melhor estimativa da variabilidade levou a um valor de desvio padrão de 0,127 e sugere-se uma

distribuição normal dos valores obtidos, já que os valores amostrais passam em todos os testes de normalidade.

O gráfico denominado "box and whisker plot" (figura 5.7) construído com os dados existentes resume um conjunto de observações univariáveis. Este gráfico fornece uma ferramenta para análise de dados exploratória que é útil para o estudo de simetria, checando suposições de distribuição e detectando valores expúrios. Os gráficos "box and whisker plot" são úteis particularmente para comparação de grupos de dados entre si.

O plano ou gráfico divide os dados em quatro áreas de frequências iguais. A caixa inclui a média 50% e o sistema desenha a mediana como uma linha horizontal no interior da caixa. Linhas verticais chamadas "whiskers" ou suíças estendem-se de cada extremo da caixa central e são de valor igual a uma vez o desvio padrão, exatamente como mostra a figura 5.1.



Legenda:  
 Pontos 1 e 2 - argamassa 1 (CP1 e CP2)  
 Pontos 3 e 4 - argamassa 2 (CP1 e CP2)  
 Pontos 5 e 6 - argamassa 3 (CP1 e CP2)

FIGURA 5.7- Gráfico "Box and whisker plot".

Neste gráfico, se houver superposição das suíças ou prolongamentos das caixas, os dois conjuntos de dados não terão diferença significativa entre si, como é o caso das

argamassas 2 e 3 (pontos de 3 a 6). Já a argamassa 1 difere significativamente das outras duas, de acordo com o que se pode observar no gráfico 5.7. De fato, conforme constatado nos ensaios, a argamassa 1 apresentou uma resistência de aderência mais baixa relativamente às argamassas 2 e 3.

Para os valores de resistência de aderência das argamassas 2 e 3, nos pontos onde não foi possível chegar ao rompimento ou arrancamento do corpo-de-prova, significa dizer que a resistência de aderência nestes pontos estava acima dos valores obtidos.

Os pontos de interrogação acima da argamassa número 2 (pontos 3 e 4) existem porque o valor do desvio padrão foi estimado em função da argamassa nº 1 e porque o valor exato da média do ponto 4 também não foi possível de ser definido com exatidão, sabendo-se apenas que é um valor  $> 0,95\text{MPa}$ .

Já os pontos de interrogação juntamente com as flechas sobre os pontos nº 5 e 6 (argamassa nº 3) são devido ao fato de que se sabe apenas que estes conjuntos de dados têm as suas médias acima de  $0,94\text{MPa}$  e  $1,03\text{MPa}$ , respectivamente.

A figura 5.8 mostra os resultados das resistências médias à compressão para as argamassas utilizadas nos ensaios. Os ensaios foram realizados aos 28 e aos 91 dias de idade e mostram que houve um aumento de resistência destas argamassas neste período, como era esperado.

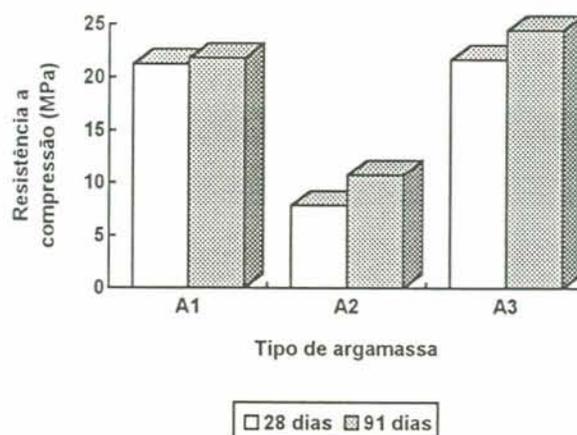


FIGURA 5.8- Gráfico de resistência à compressão das argamassas.

Na figura 5.9 tem-se os resultados de resistência de aderência média à tração simples obtidas no ensaio de arrancamento dos painéis que sofreram ciclos de choque térmico e dos painéis testemunho (T), para cada argamassa e corpo-de-prova utilizado. Comparando-se os gráficos 5.8 e 5.9 nota-se que a resistência à compressão das argamassas tem uma pequena relação com a resistência de aderência à tração das mesmas, já que a argamassa 1 tem uma resistência à compressão bastante alta, mas no seu desempenho frente à tração simples mostrou-se a mais baixa dentre as argamassas estudadas.

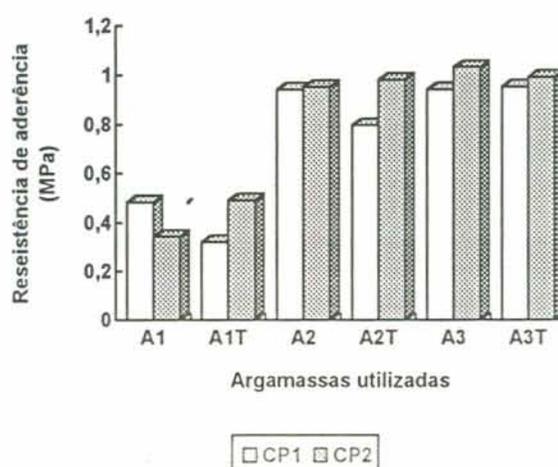


FIGURA 5.9- Gráfico de resistência de aderência dos ensaios realizados.

No gráfico 5.9 não se nota diferença significativa de resistência de aderência dos CP testemunho em relação aos que sofreram ação do calor e do frio. Pode-se notar também que a argamassa 1 teve resultados inferiores em relação às outras duas argamassas estudadas, mas acima do mínimo recomendado pela NBR 8214 (1983).

Outro resultado deste ensaio foi que para o CP1, as resistências de aderência dos CP testemunho apresentaram-se menores ou iguais que as dos CP ensaiados ao choque térmico. Com intuito de se verificar a influência das juntas de assentamento para os dois tipos de azulejos (15 x 15cm e 20 x 25cm) foram deixadas juntas de mesmo tamanho (1,5mm). De acordo com a NBR 8214/83 esta seria a junta ideal para azulejos de dimensões 15 x 15, mas insuficiente para os azulejos 20 x 25 (tabela 2.1), para este tipo de material de rejunte sugerido por esta norma.

Os azulejos 15 x 15 têm um maior número de juntas por m<sup>2</sup> de parede assentada, facilitando a absorção dos efeitos de movimentações térmicas.

De fato, as deformações sofridas foram plenamente absorvidas pelas juntas dos azulejos 15 x 15. Além disso, provavelmente o calor do ensaio de choque térmico auxiliou nas reações de hidratação do cimento, melhorando, deste modo, a aderência destes azulejos ao substrato.

Por outro lado, os azulejos 20 x 25 tiveram as suas resistências para os CP testemunho, em média, maiores que as resistências de aderência dos CP não-testemunho. Com isto comprova-se o fato de que uma junta de assentamento de 1,5mm para azulejos com dimensões 20 x 25 é realmente insuficiente. O que provavelmente aconteceu neste caso foi que, ao se dilatarem no ensaio de choque térmico, estes CP encostaram-se uns nos outros ou o material de preenchimento das juntas de assentamento não foi capaz de absorver as deformações, para a espessura utilizada, criando novas tensões que tendem a "empurrar" os azulejos para fora da parede. Como existem poucas juntas em 1m<sup>2</sup> de parede assentada com azulejos 20 x 25, elas devem ser mais largas para poderem absorver as deformações. Este efeito "beliscão" é muito comum e provavelmente estes azulejos, apesar de apresentarem resistências de aderência altas na ocasião de realização do ensaio de arrancamento, em alguns anos poderiam vir a se soltar do substrato.

## 6- CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

As principais conclusões obtidas neste trabalho foram:

- a) O choque térmico não foi fator determinante no descolamento de azulejos ao seu substrato para os ensaios realizados. Estes ensaios não comprovaram os efeitos esperados nos azulejos, uma vez que nenhum deles mostrou sinais de descolamento após os ciclos de calor e de frio. Pelo contrário, os azulejos 15 x 15 mostraram-se ainda mais aderidos ao substrato após os ciclos de choque térmico em relação aos CP testemunho.
- b) As juntas de assentamento dos azulejos pareceram ter importância fundamental na aderência de azulejos ao substrato. Propositadamente foram deixadas juntas de mesmo tamanho (1,5mm) para os azulejos 15 x 15cm e para os 20 x 25cm, onde as deformações sofridas pelos CPs foram plenamente absorvidas pelas juntas dos azulejos 15 x 15, mas por outro lado as juntas de assentamento dos azulejos 20 x 25 não foram suficientes para absorver as tensões a que eles foram submetidos. Comprovou-se com isto que se os azulejos 15 x 15 são assentados com as juntas de acordo com o recomendado pela norma NBR 8214 (ABNT, 1983), cujos dados encontram-se na tabela 2.1 deste trabalho, estas juntas são suficientes para absorver as variações dimensionais devido a diferenças acentuadas de temperatura e umidade.

Para que um revestimento de azulejos esteja aderido a uma parede, a norma brasileira 8214/83 exige que o mesmo deva satisfazer a duas condições básicas:

1ª resposta à percussão quando submetido a pequenos impactos com material rijo, não contundente, não deve produzir som cavo;

2ª quando necessário, num ensaio de resistência de aderência para seis determinações consideradas, pelo menos quatro valores devem ser iguais ou superiores a 0,3MPa.

Dentre as argamassas adesivas utilizadas, embora atendidas as recomendações da norma de assentamento de azulejos, verificou-se que:

- a) a argamassa adesiva à base de cimento ou argamassa de cimento pré-misturada foi a que apresentou desempenho mais baixo. Mesmo assim, esta atende às recomendações da norma, uma vez que dos seis corpos-de-prova ensaiados para cada tipo de azulejo utilizado, pelo menos 4 valores apresentaram-se superiores a 0,3MPa.
- b) o desempenho da argamassa adesiva convencional e da argamassa com aditivo incorporador de ar pode ser considerado excelente, uma vez que todos valores apresentaram-se muito superiores ao mínimo exigido pela norma.

Nos ensaios realizados não foi observada influência significativa entre os corpos-de-prova que sofreram ação dos ciclos de choque térmico e dos corpos-de-prova testemunho, já que os resultados de resistência de aderência de ambos elementos ensaiados foram bastante semelhantes, como se pode observar na figura 5.1, nos resultados dos ensaios de resistência de aderência (tabelas 5.3 e 5.4) e no gráfico da figura 5.9.

No decorrer dos ensaios foi observado que a recomendação da norma de que os azulejos a serem assentados com adesivos à base de cimento não precisam ser umedecidos (NBR 8214/83, item 5.2.1.1.1) deve ser reestudada, já que nos painéis onde os mesmos foram assentados com este tipo de adesivo, os que se encontravam nas fiadas superiores apresentaram desempenho mais baixo que os das fiadas inferiores, sugerindo que a umidade da argamassa escorreu para as fiadas inferiores, com auxílio da força da gravidade, permitindo uma melhor aderência das peças que se encontravam nestas fiadas.

Muitos fatores afetam a resistência de aderência dos materiais cerâmicos à alvenaria/estrutura de construção. Uma baixa sucção, tijolo bem queimado e uma argamassa trabalhável com boa retenção de água e moderada resistência contribuirão bastante para uma boa aderência, assim como juntas de assentamento de acordo com as dimensões dos azulejos/peças cerâmicas e a execução de juntas de dilatação, quando necessário.

Outro ponto observado durante todo o andamento deste trabalho é que muitas vezes não se tomam os devidos cuidados em obra no que se refere às juntas de assentamentos mínimas exigidas para os revestimentos cerâmicos, seja por desconhecimento das normas existentes, seja por falta de fiscalização do engenheiro responsável pelos serviços ou até mesmo pela falta de um projeto mais detalhado para a execução deste tipo de revestimento.

Inúmeros casos de descolamentos de peças cerâmicas estão intimamente ligados a este problema, pois se as peças cerâmicas não tiverem plena liberdade de dilatar e retrair em função de variações de temperatura ou absorção de umidade, é possível que as tensões formadas superem a resistência de aderência ao substrato, levando ao descolamento de algumas peças ou até mesmo de um painel inteiro. Fica assim um alerta para este ponto de extrema importância nos revestimentos cerâmicos, que devem ser sempre levados em consideração e fiscalizados nos projetos de revestimentos e principalmente nas obras.

Como proposta para futuros trabalhos nesta área sugere-se que se estude experimentalmente a influência da molhagem de azulejos assentados com argamassas à base de cimento e o tempo ideal que estes fiquem imersos em água, bem como do umedecimento prévio do substrato.

A influência de ciclos de choque térmico é igualmente importante que se continue estudando, já que muitas das patologias verificadas nos materiais cerâmicos para revestimento provém de variações térmicas e de umidade a que estes revestimentos invariavelmente estão sujeitos. Pode-se dizer que 10 ciclos de choque térmico não foram suficientes para que se note influência nos resultados. Sugere-se então que o número de ciclos seja aumentado.

O fato destes ensaios terem sido efetuados na cidade de Porto Alegre e no verão (janeiro de 1993), pode ter contribuído para que os ciclos de calor e de frio não exercessem influência significativa na resistência de aderência final entre os azulejos que sofreram os ciclos de calor e de frio e os que nada sofreram, porque Porto Alegre no verão apresenta temperaturas extremamente altas e umidades relativas do ar igualmente elevadas (da ordem de 90%). No período de realização dos ensaios descritos neste trabalho a temperatura média diária estava na ordem dos 360°C, diminuindo consideravelmente o gradiente de temperatura entre a ambiente e após os ciclos de calor que os painéis eram submetidos (temperatura final na ordem de 800°C). Desta forma, fica a sugestão para que os próximos trabalhos que utilizem gradientes de temperatura sejam realizados num período do ano com temperaturas ambientes mais amenas.

Neste trabalho foi usado como material para rejunte cimento branco e alvaiade, na proporção de 3:1, que mostrou-se eficiente na absorção de deformações. Modificações no material de rejuntamento e suas proporções ideais é outro ponto a ser estudado.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADDLESON, L. **Building failures: a guide to diagnosis, remedy and prevention.** London: The Construction Press, 1982. 117p.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS **Standard terminology of adhesives: D907-91b.** Philadelphia, Pa., 1991. 8p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Assentamento de azulejos- Procedimento: NBR 8214.** Rio de Janeiro, 1983.
- **Azulejo- classificação: NBR 7169.** Rio de Janeiro, 1983.
- **Azulejo- determinação da absorção de água: NBR 6127.** Rio de Janeiro, 1984.
- **Azulejo- determinação da curvatura diagonal- método de ensaio: NBR 6130.** Rio de Janeiro, 1983.
- **Azulejo- determinação da diferença de comprimento entre lados opostos e adjacentes- método de ensaio: NBR 6129.** Rio de Janeiro, 1983.
- **Azulejo- determinação da estabilidade de cores- método de ensaio: NBR 6126.** Rio de Janeiro, 1985.
- **Azulejo- determinação da resistência ao ataque químico- método de ensaio: NBR 6128.** Rio de Janeiro, 1985.
- **Azulejo- determinação da resistência ao gretamento- método de ensaio: NBR 6131.** Rio de Janeiro, 1985.
- **Azulejo- determinação da tensão de ruptura à flexão- método de ensaio: NBR 6132.** Rio de Janeiro, 1986.
- **Azulejo- determinação das dimensões- método de ensaio: NBR 6133.** Rio de Janeiro, 1985.
- **Azulejo- determinação do empeno- método de ensaio: NBR 9201.** Rio de Janeiro, 1985.
- **Azulejo- especificação: NBR 5644.** Rio de Janeiro, 1986.
- **Azulejo- formato e dimensões- padronização: NBR 8040.** Rio de Janeiro, 1986.
- **Cimento Portland- determinação da resistência à compressão: NBR 7215.** Rio de Janeiro, 1991. Origem: MB-1/1982.
- BOGGIO, A.J.; SOLANO, R. Algumas considerações sobre aderência entre tijolo e argamassa baseados na análise microestrutural da interface. In: ENCONTRO NACIONAL DA CONSTRUÇÃO, 10., 1990, Gramado, RS. **Anais...** Porto Alegre: SERGS, 1990. v.1, p.313-330.
- BOYNTON, R.S.; GUTSCHICK, K.A. **Aderência de argamassas a elementos de alvenaria- fatores que influenciam a resistência, extensão e durabilidade da aderência.** São Paulo: IPT, 1964. 21p. Tradução de: Masonry mortar.
- BUILDING RESEARCH ESTABLISHMENT. **Building defects and maintenance.** 2.ed. Lancaster: The Construction Press, 1977. 239p. (BRE Digests).

- CARASEK, H. Ensaio de aderência para revestimentos de argamassa. In: 25 JORNADAS SUL-AMERICANAS DE ENGENHARIA ESTRUTURAL, 25, 1991, Porto Alegre, RS. *Anais...* Porto Alegre: CPGEC/UFRGS, 1991. v.4, p.265-274.
- CONVÊNIO EPUSP/CPqDCC-ENCOL. **Diretrizes para a produção e controle de dosagem das argamassas de assentamento e revestimento.** São Paulo, 1989. 110p.
- **Recomendações para a produção de revestimentos cerâmicos para paredes de vedação em alvenaria.** São Paulo, 1990. 116p. (Relatório Técnico, R6.-06).
- CONVÊNIO INCEPA/SENAI. **Curso de formação/aperfeiçoamento azulejistas.** Campo Largo, PR [198\_]. 74p.
- DA ARTE, passada de pai para filho, às modernas técnicas de assentamento. **Revestimentos,** São Paulo, Pini, p.18-33, ago. 1983.
- DAL MOLIN, D.C.C. **Fissuras em estruturas de concreto armado: análise das manifestações típicas e levantamento de casos ocorridos no estado do Rio Grande do Sul.** Porto Alegre: Escola de Engenharia, 1988. 220p. Dissertação (Mestrado em Engenharia)- Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS.
- FERREIRA, A.M.; SILVA, D.A. **Patologia de revestimentos.** Porto Alegre: CPGEC/UFRGS, 1991. 60p.
- GALEMBECK, F. Adesão de superfícies **Ciência Hoje,** São Paulo, v.4, n.19, p.26-31, 1985.
- GOODWIN, J.F.; WEST, H.W.H. **A review of literature on brick/mortar bond.** Stoke-on-Trent: The British Ceramic Research Association, 1980. (Technical Note, 308).
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. **Revestimentos de argamassas inorgânicas: terminologia.** São Paulo [198\_a] (Projeto CE 2:02.17-004).
- **Verificação do comportamento de paredes externas expostas à ação do choque térmico: método de ensaio.** São Paulo [198\_b].
- IOSHIMOTO, E. Incidência de manifestações patológicas em edificações habitacionais. **Tecnologia de Edificações** São Paulo, IPT, v.2, p.109-112, ago. 1985.
- IOSHIMOTO, E. et al. **Materiais cerâmicos de construção civil.** São Paulo: Escola Politécnica da USP [198\_] 23p.
- JAWOROSKI, H.C. **Estudo experimental em alvenaria estrutural: resistência à compressão e resistência de aderência.** Porto Alegre: Escola de Engenharia, 1990. 96p. Dissertação (Mestrado em Engenharia)- Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS.
- MACHADO, E.C.C.; FERREIRA, H.C. Características de azulejos fixados com argamassa e adesivo um estudo de correlação pelo método dos mínimos quadrados entre diversas propriedades. **Cerâmica,** 29, p.331-340, 1983.
- MASUERO, A.B. **Metodologia de avaliação do desempenho de sistemas destinados a pontes de aderência entre concreto fresco e endurecido.** Porto Alegre: Escola de Engenharia, 1993. 142p. Dissertação (Mestrado em Engenharia)- Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS.
- NANNI, L.F.; RIBEIRO, J.L. **Planejamento e avaliação de experimentos-** Caderno de Engenharia 17. Porto Alegre, UFRGS. 228p. 1987.
- OLMO, Cesar del et al. Morteros cola: características e condiciones de empleo. **Informes de la Construcción,** Madrid, n.342, p.41-48, 1982.
- POLISSENI, A.E. **Método de campo para avaliar a capacidade impermeabilizante de revestimentos de parede- Método do Cachimbo.** Porto Alegre: Escola de Engenharia, 1986. 140p. Dissertação (Mestrado em Engenharia)- Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS.

- PROJETO. **Revestimentos cerâmicos.** São Paulo: ANFACER, 1992. 50p. Caderno de especificações.
- PRÖPSTER, H. **Lesiones de solados y alicatados.** Barcelona: CEAC, 1980 100p. (Biblioteca de Arquitectura y Construcción).
- Barcelona: CEAC, 1983. 112p. (Biblioteca de Arquitectura y Construcción, 2).
- RAABE, A.L.; PETRUCCI, J.L.F. **Mecanismo de aderência e tipos de adesivos.** Porto Alegre: CPGEC/UFRGS, 1989. 77p.
- RANSON, W.H. **Building failures: diagnosis and avoidance.** London: E & F.N. Spon, 1981. 174p.
- RIPPER, E. **Como evitar erros na construção.** 2.ed. São Paulo: Pini, 1986.
- SAAD, D.; RAMIRES, M.V. **Durabilidade dos produtos cerâmicos.** Porto Alegre: CPGEC/UFRGS, 1990. 76p.
- SABBATINI, F.H. **Patologia das argamassas- aspectos físicos.** In: SIMPÓSIO NACIONAL DE TECNOLOGIA DA CONSTRUÇÃO, 1986, São Paulo. **Anais...** São Paulo, 1986. p.69-76.
- SANTOS, P.S. Porque azulejos e ladrilhos de piso se soltam. **Engenharia: Revista do Instituto de Engenharia**, n.297, p.34-39, mar. 1968.
- SANTOS, P.S.; FERREIRA, H.C. **Estudo comparativo de normas e especificações estrangeiras para azulejos cerâmicos: uma contribuição para o estabelecimento de uma especificação brasileira de azulejos cerâmicos.** São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1968. 74p.
- SATTLER, M.A. **Dias climáticos típicos para o projeto térmico de edificações em Porto Alegre.** Porto Alegre, 1989. (Boletim Técnico nº 9, CIENTEC).
- SELMO, S.M.S., LICHTENSTEIN, N.B. **Aderência no assentamento de azulejos: princípios teóricos e verificação experimental.** São Paulo: Escola Politécnica da USP, 1986. 75p.
- THOMAZ, E. **Trincas em edifícios: causas, prevenção e recuperação.** São Paulo: IPT/EPUSP/Pini, 1988. 194p.
- TRANSPORT de l'humidité dans les matériaux poreux. Bases theoriques. **Centre Scientifique et Technique de la Construction**, Paris, n.1, p.7-12, mars 1982.
- UEMOTO, K.L. **Falhas observadas em piso cerâmico vidrado.** In: INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. Divisão de Edificações. **Tecnologia de edificações.** São Paulo: Pini, 1988a. p.607-610.
- Patologia: danos causados por eflorescência. In: INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. Divisão de Edificações. **Tecnologia de Edificações.** São Paulo: Pini, 1988b. p.561-570.
- VERÇOZA, E.J. **Patologia das edificações.** Porto Alegre, SAGRA, 1991. 173p.