MARCELO MATSUSATO

**ESTUDO DO COMPORTAMENTO DE ARGAMASSAS COLANTES
COM ADITIVAÇÃO DE LÁTEX ACRÍLICO**

Dissertação apresentada à Escola Politécnica da
Universidade de São Paulo para obtenção do
título de Mestre em Engenharia

São Paulo

2007

MARCELO MATSUSATO

**ESTUDO DO COMPORTAMENTO DE ARGAMASSAS COLANTES
COM ADITIVAÇÃO DE LÁTEX ACRÍLICO**

Dissertação apresentada à Escola Politécnica da
Universidade de São Paulo para obtenção do
título de Mestre em Engenharia

Área de Atuação:

Engenharia de Construção Civil

Tecnologia e Gestão na Produção de Edifícios

Orientador:

Prof. Dr. Fernando Henrique Sabbatini

São Paulo

2007

Este exemplar foi revisado e alterado em relação à versão original, sob responsabilidade única do autor e com a anuência de seu orientador.

São Paulo, de agosto de 2007.

Assinatura do autor _____

Assinatura do orientador _____

FICHA CATALOGRÁFICA

Matsusato, Marcelo

Estudo do comportamento de argamassas colantes com aditivação de látex acrílico / M. Matsusato. -- ed.rev. -- São Paulo, 2007.

107 p.

Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Construção Civil.

1.Argamassa Colante 2.Revestimentos 3.Látex

I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Construção Civil II.t.

DEDICATÓRIA

Aos meus pais, Paulo e Tereza, pela educação para a vida

***Minha Esposa Sandra, pelo companheirismo, amor e
estímulo nesta etapa da minha vida***

***Ao meu filho Felipe, pelos momentos felizes
proporcionados e pela compreensão da minha ausência
durante esta fase***

***Ao meu irmão, Marcos, pelo companheiro e amigo de
ontem, hoje e sempre***

AGRADECIMENTOS

Esse trabalho não seria possível sem a orientação do Professor Fernando Henrique Sabbatini, como sempre, pelo ensinamento, dedicação, paciência e apoio. Meus sinceros agradecimentos e admiração.

Agradeço aos professores Antônio Figueiredo e Mércia pelas contribuições, críticas e apoio dados no exame de qualificação.

Um especial agradecimento ao Sr. José Chagas e Pedro Augusto, pelo apoio e amizade durante esse período de crescimento profissional e pessoal.

Paulo Colombo, meu muito obrigado pela ajuda na revisão, ensinamentos e amizade.

Aos colegas, Luiz Prado, Leonardo, Evande, Leandro, Edson Pedroso, Fernando, Marcos Madona, Luiz Carlos, Aline, Nathalie, Cláudia e Simone pelo convívio e pelas experiências compartilhadas.

Ao Rafael Mattge, pela dedicação e confiabilidade durante os ensaios realizados juntos.

Às empresas BASF, Clariant, Rohm and Haas, Osvaldo Cruz e Quimicryl pelas amostras concedidas.

Aos professores Luiz Sérgio Franco, Jonas Silvestre Medeiros, Francisco Cardoso, Silvio Burratino Melhado, Vanderley John, Ubiraci Espinelli Souza pelos ensinamentos e contribuição para minha formação.

Aos colegas Alexandre, Juan, Fernando, Fábila, Rodrigo, Max, Maurício, Gabriela, Renata, Carlos Borges e a todos que colaboraram direta ou indiretamente, na execução deste trabalho.

ESTUDO DO COMPORTAMENTO DE ARGAMASSAS COLANTES COM ADITIVAÇÃO DE LÁTEX ACRÍLICO

RESUMO

Os revestimentos cerâmicos aderidos têm grandes vantagens estéticas e funcionais e seu emprego no mercado nacional vem sendo crescente, sobretudo com o uso de placas de porcelanato. Essas vantagens somente se concretizam com uma adequada durabilidade e vida útil, o que não vem ocorrendo com esses revestimentos aplicados em bases sujeitas a deformações e ou movimentações, como o caso de fachadas.

Como camada de ligação entre o substrato e a placa cerâmica, as argamassas colantes apresentam papel fundamental para o revestimento cerâmico, tais como: suportar deformações e ou movimentações diferenciais, apresentar resistência mecânica duradoura e ter capacidade de aderir com segurança em qualquer substrato e placa cerâmica. O objetivo desse trabalho foi de estudar o comportamento de argamassas colantes com a aditivação de látex acrílico.

Foi realizado um estudo experimental comparativo entre argamassas colantes monocomponentes e argamassas colantes aditivadas com látex acrílico. Para verificar o comportamento que essa aditivação proporciona, foram realizados ensaios de resistência de aderência, flexibilidade, resistência à compressão, resistência à tração na flexão com determinação de módulo de deformação e tempo em aberto com placas de porcelanato.

Os resultados mostraram de uma forma geral que a aditivação de argamassas colantes proporcionam aumento significativo na flexibilidade. Ocorre melhora na resistência de aderência, resistência à compressão e resistência à tração na flexão e também na capacidade de absorver deformações com o aumento do teor de polímero/argamassa. A aderência em placas de baixa porosidade como o porcelanato é melhorada e o tempo em aberto de laboratório também é estendido para as argamassas modificadas com látex.

Palavras chaves: Argamassa Colante, látex acrílico, polímero, revestimento cerâmico

STUDY OF BEHAVIOR OF DRY SET MORTAR MODIFIED WITH ACRYLIC LÁTEX

ABSTRACT

The directed adhere ceramic tiles has aesthetic and functional advantages, and its use in the national market is increasing specially with the use along with porcelain tile.

These advantages can only be seen though, if the system has adequate durability and service live, which doesn't happen once it is applied on irreversible or cyclic movement basis as building façades.

As the clingy layer between the ceramic tile and the substrate, the tile adhesives have fundamental importance for the directed adhered ceramic tile, working on deformation and movements support capability, long-term durability mechanic resistance and safety and reliability to adhere on all type of substrates and ceramic tile.

The purpose of this work was to study the behavior of dry set mortar modified with acrylic latex.

An experimental study has been done, comparing dry set mortar to acrylic latex Portland cement mortar. To verify the behavior that the latex provides, the following tests were realized: tensile bond adhesion, deformability, compressive strength and tensile strength with deformation modulus and open time with porcelain tile.

The results showed in general, that the latex improved the flexibility of dry set mortar and the improvement of the tensile adhesion, compressive and tensile strength and deformability capacity by increasing the polymer/mortar content. The adhesion and open time in porcelain tile has been improved with latex portland cement mortar.

Keywords: latex Portland cement adhesives, acrylic latex, polymer, ceramic tile

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO	1
1.1 Objetivos	4
1.2 Metodologia	4
1.3 Justificativa	6
1.4 Estrutura da Dissertação	11
CAPÍTULO 2 - REVESTIMENTO CERÂMICO ADERIDO EM BASES SUJEITAS A MOVIMENTAÇÕES	12
2.1 Os revestimentos cerâmicos aderidos no contexto do edifício	12
2.1.1 BASE	14
2.1.2 PREPARO DA BASE E SUBSTRATO	16
2.1.3 CAMADA DE ASSENTAMENTO OU FIXAÇÃO	17
2.1.4 PLACAS CERÂMICAS	19
2.1.5 JUNTAS E DETALHES CONSTRUTIVOS	20
2.2 Durabilidade e vida útil dos Revestimentos Cerâmicos	23
2.2.1 O papel das argamassas colantes na durabilidade do Revestimento Cerâmico	25
2.3 Manifestações Patológicas de Revestimentos Cerâmicos devidas a falha na argamassa colante	29
CAPÍTULO 3 - ARGAMASSAS COLANTES MODIFICADAS COM POLÍMEROS	34
3.1 Normalização	38
3.1.1 Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT	38
3.1.2 American National Standards Specifications - ANSI	39
3.1.3 Comité Européen de Normalisation - CEN	41
3.1.4 Australian Standards - AS	42
3.2 Emulsões para aditivação de argamassas colantes	43
3.3 Propriedades das argamassas colantes modificadas com polímeros	47
3.3.1 Resistência mecânica	51
3.3.2 Resistência de aderência	52
3.3.3 Capacidade de absorver deformações	54
3.3.4 Desempenho de revestimento cerâmicos em pisos	60

CAPÍTULO 4 - PROGRAMA EXPERIMENTAL	62
4.1 MATERIAIS	62
4.1.1 Argamassa colante	62
4.1.2 Látex acrílicos e dosagem	63
4.1.3 Placas cerâmicas	64
4.2 PROCEDIMENTO DE ENSAIO	64
4.2.1 Ensaio de resistência de aderência à tração	65
4.2.2 Ensaio de flexibilidade	66
4.2.3 Ensaio de Tração na Flexão e Módulo de Deformação	68
4.2.4 Ensaio de tempo em aberto	72
CAPÍTULO 5 - APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS DO ESTUDO EXPERIMENTAL	73
5.1 Influência dos tipos de látex acrílicos na resistência de aderência e na flexibilidade de argamassa colante	73
5.2 Influência do látex no comportamento de flexibilidade de diferentes argamassas colantes	78
5.3 Influência da aditivação de argamassa colante nas resistências à compressão e à tração na flexão	80
5.4 Influência da aditivação no módulo de deformação à tração de argamassa colante	84
5.5 Influência da variação do teor de látex acrílico no comportamento de flexibilidade de argamassa colante	87
5.6 Influência da aditivação de argamassa colante na resistência de aderência em função do tempo de cura e do tipo de placa cerâmica	88
5.7 Influência da aditivação de argamassa colante na resistência de aderência à tração utilizando placas de porcelanato	89
5.8 Influência da aditivação de argamassas colantes no ensaio de tempo em aberto	90
5.9 Modificação na resistência de aderência à tração de argamassas colantes aditivadas em função do tipo de cura	91

CAPÍTULO 6- CONCLUSÕES	92
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	97
ANEXOS - RESULTADOS	106

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1.1 - Vendas de Revestimentos cerâmicos no mercado interno – ANFACER 2007	01
Figura 1.2 – Principais consumidores de revestimento cerâmico– ANFACER 2007	02
Figura 1.3 – Áreas de uso e Porcelanato – ANFACER 2007	02
Figura 1.4 – Revestimento de Fachada com Porcelanato na cidade de Recife (MARANHÃO; SILVA; MEDEIROS, 2006) .	07
Figura 1.5 – Tipos de movimentos estruturais (GOLDBERG, 1998)	08
Figura 1.6 – Rainier Tower – Seattle, Washington 1977. Porcelanato e Mosaicos aderidos em estrutura de concreto (GOLDBERG, 1998)	09
Figura 1.7 – Project-Office Building, Singapura (GOLDBERG, 1998) - Placas de mármore aderidas sobre argamassa e estrutura de concreto	10
Figura 2.1 - Assentamento de placa cerâmica diretamente sobre a base	15
Figura 2.2 - Vista de deslocamento de cerâmica em edifício residencial em São Paulo	29
Figura 2.3 - Vista de deslocamento de cerâmica em edifício comercial em São Paulo	30
Figura 2.4 - Deslocamento de placas cerâmicas em fachada (TEMOCHE-ESQUIVEL, 2002)	30
Figura 2.5 - Tensões entre substrato e placa cerâmica (URBAN, TAKAMURA; 2005)	31
Figura 3.1– classificação dos principais aditivos modificadores de argamassas e concreto – OHAMA, 1998	44
Figura 3.2 – Comportamento ao longo do tempo (y= ano) de argamassa modificada com látex (Teor de polímero/cimento = 20%). OHAMA (1998)	47
Figura 3.3 – Modelo simplificado da modificação das argamassas com látex e formação do filme de polímero – Ohama (1998).	48
Figura 3.4 – Resistência de Aderência variando o teor de látex FAB A na aditivação de argamassa colante AC II. (BARROS, 2003)	53
Figura 3.5 – Resistência de Aderência variando o teor de látex acrílico na aditivação de argamassa colante ACI. (BARROS, 2003)	54

Figura 3.6– Gráfico da distribuição de Tensão de Cisalhamento para uma argamassa colante rígida - Módulo de deformação de 1000N/mm ² (FELIXBERGER, 2006)	55
Figura 3.7 – Gráfico da distribuição de Tensão de Cisalhamento para uma argamassa colante flexível - Módulo de deformação - 100N/mm ² (FELIXBERGER, 2006)	56
Figura 3.8– Gráfico de flexibilidade e resistência à flexão de argamassas colantes monocomponentes disponibilizadas no mercado nacional. (SILVA, 2003)	57
Figura 3.9– Flexibilidade de argamassas colantes em função do teor polímero/materiais secos (URBAN e TAKAMURA, 2005)	58
Figura 3.10 – Comparativo de flexibilidade de argamassas aditivadas com polímeros com diferentes Tg (URBAN e TAKAMURA, 2005)	59
Figura 3.11 – Painel teste com argamassas colantes modificadas com látex acrílico (ZOOMUT, 2003)	61
Figura 3.12 – Painel teste com argamassa colante monocomponente sem modificação (ZOOMUT, 2003)	61
Figura 4.1- Ensaio de Resistência de Aderência à tração	66
Figura 4.2 - Ensaio de Flexibilidade baseado na EN 12002	67
Figura 4.3– Esboço do ensaio de flexibilidade [JUNGINGER, 2003]	67
Figura 4.4– Corte da placa para ensaio de tração na flexão nas dimensões estabelecidas de ensaio (200 x 75 x 10 [mm])	68
Figura 4.5 – Equipamento de ensaio e detalhe do captor de deformação	69
Figura 4.6 – Desenho esquemático do ensaio de tração na flexão de corpo de prova de argamassa (200 x 75 x 10 [mm])	70
Figura 4.7 – Exemplo de sequência de cálculos para obtenção do módulo corda de cada corpo de prova de argamassa.	71
Figura 4.8 – Vista do preparo do corpo de prova de tempo em aberto	72

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 5.1 – Gráfico de Resistência de Aderência em cura normal segundo NBR14084. ____	74
Gráfico 5.2– Gráfico do ensaio de Flexibilidade segundo EN12002 (CEN, 2003), mesma argamassa colante e variação de Látex _____	76
Gráfico 5.3–Gráfico comparativo Aderência e Flexibilidade _____	77
Gráfico 5.4– Ensaio de Flexibilidade sendo variável o tipo de argamassa colante e comparando água x látex _____	79
Gráfico 5.5– Gráfico do ensaio de resistência à compressão para argamassas colantes ____	81
Gráfico 5.6 – Gráfico do ensaio de resistência à tração na flexão para argamassas colantes	82
Gráfico 5.7– Curvas de ensaios de resistência à tração na flexão x deslocamento _____	83
Gráfico 5.8– Variação do módulo de deformação em função do teor polímero/argamassa e em função da secante _____	85
Gráfico 5.9 – Gráfico de flexibilidade com variação no teor de polímero. _____	87
Gráfico 5.10– Gráfico de resistência de aderência com diferentes tipos de placas e tempo de cura. _____	88
Gráfico 5.11– Gráfico de resistência de aderência com placas de porcelanato _____	89
Gráfico 5.12 – Influência da aditivação de argamassas colantes no tempo em aberto. ____	90
Gráfico 5.13 – Modificação na resistência de aderência de argamassas colantes aditivadas com látex em função do tipo de cura. _____	91

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1– Bases de revestimentos cerâmicos tradicionalmente empregados no Brasil	13
Tabela 2.2 – Camadas, componentes e materiais constituintes de Revestimento Cerâmico Aderido, tradicionalmente empregados no Brasil.	14
Tabela 2.3 - Tipos de Argamassa de Rejunte e requisitos mínimos	21
Tabela 2.4 – Seleção do tipo da argamassa adesiva de Revestimento Cerâmico de Fachada em função da área da placa, da altura do edifício e da deformabilidade da estrutura (MEDEIROS, 1999)	27
Tabela 2.5 – Recomendações para seleção de argamassa adesiva e técnica de colocação de Revestimento Cerâmico de Fachada em função da área da placa e da superfície de base. (MEDEIROS, 1999)	28
Tabela 3.1 – Classificação das argamassas colantes em função do teor de polímeros em pó/argamassa	37
Tabela 3.2 - Requisitos e critérios para argamassas colantes industrializadas segundo NBR 14081 (ABNT 2004a)	39
Tabela 3.3 – Critérios de avaliação da resistência de aderência ao cisalhamento (ANSI, 1999a, b)	40
Tabela 3.4 – Classificação de argamassas colantes cimentícias, segundo a norma EN12004 (CEN, 2001)	42
Tabela 3.5 – Especificação de uso de revestimento cerâmico em piso em função do desempenho alcançado no teste “Robyson-tester” (ZOOMUT, 2003)	60
Tabela 4.1:Características dos látex utilizados na pesquisa.	63
Tabela 5.1– Comparativo de látex no requisito de resistência de aderência.	74
Tabela 5.2 – Dados dos ensaios de flexibilidade com FA-A com variação de Látex	75
Tabela 5.3 – Dados dos ensaios de Flexibilidade com diferentes argamassas colantes amolentadas com água e 5% RA1.	78
Tabela 5.4 – Dados dos ensaios de resistência à compressão	81
Tabela 5.5 – Dados dos ensaios de resistência à tração na flexão	82
Tabela 5.6 – Dados de Módulo de deformação, obtidos a partir das secantes 5% - 30%, 10% - 50% e 70% - 85%	84

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

AC – Argamassa Colante

ANFACER – Associação Nacional dos Fabricantes de Cerâmica para Revestimento

ANSI – American National Standard Specifications

AS – Australian Standards

ASTM – American Society for Testing and Materials

CEN – Comité Européen de Normalisation

CV – Coeficiente de Variação

DP – Desvio Padrão

EN – Européen Normalisation

EVA – Etileno Vinil Acetato

HEC – Hidroetil celulose

NBR – Norma Brasileira Registrada

Tg – Temperatura de transição vítrea

TMFF – Temperatura Mínima de Formação de Filme

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

O emprego de revestimento cerâmico na construção civil é muito antigo. Há registros de uso como revestimentos de piscinas e paredes de banho romanos com mais de dois mil anos (MEDEIROS, 1999). O Brasil vem se destacando nos últimos anos como grande consumidor de revestimento cerâmico. Dados da Associação Nacional dos Fabricantes de Cerâmica para Revestimento - ANFACER mostram um consumo de cerca de 485,7 milhões de m² no mercado brasileiro em 2006 (figura 1.1), mantendo o Brasil como o segundo maior consumidor mundial de cerâmica (figura 1.2).

Figura 1.1 - Vendas de Revestimentos cerâmicos no mercado interno (ANFACER, 2007)

Figura 1.2 - Principais consumidores de revestimento cerâmico (ANFACER, 2007)

Além do crescimento de consumo de revestimento cerâmico no mercado interno, nos últimos anos os revestimentos cerâmicos empregados em edifícios têm apresentado mudanças significativas, destacando-se, por exemplo, o advento e crescimento de uso das placas de porcelanato que passou de cerca de 18 milhões de m² para cerca de 33 milhões de m² de 2004 a 2006, conforme figura 1.3 (ANFACER, 2007). Nota-se também o baixo valor de uso de revestimento cerâmico em fachadas, menos de 2%.

Figura 1.3 - Áreas de uso e Porcelanato – (ANFACER, 2007)

Entretanto, estas mudanças não foram acompanhadas de modo adequado pela tecnologia de projeto e aplicação dos revestimentos em edifícios. Essa idéia também é defendida por Cunha (2001) ao citar que *“tratar de um tema sobre assentamento de porcelanato em fachadas é, de certa forma, um pouco polêmico. As características técnicas dos porcelanatos, como a impermeabilidade, são complicadores para a aderência, tornando-se mais delicadas em fachadas, onde os deslocamentos podem provocar acidentes fatais. A principal problemática fica por conta das argamassas colantes que, com o desenvolvimento tecnológico atual, garantem com segurança, somente o assentamento de porcelanato em pisos. Por ser um momento de transição, surgem novas argamassas que tendem a garantir a fixação em fachadas.”*

Este descompasso entre a qualidade das placas e qualidade da argamassa também é apresentado por Almeida e Sichieri (2005) ao citar que a baixa absorção do porcelanato é a principal causa da perda ou falta de aderência entre o tardo do porcelanato e a argamassa colante, pois não permite o mecanismo de ancoragem mecânica existente nas cerâmicas porosas.

Soma-se a esse descompasso a alteração nos métodos construtivos em que se pode destacar:

- utilização de novos métodos construtivos que resultam em elementos mais deformáveis, como as vedações verticais de drywall, lajes de grandes vãos, estruturas mais esbeltas e edifícios cada vez mais altos.
- alvenarias de blocos com maior precisão dimensional, incentivando ao uso de assentamento cerâmico diretamente sobre a mesma, sem a utilização da camada de emboço.
- emprego de revestimentos cerâmicos diretamente sobre as lajes com abandono do uso de contrapiso, ou seja, abandono de uma camada com múltiplas funções, entre elas a de absorver deformações da base.
- peças cerâmicas com dimensões cada vez maiores e juntas entre peças cada vez menores.
- O uso de revestimentos cerâmicos de baixa absorção de água, e

conseqüentemente menor aderência mecânica, em locais sujeitos a choques térmicos e grandes variações de temperatura e umidade, como as fachadas.

As mudanças elencadas sugerem um novo cenário para as argamassas colantes, onde o desempenho de flexibilidade passa a ter uma importância maior. A quantificação e método de ensaio dessa flexibilidade passaram a ter, também, importância muito grande.

Visando o atendimento do desempenho esperado com essas mudanças na construção civil brasileira, o uso e a disseminação de *argamassas colantes flexíveis* vêm sendo adotados por empresas construtoras e têm sido divulgados no meio técnico como solução mais vantajosa para garantir adequada durabilidade e vida útil aos revestimentos cerâmicos sobre condições de bases mais deformáveis e sobre exposição externas. No entanto, o termo “flexível” vem sendo adotado pelo mercado sem que seja estabelecido requisito e critério universal para a adequada classificação e comparação dessa propriedade da argamassa colante, uma vez que, as normalizações nacionais, em contrapartida às normalizações internacionais, não abordam esse conceito.

1.1 Objetivos

Diante deste quadro, o principal objetivo deste trabalho foi o estudo do comportamento de argamassas colantes aditivadas com látex acrílico visando identificar e divulgar ao setor uma tecnologia alternativa mais adequada para assentamento de placas cerâmicas especiais em condições também especiais.

1.2 Metodologia

Para cumprir o objetivo proposto, o trabalho foi dividido em duas etapas principais. A primeira etapa envolveu um levantamento bibliográfico, enquanto na segunda etapa realizou-se um programa experimental envolvendo identificar propriedades no estado endurecido de revestimento cerâmico com argamassas colantes sem e com modificação de látex.

Através do levantamento bibliográfico que contou com o levantamento e a análise da bibliografia nacional e internacional, buscou-se sistematizar o estado da arte sobre as argamassas colantes modificadas com látex.

A pesquisa bibliográfica foi feita considerando-se as palavras chave relativa ao assunto, realizada na internet e nas bibliotecas da Escola Politécnica da USP (EPUSP), Instituto de Pesquisas tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT) e Associação Brasileira de Cimento Portland. Dessa forma, foi possível realizar uma revisão bibliográfica sobre as argamassas colantes modificadas com polímero com foco no potencial de melhoria de desempenho e no aumento da durabilidade e vida útil dos revestimentos cerâmicos.

Na segunda etapa da metodologia, ou seja, o programa experimental, a partir de informações preliminares levantadas na pesquisa bibliográfica, foram propostos ensaios em laboratório.

De forma mais específica, inserido no programa experimental, as seguintes avaliações foram realizadas:

- a) modificação no comportamento de flexibilidade e capacidade de absorver deformações de argamassas colantes aditivadas com látex acrílico;
- b) influência da aditivação no comportamento de resistência mecânica das argamassas colantes;
- c) comportamento das argamassas modificada com látex acrílico na aderência com placas de baixa porosidade, com as placas de porcelanato.

Portanto, no programa experimental, visando cumprir os objetivos estabelecidos, as seguintes variáveis foram definidas no planejamento experimental: tipo de argamassa colante, tipo de látex acrílico, teor látex acrílico/argamassa, tempo e tipo de cura e tipo de placa cerâmica. Os ensaios realizados foram de resistência de aderência à tração direta, resistência à compressão, resistência à tração na flexão com determinação do módulo de deformação, flexibilidade e tempo em aberto.

Finalmente, tomando-se como princípio os conceitos de vida útil¹ e mediante a avaliação dos resultados dos ensaios e das informações obtidas no levantamento bibliográfico, foi possível sistematizar o conhecimento reunido e fazer uma análise crítica da normalização nacional vigente frente às reais necessidades.

1.3 Justificativa

O uso de revestimento cerâmico apresenta uma série de vantagens estéticas e funcionais em ambientes sujeitos à ação de intemperismo como o caso de fachadas de edifícios. Essas vantagens aliadas à valorização do imóvel fazem com que haja uma certa demanda de revestimento cerâmico para as fachadas, que segundo a ANFACER (2007), vem sendo constante nos últimos anos. O não crescimento pode ser justificado pelas constantes falhas e problemas patológicos ocorrentes.

Segundo Maranhão; Silva e Medeiros (2006) na cidade de Recife, durante as últimas décadas, o revestimento cerâmico em fachada tornou-se a primeira opção para edifícios altos (acima de 20 pavimentos). Essa demanda é influenciada pela cultura local, valorização estética, baixo custo de manutenção e limpeza. Além disso, segundo esses autores o emprego de porcelanatos em fachadas tem sido constantes a partir de 1990. Na figura 1.4, são mostrados exemplos de edifícios em Recife que possuem revestimentos nestas condições.

¹ Vida útil (VU), será apresentado o conceito no capítulo 2.

Figura 1.4 - Revestimento de Fachada com Porcelanato na cidade de Recife (MARANHÃO; SILVA; MEDEIROS, 2006) .

Para Goldberg (1998), as vantagens estéticas, de flexibilidade de projeto, peso reduzido e custo de materiais em fachadas de edifícios com revestimentos cerâmicos aderidos, somente são viáveis com a aproximação do projeto à construção, que resulta em aumento do conhecimento para poder projetar de forma adequada essa tecnologia. Ainda segundo esse autor, dentre as principais considerações estruturais e de projeto a serem levados em conta, destacam-se:

- compatibilidade entre a argamassa colante com o substrato e com a placa cerâmica;
- estabilidade dimensional entre o revestimento cerâmico e a base;
- compatibilidade térmica e por expansão por umidade entre placa cerâmica e a base;
- capacidade da argamassa colante de absorver as movimentações diferenciais entre as placas cerâmicas e substrato.

Para atender essa última exigência esse autor afirma ainda que as argamassas colantes devem apresentar baixo módulo de elasticidade, ou seja, devem ser flexíveis para suportar as movimentações diferenciais entre as placas cerâmicas e a base/estrutura. Essas movimentações diferenciais são causadas pela ação simultânea, ou não, de mudanças na temperatura; expansão ou retração por umidade da placa cerâmica, base ou estrutura, ou carregamentos de ventos, conforme representado pela figura 1.5.

Figura 1.5 – Tipos de movimentos estruturais (GOLDBERG, 1998)

Dessa forma, Goldberg (1998) demonstra que existem edificações altas (acima de 20 pavimentos) com revestimento cerâmico aderido com mais de 30 anos em uso e, acima de tudo, esse revestimento mantém suas características de beleza e brilho como no dia de sua instalação, conforme ilustrado nas figuras 1.6 e 1.7.

No Brasil, não tem sido comum o uso de argamassas colantes modificadas com látex, podendo ser uma das causas de problemas patológicos de deslocamento de cerâmica em espaços de tempo bastante reduzidos. Conforme apresentado por Campante; Sabbatini (2000), constataram que 50,9% dos edifícios estudados apresentaram destacamento de placas cerâmicas nas fachadas antes dos 5 anos de uso. Estes fatos podem ser a explicação para um certo “abandono” do uso de cerâmica em revestimento de fachada por parte de algumas construtoras de grande porte de São Paulo, tendência também verificada por Temoche-Esquivel (2002).

Figura 1.6 – Rainier Tower – Seattle, Washington 1977. Porcelanato e Mosaicos aderidos em estrutura de concreto (GOLDBERG, 1998)

Para Goldberg (1998), as argamassas modificadas com látex são as mais indicadas para uso em revestimentos cerâmicos em fachadas e são as que apresentam melhor custo quando considerado o desempenho e durabilidade proporcionados. No entanto, assim como em argamassas colantes modificadas com pós redispersíveis, nem todos os aditivos látex são adequados para misturas com as argamassas colantes. O tipo e a quantidade de polímeros, assim como outras propriedades químicas, determinarão se o látex é apropriado para aplicações em fachadas. Ainda, segundo o autor, os látex mais apropriados são os acrílicos e os estirenos butadienos, sendo que é recomendado verificar a adequabilidade de cada um destes componentes quando empregados em argamassas para revestimento em fachadas.

Figura 1.7 – Project-Office Building, Singapura (GOLDBERG, 1998) - Placas de mármore aderidas sobre argamassa e estrutura de concreto

1.4 Estrutura da Dissertação

O trabalho realizado está estruturado em seis capítulos. No capítulo 1 é feita a introdução ao tema abordado, expondo os objetivos gerais e específicos, além da justificativa do estudo.

Os capítulos 2 e 3 constituem a revisão bibliográfica da dissertação. No capítulo 2 são descritos o sistema de revestimento cerâmico e os aspectos relevantes dos seus componentes. Além disso, nesse capítulo é discutido os conceitos de durabilidade, vida útil e desempenho do revestimento cerâmico e as princípios e fundamentos das manifestações patológicas devido as falhas na argamassa colante.

O capítulo 3 reúne informações sobre as argamassas colantes modificadas com polímeros, onde se faz uma reflexão sobre a normalização nacional atual frente às normalizações internacionais. Neste capítulo, destaca-se as emulsões utilizadas em argamassas modificadas com polímero e as principais propriedades proporcionadas por estas emulsões.

O programa experimental é detalhado no capítulo 4, identificando os materiais empregados e os métodos de ensaio.

O capítulo 5 é a apresentação dos resultados encontrados no programa experimental e as avaliações desses resultados.

Finalmente, no capítulo 6 são apresentadas as considerações finais do trabalho visando o objetivo estipulado na dissertação.

Ao final do trabalho são apresentadas as referências bibliográficas, as quais fundamentaram esta dissertação e anexo que a complementa com informações específicas.

CAPÍTULO 2

REVESTIMENTO CERÂMICO ADERIDO EM BASES SUJEITAS A MOVIMENTAÇÕES

Neste capítulo apresenta-se o sistema de revestimento cerâmico, contextualizando o objeto de estudo a argamassa colante modificada com polímero.

2.1 Os revestimentos cerâmicos aderidos no contexto do edifício

O edifício pode ser entendido como um sistema complexo, composto por vários subsistemas com funções distintas, mas que possuem relações intrínsecas entre si. Com o objetivo de estabelecer durabilidade e vida útil a esse sistema, pode-se dividi-lo em partes hierárquicas até o nível em que se consiga estabelecer funções e desempenho bem definidos. Pensando dessa maneira, pode-se realizar uma subdivisão hierárquica, feita pelo nível funcional de suas partes, obtendo-se na seqüência: os subsistemas, os elementos e os componentes.

Com essa classificação, os subsistemas são representados pela fundação, estrutura, vedações verticais e horizontais, cobertura, instalações prediais e cobertura.

Dentro do subsistema vedações está inserido o revestimento, com a função de auxiliar no adequado comportamento das vedações e, conseqüentemente, no edifício como um todo. Os revestimentos geralmente são constituídos de diversas camadas e executadas com o objetivo de atender importantes funções, tais como: proteção da edificação, auxílio nas funções das vedações (estanqueidade, conforto termo-acústico e segurança) e acabamento final.

Quando esse revestimento tem como camada de acabamento as placas cerâmicas, assentadas e rejuntadas com argamassas adesivas recebe o nome de *revestimento cerâmico aderido* ou simplesmente *revestimento cerâmico*, podendo ser empregado em ambientes internos ou externos e superfícies verticais ou horizontais.

Segundo Temoche-Esquivel (2002), o conceito genérico de **Revestimento Cerâmico**, refere-se então ao *conjunto multiestrato ou multicamada, cujo material de acabamento é um material cerâmico, e que como um componente de um edifício cumpre determinadas funções que contribuem ao bom desempenho do edifício*.

A tabela 2.1 e 2.2, adaptada de Medeiros (1999), apresenta os principais agentes, camadas e materiais constituintes dos revestimentos cerâmicos, de forma genérica.

Tabela 2.1 – Bases de revestimentos cerâmicos tradicionalmente empregados no Brasil

Agente	MATERIAIS CONSTITUINTES
BASE	Concreto Armado Alvenaria de Blocos Drywall (Chapas cimentícias, chapas de gesso acartonado)

Tabela 2.2 – Camadas, componentes e materiais constituintes de Revestimento Cerâmico Aderido, tradicionalmente empregados no Brasil.

CAMADA ou COMPONENTE	MATERIAIS CONSTITUINTES
PREPARO DA BASE	Chapisco (quando sobre alvenaria ou concreto na vertical) Ponte de Aderência – Boiaca (quando em vedação horizontal)
SUBSTRATO	Emboço (quando na vertical) Contrapiso (quando na horizontal)
ASSENTAMENTO OU FIXAÇÃO	Argamassa colante Argamassa colante modificada com polímero Pasta de Resina
CERÂMICA	Placa cerâmica
JUNTA DE ASSENTAMENTO	Rejuntas cimentícios Rejuntas a base de resina de reação (Epóxi)
COMPLEMENTOS	Selantes e limitadores de profundidade (juntas de movimentação) Telas metálicas para reforço de emboço

2.1.1 BASE

A base, constituída pela estrutura e vedação, embora não seja parte do sistema de revestimento, possui características que interferem diretamente no seu desempenho. Por exemplo, Fintel et al apud Hartog (2000) citam que em edifícios altos, o encurtamento total elástico e inelástico das colunas e paredes devido a cargas de gravidade e de contração pode chegar a alcançar 1 polegada / 80 pés de altura (equivalente a 1,04 mm / metro). A amplitude total de encurtamento acumulado dos pilares, sobre toda a altura da estrutura dos edifícios altos, tem importantes efeitos sobre os revestimentos. Estes efeitos podem ser limitados através de detalhes construtivos em cada pavimento que permitem aos elementos estruturais verticais se deformem sem produzir esforços significativos nos elementos não estruturais.

Outro nível de interferência da base no revestimento cerâmico ocorre quando, devido sua planicidade e com o objetivo de reduzir custos, algumas empresas construtoras eliminam a camada de substrato. Como exemplo, pode-se citar casos de cerâmicas assentadas diretamente sobre alvenaria de blocos (figura 2.1), onde nesta situação a economia imediata citada por Campante (2001) pode chegar a mais de R\$ 22,00/m² (R\$ 49,12/m²:Cerâmica sobre emboço – R\$ 26,88:cerâmica diretamente sobre alvenaria). Nesta situação é de fundamental importância que a argamassa de fixação seja capaz de absorver as tensões impostas pelas bases, pois estará substituindo uma camada de dissipação de tensão – o emboço. Esta técnica também é encontrada em revestimento cerâmico de pisos, onde as placas cerâmicas são assentadas diretamente na laje, com o abandono do uso de contrapiso.

Figura 2.1 - Assentamento de placa cerâmica diretamente sobre a base

Segundo Medeiros (1999), os casos de aplicação de revestimentos cerâmicos diretamente sobre a alvenaria são executados em outros países, onde normalmente é necessária a aplicação de membranas poliméricas reforçadas com véus de fibra de vidro ou poliéster, para prevenir a ocorrência de fissuras no paramento mais exterior e eventual penetração de água de chuva. Além disso, aplica-se uma camada de 1 a 2 mm de argamassa colante sobre a parede, para então aplicar a camada com cordões.

De acordo com Medeiros, Maranhão e Barros (2003), outra base que exige cuidados especiais são as paredes de chapas de gesso acartonado, pois existe carência de conhecimento no Brasil sobre os tipos de argamassas de fixação mais adequadas para o uso nesta base. Estes autores afirmam que por recomendação do CSTB² estas argamassas tenham aderência potencial melhorada e sejam flexíveis (tipo C2S2³) para o assentamento de placas cerâmicas com absorção abaixo de 0,5%, como no caso dos porcelanatos.

2.1.2 PREPARO DA BASE E SUBSTRATO

Segundo Candia (1998), a aplicação do chapisco consiste numa etapa importante denominada preparo da base, e sua execução depende das características superficiais da base. Para Selmo (1989), o chapisco é uma camada irregular obtida pela aplicação de uma argamassa de cimento e areia sobre uma base, com a finalidade de melhorar a aderência entre a base e o revestimento.

Dentre as principais funções do chapisco destacam-se o aumento da rugosidade superficial, uniformização da base quanto à absorção de água, e promoção de aderência adequada nas mais diferenciadas base (por exemplo alvenaria e estrutura).

O substrato, conforme descrito na tabela 2.1, pode ser ou um contrapiso, quando em superfície horizontal ou emboço em superfície vertical. Devido sua importância para tecnologia de revestimento já foram objeto de estudo de diversos pesquisadores como Sabbatini; Barros (1989); Selmo (1989), Maciel (1997).

Para Medeiros (1999) o substrato também exerce função importante no revestimento cerâmico, sendo a camada que contribui com a estanqueidade, proteção da base, regularização e dissipação das tensões da base ao revestimento cerâmico. Além disso, esse autor cita que essa camada deve apresentar adequada resistência de corpo e, principalmente, resistência superficial, considerando que muitos destacamentos de revestimento cerâmico são provenientes da interface entre o emboço com a argamassa colante.

² CSTB - (*Centre Scientifique et Technique du Bâtiment*) Cahier CSTB 3265

³ C2S2 – Classificação segundo a normalização europeia: 2=Melhorada; S2 = classificação de flexibilidade segundo a norma EN12004. Será apresentada no item 3.1.3.

Quanto às características das superfícies do substrato, Medeiros (1999) afirma que a prática e alguns resultados de ensaios demonstram que o acabamento de textura áspera do emboço de fachada, apenas sarrafeado, apresenta condições mais favoráveis para a fixação de placas cerâmicas com argamassas adesivas, sobretudo para aquelas que dependem de aderência mecânica. Entretanto, texturas muito ásperas podem, além de dificultar o espalhamento do material, influenciar negativamente na aderência.

2.1.3 CAMADA DE ASSENTAMENTO OU FIXAÇÃO

A camada de fixação é a camada responsável por unir e manter fixas as placas cerâmicas ao emboço, resistindo às tensões de tração e cisalhamento que ocorrem em ambas as interfaces: emboço-camada de fixação e camada de fixação-placa cerâmica.

Entre os materiais empregados para esta finalidade, encontram-se as argamassas tradicionais, as argamassas adesivas e os adesivos propriamente ditos. Sendo que a técnica mais empregada na fixação de placa cerâmica é com a utilização de argamassa colante industrializada, com vantagens para a produtividade e capacidade de se adequar às mais diferentes condições de exposição, substrato e placa cerâmica.

As argamassas colantes, objeto desse estudo, podem ser definidas segundo a NBR 14081 (ABNT, 2004a) como *produto industrial, no estado seco, composto de cimento Portland, agregados minerais e aditivos químicos que, quando misturado com água, forma uma massa viscosa, plástica e aderente, empregada no assentamento de placas cerâmicas para revestimento*.

Segundo Medeiros (1999), para efeito de classificação, os materiais adesivos destinados à fixação de placas cerâmicas podem ser divididos em dois grandes grupos, segundo o principal ligante empregado em sua composição: 1) de base cimentícia: argamassas dosadas em obra, argamassas adesivas ou argamassa colante e 2) de base não cimentícia: pasta de resina e resina de reação.

As argamassas dosadas em obra são aquelas produzidas a partir de uma mistura de cimento Portland, com adição ou não de cal hidratada e aditivos e areia. Estas argamassas prestam-se à aderência de materiais com superfícies porosas através do endurecimento do cimento Portland. Nestas argamassas ao se aumentar a quantidade de cimento para incremento de resistência de aderência, ocorre um aumento do potencial de retração na secagem durante o processo de endurecimento e da rigidez da argamassa endurecida. Além disso, sua capacidade de reter água é inferior às argamassas adesivas industrializadas. Estas argamassas foram bastante utilizadas no passado como assentamento de placas cerâmicas em alvenarias através das técnicas do “Bolão” e de camada grossa.

As argamassas adesivas industrializadas podem se apresentar como monocomponente, que necessita apenas de água para sua utilização e são chamadas, em inglês de *dry-set mortar* ou como bicomponente em 2 partes, sendo uma pulverulenta e outra na forma de dispersão aquosa e são denominadas de *latex-cement mortar*. As argamassas colantes modificadas com látex são o objeto deste estudo e serão analisadas nos capítulos 3 e 5.

As pastas de resinas, largamente utilizadas em outros países, são constituídas basicamente de adesivos poliméricos, principalmente as resinas vinílicas e acrílicas. Já as resinas de reação, são adesivos que possuem exigências superiores em relação à praticamente todos os demais tipos de materiais de fixação, sendo que o endurecimento ocorre através de reação química entre seus constituintes.

No Brasil, apenas as argamassas industrializadas monocomponentes, são objeto de normalização. As normas de especificação e métodos de ensaios vigentes são:

- **NBR 14081:2004 Argamassa colante industrializada para assentamento de placas de cerâmica – especificação - (ABNT, 2004a)**
- **NBR 14082:2004 Argamassa colante industrializada para assentamento de placas de cerâmica – Execução do substrato padrão e aplicação de argamassa para ensaios - (ABNT, 2004b)**

- **NBR 14083:2004 Argamassa colante industrializada para assentamento de placas de cerâmica – Determinação do tempo em aberto - (ABNT, 2004c)**
- **NBR 14084:2004 Argamassa colante industrializada para assentamento de placas de cerâmica – Determinação da resistência de aderência à tração - (ABNT, 2004d)**
- **NBR 14085:2004 Argamassa colante industrializada para assentamento de placas de cerâmica – Determinação do deslizamento - (ABNT, 2004e)**
- **NBR 14086:2004 Argamassa colante industrializada para assentamento de placas de cerâmica – Determinação da densidade de massa aparente - (ABNT, 2004f)**

2.1.4 PLACAS CERÂMICAS

As placas cerâmicas são componentes cujas dimensões (largura e altura) predominam sobre uma terceira (espessura), produzidas a partir de argilas e/ou outras matérias primas inorgânicas, conformadas através de extrusão (tipo A) ou prensagem (tipo B), sintetizadas por meio de processo térmico, e utilizadas como componente principal da camada mais externa de revestimentos cerâmicos de pisos e paredes. (MEDEIROS, 1999).

As normas nacionais para placas cerâmicas estão agrupadas em três conjuntos:

- **NBR 13816: Placas cerâmicas para revestimento: Terminologia (ABNT, 1997a)**
- **NBR 13817: Placas cerâmicas para revestimento: Classificação. (ABNT, 1997b)**
- **NBR 13817: Placas cerâmicas para revestimento: Especificação e Métodos de Ensaios.(ABNT, 1997c)**

Em resumo, as placas cerâmicas se classificam quanto a:

- a) acabamento (GL-esmaltadas e UGL-não esmaltadas);
- b) métodos de fabricação (A-extrudada, B-prensada, C-outros);
- c) grupos de absorção de água:

Grupos	Absorção de água (%)
Ia	$0 < \text{Abs} \leq 0,5$
Ib	$0,5 < \text{Abs} \leq 3,0$
IIa	$3,0 < \text{Abs} \leq 6,0$
IIb	$6,0 < \text{Abs} \leq 10,0$
III	Abs acima de 10,0

- d) classes de resistência à abrasão superficial, em número de 5;
- e) classes de resistência ao manchamento, em número de 5;
- f) classes de resistência ao ataque de agentes químicos, segundo diferentes níveis de concentração;
- g) aspecto superficial ou análise visual.

2.1.5 JUNTAS E DETALHES CONSTRUTIVOS

Segundo Ribeiro (2006) as juntas são espaços vazios executados entre elementos construtivos. Podem ser entre peças iguais e/ou entre diferentes tipos de materiais, sendo sua função Ainda segundo a autora, existem diversas denominações para os tipos de juntas utilizadas em fachadas. A norma NBR 13755 (ABNT, 1996) especifica quatro principais tipos de juntas:

- Junta de Assentamento (entre peças)
- Junta de movimentação (criando panos de peças para movimentação)
- Junta de dessolidarização (no encontro com diferentes elementos e panos de fachada)
- Junta estrutural (decorrente do projeto estrutural e que deve ser mantida em todas as camadas de revestimento)

Juntas de assentamento

As juntas de assentamento são aquelas existentes entre placas adjacentes de um revestimento modular e são assim chamadas por serem originadas durante o processo de assentamento dos componentes e são preenchidas por uma argamassa especial denominada rejunte.

Segundo a norma brasileira de requisitos e métodos de ensaios NBR 14992 (ABNT, 2003), pode-se definir a argamassa de rejunte como *mistura industrializada de cimento Portland e outros componentes homogêneos e uniformes, para aplicação nas juntas de assentamento de placas cerâmicas, classificada segundo o ambiente de aplicação e requisitos mínimos conforme tabela 2.3.*

Tabela 2.3 - Tipos de Argamassa de Rejunte e requisitos mínimos

Anexos	Método/propriedade	Unidade	Idade de Ensaio	Tipo I	Tipo II
B	Retenção de água	milímetro (mm)	10 min	≤ 75	≤ 65
C	Variação dimensional	milímetro por metro (mm/m)	7 dias	$\leq 2,00 $	$\leq 2,00 $
D	Resistência à compressão	Megapascal (MPa)	14 dias	$\geq 8,0$	$\geq 10,0$
E	Resistência à tração na flexão	Megapascal (MPa)	7 dias	$\geq 2,0$	$\geq 3,0$
F	Absorção de água por capilaridade aos 300 min	Grama por centímetro quadrado (g/cm^2)	28 dias	$\leq 0,60$	$\leq 0,30$
G	Permeabilidade aos 240 min	centímetros cúbicos (cm^3)	28 dias	$\leq 2,0$	$\leq 1,0$

Segundo Junginger (2003), o rejunte tem grande importância no desempenho do revestimento cerâmico. Assim, as funções mais importantes dos rejuntas podem ser enumeradas como:

- auxiliar no desempenho estético do revestimento;
- estabelecer regularidade superficial;
- compensar variação de bitola e facilitar assentamento das placas;
- vedar o revestimento cerâmico;
- permitir difusão de vapor de água;
- proporcionar alívio de tensões;
- otimizar aderência das placas.

Junginger (2003) ressalta que o rejunte é um componente do revestimento cerâmico que tem características basicamente estéticas e funcionais. Dependendo do caso de aplicação, algumas de suas funções podem sobrepujar em importância as demais. Por exemplo, esse autor ressalta que o alívio de tensões quando necessário é de extrema importância, fazendo com que o não cumprimento dessa função traga consequências prejudiciais ao revestimento cerâmico como um todo.

Juntas de movimentação

Segundo Ribeiro (2006), as juntas de movimentação são aberturas projetadas para permitir movimento e prevenir fissuras em um grande painel de material rígido. São juntas previstas nas estruturas, em revestimentos ou entre elementos construtivos para acomodar movimentos ou absorver tensões. Ainda segundo a autora, em revestimentos de fachadas, a principal função dessas juntas é a de minimizar a propagação de esforços aos sistemas com os quais se relaciona (estrutura, vedo, revestimento), controlando as tensões introduzidas neste sistema.

Complemento

Já os complementos são componentes que devem ser previstos em projeto, objetivando melhorar, de diversas formas, o desempenho do sistema de revestimento. No caso específico dos revestimentos cerâmicos de fachadas, os principais complementos compreendem as molduras e os reforços com telas metálicas.

2.2 Durabilidade e vida útil dos Revestimentos Cerâmicos

Segundo o British Standard Institute citado por Campante (2001) a durabilidade é definida como a habilidade de um edifício e suas partes de desempenhar suas funções requeridas ao longo de um período de tempo e sob influência de certos agentes.

Para Sabbatini (2006) a durabilidade do edifício e de suas partes é uma exigência econômica do usuário, pois está diretamente associada ao custo global do bem imóvel. A durabilidade de um produto se extingue quando ele deixa de cumprir as funções que lhe forem atribuídas, quer seja pela degradação que o conduz a um estado insatisfatório de desempenho, quer seja por obsolescência funcional. O período de tempo compreendido entre o início de operação ou uso de um produto e o momento em que o seu desempenho deixa de atender as exigências do usuário pré-estabelecidas é denominado vida útil.

Algumas definições importantes são encontradas no projeto de norma 02:136.01.001/01 (ABNT, 2006) que estabelece os requisitos gerais de desempenho de edifícios habitacionais de até cinco pavimentos, conforme descritas a seguir:

- ❖ **Desempenho:** Comportamento em uso de um edifício habitacional e dos sistemas que o compõe.
- ❖ **Durabilidade:** Capacidade da edificação ou do sistema conservar ao longo do tempo desempenho compatível com a utilização prevista no projeto, sob condições de instalação, operação e manutenção especificados.

- ❖ **Vida útil (VU):** Período de tempo durante o qual o sistema pode ser utilizado sob condições satisfatórias de segurança saúde e higiene. Esta ainda se subdivide-se em vida útil de projeto e vida útil residual.
- ❖ **Vida útil de projeto (VUP):** Período estimado de tempo, em que um sistema é projetado para atender os requisitos de desempenho estabelecido nesta Norma, desde que cumprido o programa de manutenção previsto no manual de operação, uso e manutenção.
- ❖ **Vida útil residual:** Período de tempo, contado após a vida útil de projeto, em que o sistema apresenta decréscimo continuado de desempenho em função do uso e/ou do envelhecimento natural.
- ❖ **Vida total:** Período de tempo que compreende a vida útil de projeto, a vida útil residual e uma sobrevida na qual passa a existir a possibilidade de que os níveis de segurança comecem a ser perigosamente afetados.
- ❖ **Exigências do usuário⁴:** Exigências de caráter humano, expressas de forma qualitativa em relação ao comportamento em uso da edificação habitacional.

Segundo Sabbatini (2006), para que a VUP estabelecida para as partes que compõem o edifício habitacional possa ser atingida é necessário que sejam atendidos simultaneamente todos os seguintes aspectos:

- a) emprego de componentes e materiais de qualidade compatível com a VU projetada;
- b) execução com técnicas e métodos que possibilitem a obtenção da VU projetada;
- c) cumprimento em sua totalidade dos programas de manutenção corretiva e preventiva;
- d) atendimento aos cuidados pré-estabelecidos para se fazer um uso correto do edifício;
- e) utilização do edifício em concordância ao que foi previsto em projeto.

⁴ Exigência do usuário: [conjunto de necessidades do usuário do edifício habitacional a serem satisfeitas por este \(e suas partes\) de modo a que cumpra as suas funções.](#) (SABBATINI, 2006)

2.2.1 O papel das argamassas colantes na durabilidade do Revestimento Cerâmico

Segundo Almeida (2005), estabelecer critérios para avaliar o desempenho de uma edificação, ou um subsistema integrante desta é uma tarefa bastante complexa, pois depende também do desempenho dos materiais e componentes que constituem os diversos sistemas de uma construção.

Sendo assim, para se estabelecer o desempenho de um revestimento cerâmico, devem ser estabelecidas suas funções como um todo e em seguida estabelecer as funções de cada componente de forma isolada, com isso, podem-se determinar as propriedades que cada componente deve exercer para garantir ao revestimento como um todo adequada durabilidade e vida útil.

Sabbatini, Barros (1990) e Campante (2001) concordam que as principais funções de um revestimento cerâmico de fachada são:

- Proteger os elementos de vedação dos edifícios;
- Auxiliar as vedações no cumprimento de suas funções, tais como: isolamento térmico e acústico e estanqueidade à água e aos gases;
- Regularizar a superfície dos elementos de vedação;
- Servir como acabamento final, cumprindo funções estéticas, de valorização econômica e as relacionadas com o uso do edifício.

Para atender essas funções, Sabbatini e Barros (1990) listam em seu trabalho algumas propriedades importantes dos revestimentos cerâmicos de fachadas que devem ser levadas em consideração:

- resistência mecânica;
- deformabilidade e capacidade de absorver deformações;
- resistência à ação de agentes químicos, físicos e biológicos;
- estanqueidade e higroscopicidade e;
- facilidade de limpeza e higienização, dentre outras tais como: cor textura, rugosidade, reflexividade, de conforto visual, etc.

Campante (2001) observa que estas mesmas propriedades estariam relacionadas com os requisitos de desempenho que são esperados dos revestimentos cerâmicos de fachada. No entanto, para que estes possam atender aos requisitos propostos, este autor cita que outras condições devem ser consideradas, tais como: o clima a que o revestimento será exposto, a estrutura e natureza do edifício que será revestido, o local onde será aplicado o revestimento, bem como a existência de algumas condições especiais de uso. Além disso, é importante considerar também, o desempenho de cada um dos componentes que compõem o elemento.

Sendo assim, pode-se elencar as seguintes características como as de maior importância para as argamassas colantes:

- capacidade de aderência;
- retenção de água, indicada pelo tempo em aberto e pelo tempo de ajuste;
- propriedades hidrófugas;
- resistência térmica;
- resistência ao ciclo de congelamento e descongelamento;
- resistência a excessivas deformações da base de apoio;
- resistência ao fogo e;
- flexibilidade

Segundo Urban e Takamura (2005), testes realizados em institutos e pesquisas internacionais (TNO Institute, Netherlands; Technische Universitaet Hannover, Norwegisches Bauforschungsinstitut) provam que é de fundamental importância que as argamassas colantes tenham suficiente deformabilidade e um certo grau de plasticidade. Somente desta forma, podem ser garantidas a durabilidade e funcionalidade do sistema de revestimento cerâmico ao longo do tempo.

Para Medeiros (1999) o meio ambiente e as condições de exposição às quais os revestimentos cerâmicos estão submetidos são fatores que sempre devem ser considerados para seleção do material de assentamento ou fixação. Este autor afirma ainda que os aspectos funcionais dos revestimentos determinam também a escolha do material de fixação e o emprego desse de forma incompatível com as condições de uso podem trazer problemas de durabilidade e altos custos de manutenção e recuperação. Dessa forma, o autor sugere nas tabelas 2.4 e 2.5 critérios e recomendações para seleção de argamassas colantes para fixação das placas cerâmicas.

Tabela 2.4 – Seleção do tipo da argamassa colante de Revestimento Cerâmico de Fachada em função das área da placa, da altura do edifício e da deformabilidade da estrutura (MEDEIROS, 1999)

	ÁREA DA PLACA CERÂMICA (cm ²)					
	S ≤ 100		100 ≤ S ≤ 300		300 ≤ S ≤ 900	
ALTURA DO EDIFÍCIO	< 28 m	> 28 m	< 28 m	> 28 m	< 28 m	> 28 m
ESTRUTURA RÍGIDA	N	D	D	R	R	F
ESTRUTURA POUCO DEFORMÁVEL	D	D	R	R	F	F
ESTRUTURA DEFORMÁVEL	D	R	R	F	F	F

Observações:

- Como referência, sugere-se a adoção do seguinte critério para caracterizar o tipo de argamassa quanto a capacidade de deformação (flexibilidade) e aderência (os percentuais entre parênteses indicam o consumo de resina em relação à massa de cimento):

- N – Normal (pelo menos 1,5 % de pó redispersível);
- D – Deformável (pelo menos 2,5% de pó redispersível);
- R – Resiliente (acima de 5% de látex com teor de sólidos ativos de 50%)
- F – Flexível (acima de 10% de látex com teor de sólidos ativos de 50%)

Tabela 2.5 – Recomendações para seleção de argamassa colante e técnica de colocação de Revestimento Cerâmico de Fachada em função da área da placa e da superfície de base.
(MEDEIROS, 1999)

	Área da Placa Cerâmica (cm ²)	
TIPO DE BASE / TÉCNICA	≤ 900	900 ≤ S ≤ 2400
CONCRETO	Argamassa modificadas com látex ou bicomponentes	
EMBOÇO (porosidade média a alta)	Argamassas adesivas de alto desempenho ou monocomponentes	Argamassa modificadas com látex ou bicomponentes
EMBOÇO (porosidade baixa)	Argamassa modificadas com látex ou bicomponentes	
ESPESSURA DA CAMADA	5 mm	5 a 10 mm
TÉCNICA DE APLICAÇÃO	COLAGEM SIMPLES	DUPLA COLAGEM

2.3 Manifestações Patológicas de Revestimentos Cerâmicos devidas a falha na argamassa colante

Nos revestimentos cerâmicos de fachadas as manifestações patológicas podem ser entendidas como situações nas quais, em determinado momento da sua vida útil, deixam de apresentar o desempenho esperado, ou seja, não mais cumprem funções para as quais foram projetados, deixando de atender às necessidades dos usuários. (CAMPANTE, 2001)

Urban e Takamura (2005) afirmam que as argamassas colantes deverão ser capazes de absorver as tensões que ocorrem entre a placa cerâmica e o substrato/base de forma a prevenir problemas, sendo que os problemas mais típicos são as fissuras e deslocamento da cerâmica. As figura 2.2 a 2.4 ilustram problemas de deslocamento de cerâmica em fachada.

Figura 2.2 – Vista de Deslocamento de Cerâmica em Edifício Residencial em São Paulo

Figura 2.3 – Vista de Desplacamento de Cerâmica em Edifício Comercial em São Paulo

Figura 2.4 – Deslocamento de placas cerâmicas em Fachada (TEMOCHE-ESQUIVEL, 2002)

Continuando a linha de raciocínio, Urban e Takamura (2005), afirmam que movimentos diferenciais irreversíveis, como a retração, sempre causam tensão entre a placa cerâmica e o substrato (concretos novos sempre estarão submetidos à retração). Movimentos reversíveis da base como vibrações e movimentos térmico devido aquecimento e esfriamento também são provocadores de tensão entre o substrato, argamassa colante e cerâmica. O diferente módulo de elasticidade das cerâmicas e do substrato também provoca tensão na argamassa colante. A figura 2.4 mostra esquematicamente estes fenômenos.

Figura 2.5 – Tensões entre substrato e placa cerâmica (URBAN e TAKAMURA; 2005)

O caráter cíclico deste fenômeno, ao lado da ocorrência de choques térmicos, quando se tem uma redução brusca na temperatura e se induz a uma retração dimensional, que é extremamente diferente tanto em função dos materiais de origem diferentes, como das massas de cada um deles, podem ser apontados como sendo um dos mecanismos de degradação mais influentes no destacamento de revestimento cerâmico de fachadas. Na verdade, a destruição progressiva de ligações físicas entre as placas cerâmicas e a camada de fixação, que promovem a aderência entre elas, pelo fenômeno da fadiga, está na origem de diversos casos de destacamentos. CAMPANTE (2001)

Além das deformações citadas acima Akiama; Medeiros e Sabbatini (1997) incluem a deformação imposta pela deformação lenta da estrutura e afirmam que essas movimentações geram tensões internas no material e em suas interfaces que podem exceder a resistência de aderência e a resistência mecânica intrínseca de cada camada do revestimento cerâmico, ocasionando as manifestações patológicas de deslocamento.

De acordo com MEDEIROS (1999), tensões internas que não provocariam fissuras nas alvenarias podem provocá-las nos revestimentos cerâmicos de fachadas, em virtude do módulo de deformação mais elevado, quando comparado ao das alvenarias (50 GPa x 3,5 GPa), o que tornam estas últimas, materiais muito mais deformáveis.

Segundo Hartog (2000), o Instituto Real Australiano de Arquitetos publicou uma nota de advertência de uma página em dezembro de 1991 intitulada “Falhas de revestimento cerâmico de parede”. Identificaram nove causas de movimento diferencial entre cerâmica, camada de argamassa colante e substrato que incluíam a deformação da estrutura principal e contração do concreto, com destaque para argamassa colante inadequada. A nota também mencionou a utilização de juntas não compressíveis, materiais de rejuntas rígidos e juntas entre placas muito estreitas como possíveis causas de falhas no revestimento cerâmico.

Conclui-se, portanto, a importância da capacidade de deformação de argamassas de fixação, de rejuntas e dos materiais utilizados nas juntas de movimentação/controle na dissipação das tensões originadas no substrato, evitando que estas se propaguem até as camadas exteriores dos Revestimento cerâmico de fachadas; motivos apontados por McLarem apud Campante (2001), para propor o incremento ao uso de materiais poliméricos flexíveis como argamassas colantes modificadas com látex em fachadas externas.

Fato ocorrente é o desaparecimento, no mercado, de materiais e técnicas que apresentam problemas patológicos e que reaparecem com novas indicações, após terem seus defeitos esquecidos. Hartog (2000) cita um caso ocorrido em 1999 na cidade de Sidney, Austrália, de deslocamento de mosaico de vidro cuja patologia foi atribuída à utilização de um adesivo sensível à água. Esse material colocado em uma piscina externa da cidade apresentou falhas antes do processo de rejuntamento e a causa foi identificada como um material de colagem à base de polivinilacetato (PVA), que se inchava formando um gel branco com aproximadamente seis vezes seu volume inicial seco, depois de dois dias em contato com a água. A partir da avaliação deste caso, o autor também pode identificar que incidentes parecidos já tinham ocorrido na Austrália nos anos 60 com peças de mosaico importados aderidas a uma malha com adesivo que se dissolviam ou se inchavam quando se reumedeciam. Rapidamente se reconheceu que o adesivo nas peças não era apropriado para uso em condições de imersão permanentes e umidade freqüente. Desse modo, esse autor conclui que o conhecimento nem sempre é transferido, além do que as pessoas nem sempre aprendem com os erros.

CAPÍTULO 3

ARGAMASSAS COLANTES MODIFICADAS COM POLÍMEROS

Segundo Cunha (2001) a fixação de cerâmica nas fachadas pelo método de colagem evoluiu consideravelmente desde os tempos das primeiras fachadas com azulejos: passou do uso de argamassas preparadas no local, para as argamassas com dosagem industrializada e também com o surgimento das argamassas aditivadas, permitindo maiores resistências, trabalhabilidade, flexibilidade e garantia de uniformidade em toda a extensão do revestimento e permitindo um controle de qualidade na execução mais eficaz. No entanto, ainda segundo o autor, peças cerâmicas diferenciadas, como o porcelanato, trazem a necessidade de tecnologias direcionadas especificamente para suas características e somente se consegue melhoria de aderência química nestas peças com a utilização de argamassa colante modificada com polímero.

Segundo Almeida e Sichieri (2005), a argamassa modificada com polímeros tem sido objeto de estudo em diversas pesquisas no Brasil e em outros países, constatando-se que estas adições podem melhorar significativamente as propriedades de compósitos de cimento Portland, entre os quais se destacam as argamassas para assentamento de revestimento cerâmico. Estes autores estudaram a influência da cura na aderência entre argamassas com adições poliméricas e placas de porcelanato, evidenciando o aumento da resistência de aderência com cura normal e

tempo em aberto maior com a adição de polímeros.

As argamassas colantes ou argamassas adesivas são argamassas com a função específica de permitir a aderência de componentes cerâmicos às mais diversas bases. Existe no mercado uma grande diversidade de argamassas colantes com tipos e características diferenciadas. A seleção da argamassa colante em função das exigências de desempenho deve ser feita sob o ponto de vista técnico levando-se em conta as características da base, do revestimento e as condições de utilização. (AKIAMA; MEDEIROS E SABBATINI, 1997).

A adição de 4% de emulsão acrílica a uma argamassa colante de mercado foi estudada por Lordsleem et al. (1997), sendo que esses autores constataram que para essa argamassa modificada com polímero houve um incremento na resistência de aderência em mais de 100%.

Akiama; Medeiros e Sabbatini (1997) estudaram a flexibilidade de argamassas realizando ensaios conforme as recomendações da UEAtc⁵, e identificaram em termos gerais que a flexibilidade das argamassas colantes é nitidamente crescente na seguinte ordem:

- 1) Argamassas colantes comuns;
- 2) Argamassas modificadas com polímero em pó (deslocamento médio de 5 mm);
- 3) Argamassas adesivas modificadas com látex (deslocamento médio de 10 mm).

Os resultados dos experimentos realizados por estes autores mostraram que adições de polímeros de 4 a 8% são determinantes na obtenção de argamassas flexíveis, sendo significativas as diferenças existentes entre estas dosagens, tendo-se obtido os melhores resultados para as argamassas modificadas com dispersões acrílicas, seguidos dos estirenos-butadienos e finalmente dos látices vinílicos.

⁵ UEAtc – Union Européenne pour L'agrément Technique dans la Construction - O Método de ensaio UEAtc é similar ao proposto pela norma europeia EN12002/2003 que consiste na determinação do deslocamento de uma placa de argamassa com 3 mm de espessura. Será detalhado melhor no capítulo 4 – Programa Experimental

Riunno e Murelli (1992), concluem em seu trabalho que o termo *argamassa flexível* estava sendo utilizada pelos fabricantes de argamassas colantes monocomponentes de forma equivocada, pois após ensaios de flexibilidade realizados por esses autores, essas argamassas apresentaram baixo valor de flexibilidade quando comparada às argamassas bi-componentes. Ainda segundo esses autores, as argamassas monocomponentes ensaiadas não eram apropriadas para uso em áreas úmidas ou para uso externo e concluíram que as argamassas modificadas com látex acrílicos eram decididamente, os materiais mais apropriados para assentamento de placas cerâmicas em pisos e em áreas externas.

Infelizmente, esse conhecimento não está difundido no Brasil, cuja norma NBR 14081 (ABNT, 2004a), indica como argamassa apropriada para assentamento de pisos e paredes internos ou externos a argamassa colante monocomponente tipo AC II, que é caracterizada pela resistência de aderência (superior a 0,5 MPa em três condições de cura) e tempo em aberto de laboratório (acima de 20 minutos). Além disso, também no Brasil alguns fabricantes de argamassas colantes divulgam essas argamassas como *argamassas flexíveis* sem mencionarem qual critério ou método de ensaio foi adotado para classificá-las como flexíveis.

Silva (2003) após ensaios de resíduos em peneira, constatou que argamassas colantes classificadas como ACIII apresentam maior teor de materiais que passam pela peneira 0,075 mm, caracterizado pelo maior teor de aglomerante, visando apenas atender a exigência de resistência de aderência estabelecida pela norma brasileira. Ainda segundo o autor, após ensaio de perda de massa a 450°C, as argamassas do tipo ACI apresentaram perdas entre 0,30% a 0,43%; as argamassas do tipo ACII apresentaram perdas entre 1,03% a 1,61% e as argamassas do tipo ACIII apresentaram perdas entre 1,86% a 1,98%, concluindo que estes valores se assemelham aos teores de aditivos praticados pelos fabricantes.

Conforme afirmação acima, as argamassas colantes monocomponentes disponibilizadas no mercado não poderiam ser classificadas como flexíveis segundo o critério de Urban e Takamura (2005) que classificam as argamassas colantes em 5 categorias, em função do teor em massa de polímeros em pó⁶/argamassa. A tabela 3.1 resume essa classificação.

Tabela 3.1 – Classificação das argamassas colantes em função do teor de polímeros em pó/argamassa

Classificação	Teor de Polímero em pó / Argamassa	Principais características
Muito Simples	0%	Fixação puramente mecânica, não atende aos critérios das normas americanas (ANSI ⁷) podendo ser utilizada somente em placas cerâmicas pequenas e com alta absorção. O substrato deve apresentar-se dimensionalmente estável, sólido e não apresentar qualquer movimentação ou retração.
Simples	1% a 1,5%	Atendem aos critérios da norma ANSI A 118.1 (ANSI, 1999a) e alguns critérios das normas européias, podendo ser empregada na fixação de placas cerâmicas de média porosidade e de pequenas dimensões.
Padrão	1,5% a 3%	Atendem aos critérios da norma ANSI 118.4 e da maioria dos critérios da norma européia – classificação C1, podendo ser empregada na fixação de placas porosas de grandes dimensões em substratos estáveis.
Flexível	5% a 8%	Garantia de um bom desempenho, boa adesão em qualquer tipo de cerâmica e substrato.
Super Flexível	Acima de 8% até 25%	Empregada para fixação de placas de baixa absorção, com grande durabilidade e confiabilidade. Com placas de qualquer formato, mesmo se o substrato apresentar algum grau de retração ou expansão, incluindo também outros tipos de movimentações, como vibrações.

⁶ Ao citar polímeros em pó, os autores se referem aos EVA e Acrílicos em pó. Não consideram os retendores de água.

⁷ ANSI - American National Standards Specifications, será descrito no item 3.1.2.

3.1 Normalização

Os requisitos e critérios das argamassas colantes já foram objeto de estudo de diversos pesquisadores, tais como Póvoas (1999), Silva (2003), Oliveira (2004). No entanto, é pertinente uma análise comparativa dos requisitos e critérios das normas nacionais comparados aos de normas internacionais, principalmente no que diz respeito ao emprego dos polímeros em dispersão (látex ou dispersão).

3.1.1 Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT

A atual NBR 14081 (ABNT, 2004a) trata apenas de argamassa colante industrializada à base de cimento Portland, especificando três classes (ACI, ACII e ACIII), indicadas pela sigla AC (Argamassa Colante), e os números (I, II, III) em função da resistência de aderência à tração e do tempo em aberto. A última revisão dessa norma acrescentou que cada uma das classes podem ser classificadas em ACI-E, ACII-E ou ACIII-E, quando o tempo em aberto for aumentado em no mínimo 10 minutos.

Em resumo, os requisitos especificados pela ABNT são o tempo em aberto de laboratório; a resistência de aderência à tração nas condições de cura ao ar, submersa e em estufa e o deslizamento, que apresenta um critério comum para todas as classes de argamassa, conforme tabela 3.2. Na última revisão foi aumentado o valor de deslizamento admissível que passou a ser de 0,7 mm (antes era de 0,5 mm).

Tabela 3.2 - Requisitos e critérios para argamassas colantes industrializadas segundo NBR 14081 (ABNT 2004a)

Propriedade	Método de Ensaio	Unidade	Argamassa Colante Industrializada		
			I	II	III
Tempo em Aberto	NBR 14083	min	≥ 15	≥ 20	≥ 20
Res. de Aderência a 28 dias em:	NBR 14084				
cura normal		MPa	≥ 0,5	≥ 0,5	≥ 1,0
cura submersa em água		MPa	≥ 0,5	≥ 0,5	≥ 1,0
cura em estufa		MPa	-	≥ 0,5	≥ 1,0
Deslizamento	NBR 14085	mm	≤ 0,7	≤ 0,7	≤ 0,7

Vale lembrar que segundo a NBR 14081 (ABNT, 2004a) na definição de argamassa colante consta apenas a mistura da argamassa colante em pó com água, diferentemente da norma EN 12004 (CEN, 2001) que também contempla a possibilidade de misturar o componente pó com látex.

3.1.2 American National Standards Specifications - ANSI

As normas americanas tratam das argamassas à base de cimento. Essas são divididas em duas normas, sendo a norma A118.1 (ANSI, 1999a) para as argamassas do tipo comum, denominado de ***dry set mortar***, empregado apenas com a adição de água e a norma A118.4 (ANSI, 1999b) para as argamassas modificadas com polímero, denominada ***Látex-Portland cement mortar***, referindo-se às argamassas com polímeros incorporados na forma de látex – bicomponente ou pós redispersíveis.

Para ambos os tipos são especificados os requisitos para a resistência de aderência ao cisalhamento com cura nas condições ambiente e imersa em água, o tempo em aberto de laboratório, o tempo de pega, o tempo de correção, o deslizamento e coesão imediatamente após o assentamento e a resistência à compressão somente para a argamassa modificada com polímero.

Quanto aos critérios, a norma A118.4 estabelece as mesmas exigências para as argamassas monocomponentes ou bicomponentes somente nos requisitos de tempo de pega, tempo em aberto teórico, tempo de correção e deslizamento.

Por outro lado essa norma estabelece diferentes critérios de resistência de aderência ao cisalhamento⁸ para as argamassas monocomponentes e modificadas com polímero, ou seja, para uma mesma condição de ensaio e cura, os critérios são sempre maiores para as argamassas modificadas com polímero conforme mostra a tabela 3.3. Além disso, essa norma é a única que também diferencia os critérios em função do tipo de absorção da placa cerâmica de ensaio, por exemplo, para mesma argamassa colantes e mesma condição de cura, os critérios para placas cerâmicas de absorção entre 0 a 0,5% é de 1,0 MPa e para placa cerâmica de absorção 14±2% o critério passa a ser de 1,4 MPa.

Tabela 3.3 – Critérios de avaliação da resistência de aderência ao cisalhamento (ANSI, 1999a, b)

Especificação	Condições de cura (tempo em dias)			tipo de argamassa	Absorção da Placa Cerâmica	Critério (MPa)
	AMBIENTE	SUBMERSA	ESTUFA			
A118.1 e A118.4	4 h	-	-	pega rápida	0 a 0,5	0,3
					<= 5	
	48 h	-	-	modificada	14±2	0,7
	1	7	-	comum	0 a 0,5	1,0
				modificada		1,4
				comum	<= 5	0,4
				modificada		0,7
				comum	14±2	1,4
				modificada		2,1
	1	7	7	comum	0 a 0,5	0,7
				modificada		1,0
				comum	14±2	1,0
				modificada		1,4
	1	28	-	comum	0 a 0,5	1,0
				modificada		1,4
				comum	<= 5	0,7
				modificada		1,0
				comum	14±2	1,7
				modificada		2,1
	1	84	-	comum	0 a 0,5	1,0
				modificada		1,4
				comum	<= 5	0,7
				modificada		1,0
				comum	14±2	1,7
				modificada		2,1

⁸ A ANSI não estabelece como requisito o ensaio de resistência de aderência à tração direta, substituindo pelo ensaio de aderência ao cisalhamento.

3.1.3 Comité Européen de Normalisation - CEN

A norma europeia EN12004 (CEN, 2001) apresenta três tipos de classificação para as argamassas colantes:

- Argamassa colante cimentícia (C): Mistura de aglomerantes hidráulicos, cargas minerais e aditivos orgânicos, que somente ***precisam acrescentar água ou látex*** pouco antes de seu uso;
- Pastas de resinas (D): Mistura de aglomerante orgânico em forma de polímero em dispersão aquosa, aditivos orgânicos e cargas minerais, que se apresentam pronto para uso;
- Resinas de reação (R): Mistura de resinas sintéticas, aditivos orgânicos e cargas minerais cujo endurecimento resulta de uma reação química. Estão disponíveis em forma de um ou mais componentes.

Assim como na norma brasileira, os requisitos estabelecidos por esta norma para argamassas base cimentícia são a resistência de aderência à tração com cura ambiente, em estufa e imersa, tempo em aberto de laboratório e deslizamento. Vale ressaltar que os critérios adotados são similares entre essa norma e a norma brasileira com valores mínimos de 0,5 MPa e 1,0 MPa; no entanto, a norma europeia utiliza placas cerâmica com absorção menor que 0,2% ou seja, empregam porcelanatos e no Brasil utilizam placas com absorção de 3% a 5%, ou seja, tipo BIIa.

Além desses requisitos a norma EN12002/2003 (CEN, 2003) estabelece um método de ensaio para avaliar a flexibilidade das argamassas colantes, classificando-as em duas categorias, a primeira denominada de S1 (flexível) corresponde às argamassas cujo resultado de deformação transversal de uma placa de argamassa colante de 300 x 45 x 3 mm é entre 2,5 a 5 mm e a segunda categoria denominada de S2 (muito flexível) para deformações superiores a 5 mm.

Diferentemente da norma brasileira, conforme mostra o resumo da tabela 3.4, essa norma não determina o uso da argamassa colante, mas sim diferencia por código as propriedades particulares.

Tabela 3.4 – Classificações de argamassas colantes cimentícias, segundo a norma EN12004 (CEN, 2001)

União Europeia	EN 12004	C – argamassas à base de cimento	C1	desenvolvimento normal de resistência
			C1F	desenvolvimento rápido de resistência
			C1T	desenvolvimento normal de resistência e redução de deslizamento
			C1FT	desenvolvimento rápido de resistência e redução de deslizamento
			C2	melhorada com características adicionais
			C2E	melhorada com tempo em aberto estendido
			C2F	melhorada com desenvolvimento rápido de resistência e características adicionais
			C2TE	melhorada com características adicionais, redução de deslizamento e tempo em aberto estendido
			C2FT	melhorada com desenvolvimento rápido de resistência, redução de deslizamento e tempo em aberto estendido

3.1.4 Australian Standards - AS

A norma Australiana, AS 2358 da Australian Standards (1990) define basicamente dois tipos de argamassas colantes:

- argamassa colante com base orgânica – argamassa colante ou argamassa adesiva que pode ser disponibilizada como monocomponente ou mistura bicomponente, cujo principal agente de colagem é um material orgânico.
- argamassa colante com base cimentícia – argamassa colante cujo principal agente de colagem é um cimento hidráulico, por exemplo, cimento Portland, **modificado pela inclusão de outras misturas** essenciais para atingir satisfatoriamente a ligação entre placas cerâmicas ou mosaicos com as bases de parede e/ou piso.

Os principais requisitos dessa norma são as resistências de aderência ao cisalhamento com cura ambiente, imersa, submetidas à cura de 5 ciclos de imersão em água (1,5 h em água + 22,5 h em ambiente) e ciclo de envelhecimento acelerado com cura ambiente por 28 d + 5 ciclos de uma semana cada com imersão em água por 15 min e em estufa por 23,75 h. As exigências de resistência de aderência ao cisalhamento mínimo para essas argamassas após o envelhecimento passa de 1,0 MPa para 0,3 MPa. Essa diminuição no critério pode ser explicado pela perda de aderência por processo de fadiga.

Além dos ensaios de resistência de aderência ao cisalhamento, essa norma contempla resistência à tração direta, módulo de elasticidade ao cisalhamento, manchamento e proliferação de fungos.

3.2 Emulsões para aditivação de argamassas colantes

De acordo com Isenburg e Vanderhoft apud Zoumut (1993) em meados de 1920 os látices à base de borracha natural foram utilizados como aditivos de argamassas. Esses látices foram designados para melhorar a resistência química e a adesão sobre superfícies não porosas e de difícil colagem. A emulsão adicionada também melhorava o processo de hidratação das argamassas cimentícias.

Conforme Ohama (1998) os látices ou dispersões poliméricas consistem em partículas pequenas (0,05 a 5 μm de diâmetro) estas são geralmente dispersas em água e originadas no processo de polimerização em emulsão. São geralmente classificados em função das cargas elétricas das partículas, que é determinado pelo tipo de surfactante usado na produção: catiônico (cargas positivas), aniônico (cargas negativas) e não-iônicos (sem cargas). Em geral, os látices utilizados como modificadores de argamassa, são sistemas de copolímeros de dois ou mais diferentes monômeros, e o total de sólidos incluindo polímeros, emulsificadores, estabilizadores são cerca de 40 – 50 % em massa. (OHAMA, 1998).

Ainda segundo esse autor, esses polímeros modificadores de argamassa podem ser classificados em quatro principais tipos: látex ou dispersão polimérica, polímeros em pós redispersíveis, polímeros solúveis em água (monômeros) e resinas de reação. A figura 3.1 apresenta a classificação dos principais aditivos modificadores de argamassa.

Figura 3.1 – classificação dos principais aditivos modificadores de argamassas e concreto – (OHAMA, 1998)

Segundo Zoumut (1993), há três principais tipos de polímeros que podem contribuir para a flexibilidade de argamassas e rejantes que são empregados em revestimentos cerâmicos:

- 1) EVA – Copolímero de Etileno Vinil Acetato: disponível na forma de pós redispersível;
- 2) SBR – Copolímero de Estireno Butadieno: disponível na forma de emulsão;
- 3) Resina Acrílica – Disponível na forma de emulsão ou pós redispersíveis.

Também para Urban e Takamura (2005), os copolímeros de Etileno vinil acetato (EVA) são os polímeros em pós redispersíveis mais predominantemente usados em argamassas colantes monocomponentes. Recentemente os pós redispersíveis de acrílicos estirenos, acrílicos tradicionais e copolímeros de estirenos butadienos têm adquirido uma fatia deste mercado. Por outro lado, nos sistemas de argamassas bicomponentes, que combinam uma mistura de argamassa de cimento com dispersão polimérica, os tipos de polímeros mais empregados são os látices acrílicos, estirenos acrílicos e emulsões poliméricas de SBR. O benefício do uso de polímero de acrílico estirenado comparado aos acrílicos tradicionais é devido o aumento de hidrofobicidade, que, por sua vez, melhoram a resistência à umidade e à alcalinidade.

Para Kardon (1997) as principais características e propriedades físicas que influenciam o comportamento dos polímeros em sistemas cimentícios são: 1) tipo e quantidade de ligações cruzadas entre as cadeias poliméricas, o que permite a classificação do polímero em elastomérico, termoplástico ou termofixo; 2) temperatura de transição vítrea (T_g)⁹; e 3) temperatura mínima de formação de filme (TMFF)¹⁰. Sendo a TMFF, geralmente, um pouco inferior à T_g .

Segundo Silva (2001), a TMFF deve ser adequada às condições de exposição do material. Se for superior à temperatura do sistema durante seu endurecimento, as partículas dos polímeros não terão mobilidade suficiente, não coalescerão e não haverá a formação de filme. Neste caso as partículas poliméricas atuarão como filler na mistura, podendo a resistência mecânica e durabilidade serem prejudicadas.

Além disso, Ohama (1998) acredita que o polímero deve ser resistente a álcalis, já que o pH da água que preenche os poros de materiais à base de cimento é básico, e deve ter alta estabilidade química na presença de cátions extremamente ativos, como são os íons CA^{2+} e Al^{3+} liberados durante a hidratação do cimento.

⁹ Temperatura de transição vítrea (T_g): temperatura ou faixa de temperatura acima da qual os materiais poliméricos passam de um estado rígido, vítreo, a um estado elastomérico. (SILVA, 2001)

¹⁰ Temperatura mínima de formação de filme (TMFF): mínima temperatura na qual as partículas poliméricas de um látex têm mobilidade e flexibilidade suficientes para coalescer em um filme contínuo (OHAMA, 1998).

Para Silva (2001), alguns polímeros quando misturados com o cimento podem resultar na formação de compostos que venham a sofrer degradação ou que prejudiquem o desempenho das argamassas colantes quando expostas a condições normais de serviço, tais como grandes variações de temperatura e umidade, saturação freqüente, elevadas tensões e deformações etc.

Segundo Akiama, Medeiros e Sabbatini (1997) as resinas celulósicas são usadas como retentores de água e plastificantes, enquanto as resinas vinílicas, acrílicas e estirenos são empregados principalmente para melhorar a aderência e aumentar a capacidade de absorver deformações das argamassas colantes.

Em geral, outros ingredientes podem ser adicionados durante e após a polimerização para melhorar as características do produto final (o látex), tais como estabilizantes, antiespumantes, biocidas, antioxidantes e protetores U.V. Os látices modificadores de argamassas de cimento comercializados encontram-se prontos para mistura, sem a necessidade de adicionar agentes antiespumantes, porque, em geral, já os contêm em sua formulação (GODOY, 1999).

No trabalho apresentado por Ohama (1998), dentre os látex, os que se destacam são os acrílicos, EVA e SBR, sendo que os polímeros à base de PVAc (Poli vinil acetato) não são muito empregados devido a sua baixa resistência à água (hidrólise) e manutenabilidade de suas características ao longo do tempo. Conforme mostra na figura 3.2 em curtas idades (menos de 1 ano) a resistência mecânica de argamassas com aditivação de PVAc são superiores às argamassas sem polímeros, no entanto, esta última acaba apresentando um acréscimo enquanto às argamassas modificadas com PVAc apresentam uma queda significativa.

Figura 3.2 – Resistência à flexão ao longo do tempo de argamassa modificada com látexes (Teor de polímero/cimento = 20%). (OHAMA, 1998)

3.3 Propriedades das argamassas colantes modificadas com polímeros

As argamassas modificadas com polímeros têm suas propriedades alteradas tanto no estado fresco como no estado endurecido. Ohama (1998) afirma que com a adição de polímeros, modificam-se as propriedades de trabalhabilidade, incorporação de ar, retenção de água, segregação, resistência ao desgaste, resistência mecânica, deformabilidade, retração de secagem, estanqueidade entre outros. Afirma ainda que estas propriedades são afetadas pelo teor polímero-cimento, tipo de polímero, características dos substratos, métodos de ensaio e condições de aplicação.

Figura 3.3 – Modelo simplificado da modificação das argamassas com látex e formação do filme de polímero (OHAMA, 1998).

Ohama (1998) destaca que a aditivação de polímeros em emulsão em argamassas aumenta a resistência de aderência quando comparadas às argamassas convencionais. Sendo que, para determinadas condições de ensaio, os resultados em relação à resistência de aderência apresentaram-se melhor quando utilizadas as emulsões de Éster poliacrílico (PAE), seguido dos Poli acetato de vinila-etileno (EVA) e Estirenos-butadienos (SBR), para teores de 10% e 20 % em relação à massa de cimento.

Como modificadores de argamassas para assentamento e rejuntamento de placas cerâmicas, Zoumut (1993) verificou que as partículas de látex interagiram com o cimento, areia e agregados, formando uma matriz polimérica semicontínua na argamassa. Esse filme polimérico reduziu a evaporação de água da argamassa, fazendo com que a argamassa deixasse de ter uma cura prematura. Outro benefício da adição de látex foi o melhor desempenho da argamassa frente à ação de água e estabilidade em situações de gelo/degelo, resultando na diminuição da probabilidade de queda de cerâmica e fissuras. Ainda segundo o autor a adição de látex na argamassa também aumentou a durabilidade do revestimento ao promover flexibilidade nas argamassas modificadas resultando em uma argamassa que se expandia e contraía minimizando o movimento diferencial com a estrutura ou base.

Segundo Urban e Takamura (2005), a aditivação de polímeros promove uma ampla melhoria no desempenho das argamassas colantes, incluindo melhoria de resistência de aderência, resistência à água, flexibilidade, resistência ao impacto, resistência ao gelo/desgelo e trabalhabilidade. Os polímeros ainda ajudam na promoção de adesão química em bases de difícil aderência mecânica, como a madeira e placas cerâmicas vitrificadas ou porcelanatos.

Riunno e Murelli (1992) analisaram a microestrutura das matrizes de cimento e polímero através de uma série de métodos (termogravimetria, difração por raio x, microscopia de eletrônica por varredura, fluorescência por raio x e espectografia de infravermelho) e conclui que:

- a) Os látices cobrem melhor os grãos de cimento e areia através de um filme fino e contínuo;

- b) Os pós redispersíveis analisados permaneceram como componentes discretos na matriz de cimento;
- c) A porosidade das argamassas dosadas com a resina acrílica foi extremamente reduzida;
- d) O estireno-butadieno ocupou uma posição intermediária entre os pós redispersíveis e o látex acrílico, sendo que o látex acrílico apresentou-se mais flexível de 3 a 4 vezes em relação aos pós redispersíveis para dosagens entre 3,5 e 7% (teor polímero/cimento);
- e) Quanto menor a dosagem de látex, menor a formação de filme e menor o desempenho da argamassa

Almeida (2005) realizou ensaios de aderência, tempo em aberto, deslizamento, deformação transversal e resistência a flexão, concluindo que a composição de uma argamassa com 5% de sílica ativa e 20% de látex acrílico sobre o peso de cimento foi a formulação que melhor atendeu aos requisitos imprescindíveis para colagem de porcelanato.

Lavelle (1988), avaliou as argamassas com látex acrílico e concluiu que as mesmas mantêm as características de resistência de aderência sob condições úmidas ou secas. Este autor destacou a resistência ao amarelecimento do acrílico quando há exposição aos raios ultravioleta, sendo que, para aplicações exteriores, esta última característica é uma vantagem deste aditivo sobre os demais.

Chew (1999) realizou um estudo experimental comparativo com a aditivação de látex acrílico em argamassa cimentícia e avaliou o efeito da exposição à temperatura durante e após a aplicação de revestimento cerâmico, sendo observado melhorias significativas no desempenho de aderência com a substituição de 50% da água de amassamento por látex acrílico com 35% de teor de sólidos.

3.3.1 Resistência mecânica

O estudo apresentado por Almeida (2005), indica que a resistência à compressão de uma argamassa colante dosada com 5% ou 10% de sílica ativa é crescente com o aumento de teores de polímero acrílico de 5% a 20% (em relação ao peso do cimento). A autora apresentou justificativa pelo fato de que para maiores quantidades de látex, foi adicionada quantidade inferior de água para garantir uma mesma trabalhabilidade, ocasionando, portanto aumento da resistência à compressão. Por outro lado, outra dosagem de argamassa colante sem a adição de sílica e sem polímero apresentou maior valor de resistência à compressão quando comparado a argamassa sem sílica e com 20 % de polímero em relação ao peso de cimento, segundo a autora essa perda de resistência pode ser justificada pelo teor de ar incorporado.

No estudo realizado por Godoy (1999), a resistência à compressão de argamassas modificadas com látex acrílico estirenado apresentou duas características distintas:

- a) em argamassas com traço de 1:3 (cimento:areia), houve queda da resistência à compressão com o aumento do teor polímero/cimento de 5% e 10%, sendo justificado pela incorporação de ar causado pela adição de polímero.
- b) em argamassa com traço de 1:5 (cimento:areia), houve aumento da resistência à compressão com o aumento do teor polímero/cimento de 5% e 10%, desta vez a justificativa foi de que houve uma diminuição da influência dos tensoativos sobre a hidratação do cimento.

Segundo Ohama (1984) apud Godoy (1999), de maneira geral, as argamassas modificadas com polímero têm uma resistência mínima para uma relação polímero/cimento entre 5 e 10% e é crescente essa resistência até valores entre 20 a 30%, acima da qual a resistência pode ser reduzida pois os polímeros em excesso causam descontinuidades na microestrutura.

Segundo Godoy (1999) o aumento da relação polímero/cimento proporciona uma considerável redução na relação água/cimento, para uma mesma consistência, o que contribui muito para o aumento das resistências mecânicas, na maioria dos sistemas modificados com polímeros. Ainda segundo esse autor, não é possível generalizar a modificação do comportamento de argamassas com adição de polímeros, uma vez que diferentes trabalhos apresentam resistências mecânicas ora crescente com o aumento do teor de polímero/cimento ora decrescente. Sendo assim, esse autor conclui que seria necessário um estudo abrangente, isto é, com um número maior de marcas comerciais e diferentes polímeros, ou em contrapartida, avaliar cada caso em separado.

3.3.2 Resistência de aderência

A resistência de aderência pode ser definida como um conjunto de forças que estabelecem a união entre duas superfícies em contato. Ela exerce um papel de grande importância para a durabilidade dos revestimentos, merecendo destaque uma vez que as tensões mais significativas que provocam problemas de desprendimento concentram-se entre as placas cerâmicas e a camada de fixação.

Segundo Medeiros (1999), nas argamassas colantes a capacidade de aderência pode ser otimizada pela adição de polímeros elastoméricos que proporcionam também adesão química aos substratos. Ainda segundo esse autor, em placas cerâmicas de baixa absorção a adesão (fenômeno químico) torna-se essencial, pois ocorre naturalmente um decréscimo substancial na aderência mecânica.

A adesão química ocorre através da ação de forças eletrostáticas entre as moléculas do adesivo e as moléculas dos materiais a serem unidas. Neste fenômeno, essencialmente superficial, surgem as ligações químicas iônicas e covalentes. Estas ligações, caracterizadas pelo compartilhamento de elétrons entre os materiais, são de valência primária e consideradas muito potentes (Ohama, 1998).

Sendo assim, Medeiros (1999) conclui que no caso das argamassas aditivadas com polímeros, a quantidade ou concentração de polímero é determinante para produzir os efeitos desejados. Essa pode ser a razão pelos valores abaixo da recomendação da norma nacional encontrados por Silva (2003), pois o teor de polímeros encontrados nas argamassas monocomponentes testadas também foram inferiores às recomendações de especialistas como Medeiros (1999) e Urban e Takamura (2005).

Pode-se dizer, baseado na figura 3.4 apresentada por Barros (2003) que nem sempre o aumento do teor de polímero/argamassa colante promove melhor desempenho de aderência. É preciso que haja ótima compatibilidade dos constituintes da argamassa com o polímero e vice-versa. Nesta situação a aditivação de argamassa colante apresentou muita variação nos resultados, ora aumentando, ora diminuindo seu valor de resistência de aderência. Já na figura 3.5, houve um incremento na resistência de aderência até as dosagens de 70% - percentual de polímero em relação à quantidade de água necessária para a mistura (quando do rompimento no substrato padrão).

Figura 3.4 – Resistência de Aderência variando o teor de látex FAB A na aditivação de argamassa colante AC II. (BARROS, 2003)

Figura 3.5 – Resistência de Aderência variando o teor de látex acrílico na aditivação de argamassa colante ACI (BARROS, 2003).

Medeiros (1999) afirma que a manutenção da aderência ao longo do tempo é também um fator que merece destaque. Argamassas com elevada capacidade de aderência e baixa deformabilidade podem perder aderência por fadiga devido aos ciclos repetitivos de expansão e contração e à deformação lenta das estruturas de concreto armado. Fato esse contemplado nos requisitos da norma AS 2358 da Australian Standards (1990).

3.3.3 Capacidade de absorver deformações

Entende-se que a capacidade de absorver deformação é a principal propriedade que uma argamassa deve apresentar para que esta cumpra o papel de garantir ao revestimento cerâmico a vida útil projetada. Bucher e Nakamura (1995) afirmam que as tensões de cisalhamento e tração imposta ao revestimento cerâmico ocorrem devido a deformações termo-higrométricas do substrato, expansão por absorção de umidade e dilatação térmica do revestimento cerâmico e a retração por secagem da própria argamassa colante.

Em estudo recente, Felixberger (2006) desenvolveu uma expressão matemática que demonstra a máxima tensão de cisalhamento no comportamento do revestimento cerâmico em função de diversas variáveis:

- Movimento relativo entre placa cerâmica e substrato;
- Características das juntas entre cerâmicas;
- Módulo de deformação ao cisalhamento da argamassa colante;
- Características dimensionais da placa cerâmica (comprimento, largura e espessura);
- Diferentes espessuras da camada de argamassa colante;

No que diz respeito ao desempenho do revestimento cerâmico, neste estudo realizado por Felixberger (2006), quanto menor for o módulo de deformação ao cisalhamento da argamassa colante, menor será a tensão solicitada ao revestimento cerâmico. Por exemplo, considerando um comportamento elástico, a redução no módulo da argamassa colante de 1.000 para 100 N/mm², proporciona uma redução significativa nas tensões internas, conforme mostram as Figura 3.6 e 3.7.

Figura 3.6 – Gráfico da distribuição de Tensão de Cisalhamento para uma argamassa colante rígida - Módulo de deformação de 1000N/mm² (FELIXBERGER, 2006)

Figura 3.7 – Gráfico da distribuição de Tensão de Cisalhamento para uma argamassa colante flexível - Módulo de deformação - 100N/mm^2 (FELIXBERGER, 2006)

Para Felixberger (2006) e Urban e Takamura (2005), as tensões de cisalhamento entre o substrato e a placa cerâmica normalmente se concentram na zona periférica das placas cerâmicas conforme observado nas figuras 3.7 e 3.8. Ainda segundo Urban e Takamura (2005), quanto maior a placa cerâmica, mais alta deverá ser a flexibilidade da argamassa colante para evitar as fissuras ou problemas patológicos de deslocamento.

Para Felixberger (2006), o uso de argamassas colantes modificadas com polímeros é especialmente vantajoso no caso de fixação de peças grandes, em bases novas, no caso de instalações em pisos radiantes ou no caso de superfícies sujeitas à incidência forte de radiação solar.

Segundo Porcar (2006) existe consenso entre os especialistas que a deformabilidade de argamassas colante está diretamente relacionada ao teor de polímero adicionada e ao grau de hidratação atingida. No entanto, vários fabricantes de argamassas colantes monocomponentes adotam baixos teores de polímeros em sua composição, levantando um questionamento da reprodutibilidade e repetibilidade do ensaio estipulado pela norma EN12002 (CEN, 2003).

Ensaio de flexibilidade com argamassas colantes nacionais foram realizados por Silva (2003) e comprovam o baixo valor de flexibilidade mesmo para as argamassas AC II e AC III que no mercado nacional são citadas como argamassas flexíveis. A figura 3.8 é a representação gráfica dos dados de flexibilidade obtidos em seu trabalho.

Figura 3.8 – Gráfico de flexibilidade e resistência à flexão de argamassas colantes monocomponentes disponibilizadas no mercado nacional. (SILVA, 2003)

Polímeros leves (baixo T_g) exibem melhores desempenhos de deformação em relação a polímeros pesados (alta T_g). Formulações usuais de argamassas colantes com teores abaixo de 5% relativo ao total de sólidos, têm limitações na deformabilidade. (PORCAR, 2006).

Também para Urban e Takamura (2005), a flexibilidade ou capacidade de absorver deformações das argamassas colantes depende do teor de polímero/cimento. Através de ensaio de flexibilidade de acordo com a norma EN12002, estes autores demonstraram que aumentando o teor de polímero/cimento, aumenta a flexibilidade das argamassas colantes, conforme figura 3.9.

Figura 3.9 – Flexibilidade de argamassas colantes em função do teor polímero/materiais secos (URBAN e TAKAMURA, 2005)

Ainda segundo Urban e Takamura (2005), após completa hidratação do cimento, polímeros “leves” (baixa temperatura de transição vítrea, T_g) irão desempenhar melhores resultados quando comparados a polímeros com alta T_g , especialmente se usados ou testados em temperaturas baixas, conforme mostra a figura 3.10.

Conforme relatado por PORCAR (2006) depoimentos de fabricantes de argamassas monocomponentes, questionam a reprodutibilidade do ensaio de flexibilidade segundo a EN12002, no entanto, estes fabricantes adotam baixos teores de polímeros/cimento e, além disso, estes não podem garantir os mesmos teores devido ao seu processo de industrialização, podendo ser a razão para diferentes resultados. Esse autor cita também a experiência de sucesso da empresa Building Adhesives Ltd com mais de 40 anos, cujas argamassas colantes modificadas com

látex são indicadas para qualquer tipo de superfície e em revestimentos sujeitos a altas vibrações.

Figura 3.10 – Comparativo de flexibilidade de argamassas aditivadas com polímeros com diferentes Tg (URBAN e TAKAMURA, 2005)

Para Riunno e Murelli (1992), após ensaios realizados pelo método UEAtc. (atual EN 12002) envolvendo produtos monocomponentes descritos como flexíveis, apenas uma parcela, entre 15% a 20% da amostragem apresentou maior flexibilidade do que as argamassas modificadas com polímero. Portanto, os autores concluíram que as pastas de resinas, as argamassas com resina de reação e as argamassas aditivadas com látex deveriam ser as únicas designadas realmente “flexíveis” por apresentarem uma vantagem clara de flexão em relação às argamassas colantes monocomponentes.

3.4 Desempenho de revestimento cerâmico em pisos

Zoumut (1993), descreve a realização do teste de desempenho proposto pela ASTM C627¹¹, recomendado pela TCA (Tile Council of America) para especificação de argamassas colantes e rejuntas para os mais diversos usos de pisos, conforme apresentado na tabela 3.5. Este teste consiste em submeter uma placa de *plywood*, revestida com peças cerâmicas de 2 x 2" e rejuntamento de 1/8" a um dispositivo (Robyson –tester), composto de uma carruagem de 150 libras, com base em forma de triângulo equilátero, com três rodas eqüidistantes (uma em cada ponto do triângulo). O dispositivo permite o carregamento de pesos auxiliares sobre cada roda. As rodas podem ser de borracha macia, borracha dura ou aço e são substituíveis conforme se aumenta o nível ou ciclo de exigência, ver tabela 3.5. Além disso, o dispositivo contempla medidores de deformação, contador de revolução e timer. As figuras 3.11 e 3.12 também exemplificam este dispositivo e seus resultados.

Tabela 3.5 – Especificação de uso de revestimento cerâmico em piso em função do desempenho alcançado no teste “Robyson-tester” (ZOOMUT, 2003)

Ciclo	Tipo de Roda	Total de peso por roda (lb)	Número de revoluções por ciclo	Nível de desempenho
1	borracha mole	100	900	Residencial: Cozinhas, Banhos, Terraços, etc (passam nos e ciclos)
2	borracha mole	200	900	
3	borracha mole	300	900	
4	borracha dura	300	900	Comercial de baixo uso: Escritórios, recepção, cozinhas, banheiros, etc (passam nos 6 ciclos)
5	borracha dura	100	900	
6	borracha dura	200	900	
7	borracha dura	300	900	Comercial de uso normal e Institucional de uso baixo em espaço público de restaurantes e hospitais (passam nos 10 ciclos)
8	borracha dura	300	900	
9	aço	50	450	
10	aço	100	450	Shopping Centers, Lojas, cozinhas comerciais e áreas de trabalho. (passam nos 12 ciclos)
11	aço	150	450	
12	aço	200	450	
13	aço	250	450	Uso de alto impacto e pesados, como plantas industriais de alimentação, praças de alimentação (passam nos 14 ciclos)
14	aço	300	450	

¹¹ ASTM C627 – Standard Test Method for Evaluating Ceramic Floor Tile Installation Systems Using the Robyson-Type Floor Tester.

Figura 3.11 – Painel teste com argamassas colantes modificadas com látex acrílico (ZOOMUT, 2003)

Figura 3.12 – Painel teste com argamassa colante monocomponente sem modificação (ZOOMUT, 2003)

Conforme os ensaios realizados por Zoumut (2003), no painel A (figura 3.12), composto de revestimento cerâmico fixado com argamassa colante monocomponente sem aditivação de látex, ocorreu deslocamento na 100ª revolução do segundo ciclo. Já um painel F (figura 3.11), composto de revestimento cerâmico fixado com argamassa colante modificada com látex acrílico com Tg de -45°C, ocorreu ruptura somente no 8º ciclo.

Através de seus experimentos esse autor conclui que as placas de *plywood* não devem ser utilizadas como bases para revestimentos cerâmicos com argamassas colantes comuns, devido principalmente às suas deformações. No entanto, o ganho de flexibilidade e adesão ao incorporar látex em argamassas colantes comuns, permite o uso de revestimento cerâmico neste tipo de base.

CAPÍTULO 4

PROGRAMA EXPERIMENTAL

O programa experimental efetuado buscou identificar as modificações no comportamento de argamassas colantes industrializadas com a aditivação de resinas em emulsão. As variáveis adotadas no programa experimental foram: tipos de argamassas colantes industrializadas, látex, placas cerâmicas e os teores látex-argamassa.

4.1 MATERIAIS

4.1.1 Argamassa colante

Para avaliar a modificação do comportamento das argamassas colantes, foram empregadas três tipos de argamassas:

- Argamassas colante tipo ACI. Argamassa colante industrializada com características de resistência às solicitações mecânicas e termoigrométricas típicas de revestimentos internos, com exceção daqueles aplicados em saunas, churrasqueiras, estufas e outros revestimentos especiais.
- Argamassa colante tipo ACII. Argamassa colante industrializada com características de adesividade que permitem absorver os esforços existentes em revestimentos de pisos e paredes internos e externos sujeitos a ciclos de variação termoigrométrica e a ação de vento.

- Argamassa colante tipo ACIII. Argamassa colante industrializada que apresenta aderência superior em relação às argamassas dos tipos I e II.

As argamassas colantes empregadas foram adquiridas em loja de materiais de construção, sendo os fabricantes ou marcas: Eliane, Lafarge, Mar Paulista, Quartzolit e Votomassa. Foram identificadas nos ensaios apenas com siglas de A a E, não necessariamente, nesta ordem.

4.1.2 Látex acrílicos e dosagem

Foram utilizados 7 tipos de látex acrílicos, das empresas BASF, Clariant, Osvaldo Cruz, Quimicryl e Rohm and Haas, identificadas nos ensaios apenas com siglas RA1 a RA7, não necessariamente nesta ordem, sendo que estes apresentaram as seguintes especificações, conforme tabela 4.1.

Tabela 4.1: Características dos látex utilizados na pesquisa.

SIGLA	DESCRIÇÃO BÁSICA	Teor de sólidos	TMFF (°C)	Tg (°C)	Tamanho da partícula
RA1	Aditivo para modificar argamassa colante	50 ± 2	ND (*)	ND	ND
RA2	Modificante de argamassas de pisos	50 ± 1	< 23	24	< 0,2 µ m
RA3	Empregado para modificação de argamassas colantes e impermeabilizante	57 ± 1	< 1	- 6	< 0,2 µ m
RA4	Aditivo para impermeabilizante e argamassas	50 ± 1	ND	ND	ND
RA5	Aditivo para impermeabilizante e argamassas	50 ± 1	ND	ND	ND
RA6	Aditivo para impermeabilizante e argamassas	56 ± 0,5	ND	- 3	ND
RA7	Aditivo para impermeabilizante e argamassas poliméricas	57 ± 1	< 0	- 6	0,2 µ m

(*) ND – dados não disponíveis

Quanto à dosagem empregada nos ensaios, foi utilizada uma relação látex/argamassa colante (pó), uma vez que o estudo buscou verificar o comportamento da modificação do látex em argamassas colantes industrializadas.

4.1.3 Placas cerâmicas

Para realização de ensaios de aderência, foi necessário o emprego de três tipos de placas cerâmicas, segundo a NBR 13817 : 1997, estas são classificadas como:

BIIa: Placa cerâmica prensada, com absorção de água entre 3 e 6 %

BIII: Placa cerâmica prensada, com absorção de água acima de 10 %

Porcelanato BIa: Placa cerâmica prensada, com absorção abaixo de 0,5 %

4.2 PROCEDIMENTO DE ENSAIO

Foram avaliadas as combinações mais significativas para a análise das modificações promovidas pelas aditivações no comportamento das argamassas colantes, buscando-se verificar o seguinte:

- Influência dos tipos de látices acrílicos na resistência de aderência e na flexibilidade de argamassa colante
- Influência do látex no comportamento de flexibilidade de diferentes argamassas colantes
- Influência da aditivação de argamassa colante nas resistências de compressão e tração na flexão
- Influência da aditivação no módulo de deformação à tração de argamassa colante
- Influência da variação do teor de aditivo no comportamento de flexibilidade de argamassa colante
- Influência da aditivação de argamassa colante na resistência de aderência à tração em função do tempo de cura e tipo de placa cerâmica

- Influência da aditivação de argamassa colante na resistência de aderência à tração utilizando placas de porcelanato
- Influência da aditivação de argamassas colantes no ensaio de tempo em aberto
- Modificação na resistência de aderência à tração de argamassas colantes aditivadas em função do tipo de cura

4.2.1 Ensaio de resistência de aderência à tração

Quanto à resistência de aderência foram realizados três tipos de ensaio, sendo aderência com cura normal, com cura submersa e com cura em estufa, segundo a norma NBR 14084/2004 – *Argamassa colante industrializada para assentamento de placas de cerâmica – determinação de aderência*.

O procedimento adotado foi:

1) **Preparo dos materiais.** Argamassa colante preparada conforme NBR14082; substrato-padrão conforme NBR14082; placas cerâmicas de seção quadrada com (50 ± 1) mm de aresta, isenta de sujeiras e imperfeições que possam interferir no ensaio.

2) Tipos de Cura.

- Cura Normal – o conjunto (substrato padrão + argamassa + placa cerâmica) foi submetido, durante 28 dias, às condições ambiente do laboratório 23 ± 2 °C e umidade de $60\pm 4\%$;
- Cura com imersão em água – o conjunto foi submetido, durante sete dias, às condições ambientais de laboratório, a seguir foi imerso em água, onde permaneceu por 20 dias. Antes de 72 h do arrancamento foram coladas pastilhas cerâmicas e após a cura do adesivo, o conjunto foi submetido novamente à imersão em água, sendo retirado poucos minutos antes do ensaio.
- Cura em estufa – O conjunto foi submetido durante 14 dias, às condições ambientais, a seguir foi colocado em estufa a uma temperatura de 70 ± 2 °C, aonde permaneceu por mais 14 dias.

Para arrancamento das placas foi utilizado um dinamômetro calibrado, com capacidade para 5 kN da marca Dinateste, conforme mostra a figura 4.1.

Figura 4.1 - Ensaio de Resistência de Aderência à tração

4.2.2 Ensaio de flexibilidade

A capacidade de absorver deformações das argamassas colantes é uma propriedade muito importante, conforme já citada nas referências levantadas. Para determinação desta propriedade foram realizados dois ensaios: determinação da deformação transversal e determinação do módulo de deformação à tração. A flexibilidade foi verificada baseada no ensaio da EN 12002 (CEN, 2003) – Adhesives for tiles – determination of transverse deformation for cementitious adhesives and grouts que consiste em submeter à flexão um corpo de prova de argamassa colante, moldado com dimensões de 280 x 45 x 3 mm. Para a realização desse ensaio foi utilizado a máquina de ensaio desenvolvido pelo CPqDCC (figura 4.2), que atende às exigências da norma acima citada, com velocidade de carregamento de 2 mm/min, sendo a carga aplicada na parte central de um corpo de prova apoiado sobre roletes, conforme mostra o desenho esquemático elaborado por Junginger (2003) - figura 4.3.

Figura 4.2 - Ensaio de Flexibilidade baseado na EN 12002

Figura 4.3 – Esboço do ensaio de flexibilidade [JUNGINGER, 2003]

Os corpos de prova foram moldados com auxílio de um molde de PVC, sobre um filme de polietileno previamente esticado sobre uma base plana, após 48 h foram armazenados dentro de sacos de polietileno por 12 dias e curados por mais 14 dias em ambiente de laboratório 23 ± 2 °C e umidade de $60 \pm 4\%$.

4.2.3 Ensaio de Tração na Flexão e Módulo de Deformação

Os ensaios de tração na flexão foram realizados baseado na proposta de Bastos (2001) que adaptou o método ISO/DIS 679 ¹² para corpos de prova de dimensões 40 x 40 x 160 [mm], utilizando uma placa de dimensões 200 x 75 x espessura (variando de 15 a 25 mm) que segundo o autor mostrou-se mais apropriada para simular o efeito de uma camada de argamassa de emboço. Adaptou-se a espessura do ensaio para 10 mm para aproximar também da situação de espessura de camada de fixação sem comprometer as tomadas de dados.

O processo de mistura da argamassa colante foi o mesmo determinado pela norma NBR 14082 (ABNT, 2004b). Após a mistura, espalhou-se uma camada de argamassa colante sobre um filme de polietileno esticado sobre uma base plana e com auxílio de um gabarito foi moldado uma placa com dimensões de 300 x 300 x 10 [mm]. O corpo de prova foi curado em condições de laboratório à temperatura de 23 ± 2 °C e umidade de $60 \pm 4\%$, por um período de 28 dias. Para chegar ao comprimento e largura determinados para o ensaio, foi cortada a placa com o auxílio de uma serra circular, obtendo-se 6 corpos de prova de cada placa, a figura 4.4 mostra o corte de um corpo de prova.

Figura 4.4 – Corte da placa para ensaio de tração na flexão nas dimensões estabelecidas de ensaio (200 x 75 x 10 [mm])

¹² ISO/DIS 679 – Methods of testing cements – Determination of strength (International Organization for Standardization, 1987)

Para execução do ensaio foi utilizada uma prensa universal de marca Emic (figura 4.5), com célula de carga de 5 kN e captor de deformação para determinação de módulo de deformação, os dados de ensaios foram transferidos ao computador acoplado à prensa, de onde pode-se retirar os dados de carregamento e deslocamentos.

Figura 4.5 – Equipamento de ensaio e detalhe do captor de deformação

A distância entre os apoios do corpo de prova, de 160 mm, foi definida conforme proposta de Bastos (2001) e a velocidade de ensaio foi de 50 N/min, adotada em função do tempo de duração do ensaio¹³ até a ruptura do corpo de prova.

¹³ Tempo de ensaio aproximado de 20 min / corpo de prova.

Para determinação de resistência à tração, aplicou-se uma carga distribuída uniformemente na seção transversal do meio do corpo de prova bi-apoiado (figura 4.6), sendo a tensão de tração na flexão calculada através da equação $\sigma = \frac{1,5 \cdot P \cdot L}{b \cdot h^2}$, onde:

σ - tensão de tração na flexão [MPa]

P – carga aplicada no centro do corpo de prova [N]

L – distância entre os apoios [adotado 160 mm]

b – maior lado da seção transversal do corpo de prova [mm]

h – espessura do corpo de prova

Figura 4.6 – Desenho esquemático do ensaio de tração na flexão de corpo de prova de argamassa (200 x 75 x 10 [mm])

Já para determinar o valor de módulo de deformação, foi realizado um cálculo em função dos dados obtidos no ensaio, conforme a fórmula $E = \frac{P \cdot L^3}{4 \cdot \delta \cdot b \cdot h^3}$, onde:

E – módulo de deformação [MPa]

P – carga aplicada no centro do corpo de prova [N]

L – distância entre os apoios [adotado 160 mm]

b – maior lado da seção transversal do corpo de prova [mm]

h – espessura do corpo de prova [mm]

δ - deslocamento (flecha) no centro do corpo de prova, medido durante o ensaio de flexão [mm]

Como na realidade, não houve proporcionalidade na relação tensão/deformação do ensaio de flexão das argamassas ao longo de todo o carregamento, tornou-se necessário fixar alguns parâmetros e adotar simplificações no cálculo do módulo, seguindo as orientações de Bastos (2001), obteve-se o módulo corda entre dois pontos distintos, calculado conforme mostra a figura 4.7

$$\sigma = \frac{1,5 \cdot P \cdot L}{b \cdot h^2} \quad E = \frac{P \cdot L^3}{4 \cdot \delta \cdot b \cdot h^3} \quad \varepsilon = \frac{\sigma}{E} \quad E_s = \frac{\sigma_{50\%} - \sigma_{10\%}}{\varepsilon_{50\%} - \varepsilon_{10\%}}$$

Ensaio de Tração na Flexão e Módulo de Deformação									
Deformação (mm)	Força (N)	Tensão	Parâmetros:						Média
0,00464	15,65800	0,09689	distância entre bueiros:	160,00	160,00	160,00	160,00	160,00	160,000
0,00619	15,65800	0,09689	largura:	75,30	75,30	75,20	75,20	75,20	75,267
0,00722	18,78900	0,11627	espessura:	22,60	22,80	22,70	22,70	22,70	22,700
0,00877	21,92100	0,13565	Tipo:	Votomassa, CP02					
0,01031	28,18400	0,17441	Entre com Maior Força:	259,920	N	10% do Carregamento	25,992		
0,01186	31,31600	0,19379	Tensão de tração na Flexão MPa:	1,608	MPa	50% do Carregamento	29,96		
0,01341	34,44700	0,21316							
0,01495	37,57900	0,23254							
0,01650	40,71000	0,25192							
0,01805	43,84200	0,27130							
			%da carga de ruptura	Carga (N)	Tensão (MPa)	deslocamento no meio do vão (mm)	Módulo Pontual (MPa)	Deformação Específica	Módulo Secante a 10% e 50% (MPa)
0,01908	46,97300	0,29067	10	28,18400	0,17441	0,0103120	3178,919	0,000055	2742,53
0,02011	50,10500	0,31005	50	131,53000	0,81392	0,0541410	2825,649	0,000288	
0,02166	53,23700	0,32944							

Figura 4.7 – Exemplo de seqüência de cálculos para obtenção do módulo corda de cada corpo de prova de argamassa.

4.2.4 Ensaio de tempo em aberto

Para realização do ensaio de tempo em aberto adotou-se as recomendações da NBR 14083 que é similar aos ensaios de resistência de aderência, com diferenças no tipo de placa¹⁴ e o tempo de espera para posicionamento da placa sobre o cordão de argamassas, que varia desde 15 minutos a mais que 40 minutos. O critério estabelecido é o tempo igual ou imediatamente inferior em que a aderência seja maior ou igual a 0,5 MPa.

Figura 4.8 – Vista do preparo do corpo de prova de tempo em aberto

¹⁴ Segundo a NBR 14083, a placa cerâmica para determinação do tempo em aberto é a tipo BIII (prensada com absorção acima de 10%)

CAPÍTULO 5

APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS DO ESTUDO EXPERIMENTAL

5.1 Influência dos tipos de látices acrílicos na resistência de aderência e na flexibilidade de argamassa colante

Os primeiros ensaios contemplaram os diferentes tipos de látices acrílicos existentes no mercado e utilizaram uma única argamassa colante de forma a proceder à análise comparativa da influência dos látices sobre a argamassa colante. Para isso, manteve-se a mesma quantidade de resina – 5% - sobre o total de materiais secos (argamassa colante industrializada), isso equivale a 1,0 kg ou a aproximadamente 1,0 litro da resina (a densidade dos látices é igual ou bem próxima a 1,0 kg/litro) para cada saco de 20 kg de argamassa colante.

A Tabela 5.1 apresenta os resultados do ensaio de resistência de aderência à tração de uma argamassa colante tipo AC I modificada com diferentes tipos de látices, ensaiado conforme a NBR 14084 (ABNT, 2004c), cura normal e placa cerâmica tipo BIIa¹⁵. Os resultados com aditivação de resina apresentam baixo coeficiente de variação, sendo que para a argamassa colante amassadas somente com água o coeficiente de variação foi bem superior. Diante disso, pode-se afirmar que houve boa compatibilidade entre as emulsões

¹⁵ Placa cerâmica BIIa, grupo de absorção entre 3% e 6%.

acrílicas estudadas com a argamassa em questão. Este fato nem sempre é verdadeiro, conforme mostrado no capítulo 3 - figura 3.4 quando (BARROS, 2003) substituiu parte da água de amassamento pela resina foi substituída e houve uma redução nos valores de resistência de aderência com grande dispersão dos resultados.

Tabela 5.1 – Comparativo de látex no requisito de resistência de aderência.

RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA (MPa)		FA-A ACI + Água	FA-A ACI + 5% RA1	FA-A ACI + 5% RA2	FA-A ACI + 5% RA3	FA-A ACI + 5% RA4	FA-A ACI + 5% RA5	FA-A ACI + 5% RA6	FA-A ACI + 5% RA7
	Média	0,81	1,28	1,70	0,82	0,88	0,99	0,96	1,04
	Desvio Padrão	0,22	0,06	0,22	0,07	0,11	0,08	0,07	0,08
	Coefic.de variação	27%	5%	13%	8%	12%	8%	7%	8%

Gráfico 5.1 – Gráfico de Resistência de Aderência em cura normal segundo NBR14084.

A avaliação que se faz observando os dados da tabela 5.1 e gráfico 5.1 da influência do tipo de látex na resistência de aderência é de que nem todos os aditivos se comportam de forma idêntica, ou seja, não basta adicionar uma resina acrílica para promover melhoria no desempenho de aderência. Por exemplo, as resinas RA3 e RA4 mostraram nenhum ou praticamente nenhum aumento na resistência de aderência.

Por outro lado, duas formulações se sobressaíram nesse quesito (formulação com 5% de RA1 e 5% com RA2). Quanto aos látexes ensaiados: o látex RA1 é indicado pelo fabricante como aditivo modificador de argamassas colantes, enquanto o látex RA2 é indicado para aumentar a resistência mecânica de argamassa, sobretudo em argamassas ou concretos para pisos. Os látexes RA4 e RA5 são indicadas para impermeabilizações poliméricas, enquanto os látexes RA6 e RA7 são indicados para sistemas de impermeabilização ou modificador de argamassa colante.

Conforme as referências levantadas, são muitas as prováveis causas para as diferenças no comportamento, entre elas podem-se citar os diferentes tamanhos de partículas dos polímeros, as diferentes temperaturas mínima de formação de filme e temperaturas de transição vítrea e a compatibilidade do polímero em meio alcalino. Neste quesito não se pode afirmar que algum polímero proporcione melhor desempenho ao revestimento que outro.

A Tabela 5.2 apresenta os resultados de flexibilidade com a mesma argamassa colante e as mesmas configurações e dosagens apresentadas na tabela 5.1, o ensaio foi realizado baseado na norma EN12002 (CEN, 2003).

Tabela 5.2 – Dados dos ensaios de flexibilidade com FA-A com variação de Látex

DESLOCAMENTO (mm)		FA-A ACI + Água	FA-A ACI + 5% RA1	FA-A ACI + 5% RA2	FA-A ACI + 5% RA3	FA-A ACI + 5% RA4	FA-A ACI + 5% RA5	FA-A ACI + 5% RA6	FA-A ACI + 5% RA7
	Média	0,88	11,78	3,71	12,52	8,68	10,91	14,62	13,19
	Desvio Padrão	0,12	0,82	0,58	1,93	0,60	0,94	2,23	1,59
	Coefic.de variação	13%	7%	16%	15%	7%	9%	15%	12%

Gráfico 5.2 – Gráfico do ensaio de Flexibilidade segundo EN12002 (CEN, 2003), mesma argamassa colante e variação de Látex

Analisando os resultados apresentados na tabela 5.2 e no gráfico 5.2, verifica-se que a flecha ou deslocamento atingido pela argamassa de referência sem a aditivação não ultrapassa 1 mm, configurando uma argamassa que não se classificaria na exigência mínima da norma EN12002 (CEN, 2003) que estabelece a classificação S1 para flechas ou deslocamentos entre 2,5 a 5 mm e S2 para flechas acima de 5 mm.

Por outro lado, as formulações com as aditivações com os látices RA1, RA3, RA4, RA5, RA6 e RA7, apresentaram valores de flechas bem acima dos 5 mm estabelecidos como limite inferior de classificação **S2** pela norma EN12002. O que chamou a atenção foi a formulação FA-A ACI + RA2 que havia apresentado o melhor resultado de resistência de aderência e, no entanto, quanto à flexibilidade ficou em um intervalo correspondente a classificação S1. Neste caso, tentou-se buscar uma explicação lógica e descobriu-se que esse látex apresenta Tg de 24°C, ou seja, próximo da temperatura ambiente de ensaio, podendo ser esta a explicação mais adequada.

Seguindo com esse raciocínio, a T_g do látex RA3 é de -6°C , confirmando o que se apresentou na referência bibliográfica de que quanto menor a T_g , mais flexível é o sistema de argamassa e vice-versa.

O gráfico 5.3 permite comparar simultaneamente os ensaios de aderência e flexibilidade em relação à argamassa de referência (100%). Esse comparativo serviu para tomada de decisão de classificação das formulações, visando realizar ensaios mais detalhados com um único tipo de látex. Sendo assim, multiplicando-se os valores percentuais relativos de aderência e flexibilidade, obteve como resultado final a 3ª. linha apresentada no gráfico “ader x flex”, onde mostra que a aditivação com o látex RA1 apresentou o melhor índice (2100%), seguido pelas formulações de ACI + 5% RA6 (1959%) e ACI + 5% RA7 (1915%). Sendo assim, escolheu-se a resina RA1 para prosseguimento com os ensaios, além do que a argamassa ACI com essa resina também apresentou melhor valor de resistência de aderência.

Gráfico 5.3 –Gráfico comparativo Aderência e Flexibilidade

5.2 Influência do látex no comportamento de flexibilidade de diferentes argamassas colantes

Essa série de ensaio foi realizada para verificar o comportamento da aditivação de uma única resina (RA1), com um único teor (5% sobre o total de material em pó), em diferentes argamassas colantes. Foram empregadas cinco argamassas colantes tipo AC I, uma argamassa colante ACII e uma argamassa colante AC III. A tabela 5.3 e o gráfico 5.4 mostram os resultados de ensaio de flexibilidade com essas argamassas.

Tabela 5.3 – Dados dos ensaios de Flexibilidade com diferentes argamassas colantes amassadas com água e 5% RA1.

	FA-Q ACI + Água	FA-Q ACII + Água	FA-Q ACIII + Água	FA-MP ACI + ÁGUA	FA-L ACI + ÁGUA	FA-E ACI + ÁGUA	FA-V ACI + ÁGUA
Média	0,88	1,75	1,64	0,61	1,20	0,92	0,97
Desvio Padrão	0,12	0,08	0,08	0,06	0,09	0,02	0,11
Coefic.de variação	13%	4%	5%	10%	7%	3%	11%
	FA-Q ACI + 5% BAU1	FA-Q ACII + BAU1	FA-Q ACIII + BAU1	FA-MP ACI + 5% BAU1	FA-L ACI + 5% BAU 1	FA-E ACI + 5% BAU1	FA-V ACI + 5% BAU1
Média	11,78	11,71	4,10	9,17	10,25	7,80	8,70
Desvio Padrão	0,82	0,68	0,29	0,37	0,77	0,57	0,49
Coefic.de variação	7%	6%	7%	4%	7%	7%	6%

Gráfico 5.4 – Ensaio de Flexibilidade sendo variável o tipo de argamassa colante e comparando água x látex

A interpretação que se pode fazer através do gráfico 5.4 é de que as argamassas colantes monocomponentes amostradas podem ser consideradas rígidas e nem mesmo atingem o valor mínimo de 2,5 mm estipulado pela norma EN12002 (CEN, 2003). Estes resultados baixos de flexibilidade também foram encontrados por Silva (2003) em seu trabalho experimental com argamassas colantes nacionais classificadas como AC I, AC II e AC III, conforme já apresentado na figura 3.9 do capítulo 3.

Ainda conforme o gráfico acima, todas as argamassas aditivadas com 5% sobre o peso de materiais secos do látex RA1, com exceção à argamassa ACIII, apresentaram um aumento significativo no que diz respeito à flexibilidade, classificando-as em S2 (deformação acima de 5 mm), ou seja, super flexível conforme a norma EN12002. Esse fenômeno pode ser explicado pelo baixo módulo de elasticidade do polímero que segundo OHAMA (1998) varia entre 0,001 a 1 GPa,

comparado ao de argamassas sem polímero. Além disso, conforme mostra a figura 3.3 no capítulo de revisão bibliográfica, após a formação de filme do polímero, ocorre uma mudança na matriz cimentícia, tornando a argamassa um composto totalmente novo.

Voltando-se a avaliação do gráfico 5.4, observa-se que a argamassa ACIII não apresentou um aumento significativo em relação às demais argamassas. Este fato pode ser explicado pelo maior¹⁶ teor de cimento existente na formulação e pela provável incompatibilidade entre os polímeros em pós redispersíveis existentes nesta argamassa com o látex acrílico. Esta última é a hipótese mais provável, pois durante o processo de preparo da argamassa, observou-se grande alteração na consistência e perda de trabalhabilidade da argamassa colante ACIII comparando o amassamento com água x com látex, fenômeno não observado com as outras argamassas estudadas.

5.3 Influência da aditivação de argamassa colante nas resistências à compressão e à tração na flexão

Essa série de ensaios teve como objetivo avaliar a influência da aditivação de argamassa colante na resistência à compressão, levando-se em conta que as referências pesquisadas, não indicaram uma tendência clara de que o aumento do teor polímero/cimento proporcione melhora na resistência mecânica em uma argamassa colante, para isso foram realizados três formulações, sendo: a) argamassa colante ACI sem polímero; b) argamassa ACI aditivada com 5% de látex RA1 e c) argamassa colante ACI aditivada com 7,5% de látex RA1. O ensaio ocorreu aos 28 dias de cura em ambiente de laboratório. A tabela 5.4 apresenta os dados do ensaio de resistência à compressão e a figura 5.5 o gráfico desse conjunto de ensaio.

¹⁶ Maior teor de cimento e polímero, conforme SILVA,2003 apresentado no início do capítulo 3.

Tabela 5.4 – Dados dos ensaios de resistência à compressão

	AC I + AGUA	AC I + 5% BAU1	AC I + 7,5% BAU1
Média [MPa]	5,33	7,52	7,90
Desvio Padrão [MPa]	0,36	0,29	0,82
Coefic.de variação	6,7%	3,8%	10,4%

Gráfico 5.5 – Gráfico do ensaio de resistência à compressão para argamassas colantes

Conforme apresentado na tabela 5.4 e no gráfico 5.5, pode-se dizer que houve um acréscimo de resistência à compressão da argamassa colante sem polímero para a argamassa colante até 7,5% de polímero. Este aumento da resistência à compressão pode ser justificado pela redução do teor água/cimento, uma vez que parte da água de amassamento da argamassa colante foi substituída pela emulsão. Por exemplo, para preparar um saco de argamassa colante sem polímero é exigido 4,2 litros de água. No caso em que se acrescentou 5% de RA1 (1 litro de látex para cada saco de 20 kg), foi acrescentado mais 3,2 litros de água, sem prejuízo na trabalhabilidade. Como esse látex apresenta 50% de sólidos ativos (conforme tabela 4.1 no capítulo 4) foi utilizado um total de 3,7 litros de água. O mesmo raciocínio serve para a dosagem com 7,5% de RA1, resultando em 3,45 litros de água.

Traçando a linha de tendência com os dados desse ensaio, observa-se que a linha de tendência que mais se aproxima ($R^2 = 1$) é uma curva polinomial de 2º grau (parábola), induzindo ao raciocínio de que a partir da dosagem com 7,5%, poderia haver uma queda na resistência à compressão, fato esse justificável pelo aumento significativo na quantidade de polímero, cujo módulo de deformação é muito inferior ao de uma argamassa, conforme levantado nas revisões bibliográficas.

Quanto aos ensaios de tração na flexão, a tabela 5.5 e o gráfico 5.6 apresentam os valores encontrados nesse ensaio.

Tabela 5.5 – Dados dos ensaios de resistência à tração na flexão

CP	ACI + ÁGUA		ACI + 5% RA1		ACI + 7,5% RA1	
	CARGA DE RUPTURA	TENSAO DE RUPTURA	CARGA DE RUPTURA	TENSAO DE RUPTURA	CARGA DE RUPTURA	TENSAO DE RUPTURA
1	117,95	3,38	191,86	4,39	227,85	6,58
2	157,61	3,85	184,34	5,59	191,51	5,68
3	133,85	3,71	157,96	5,26	185,39	5,32
4	137,69	3,79	167,22	5,48	192,21	5,95
5	149,75	4,12	185,92	4,15	178,40	5,76
6	161,11	4,30	204,26	4,62	186,09	5,96
Média [MPa]	142,99	3,86	181,93	4,91	193,58	5,87
Desvio Padrão [MPa]	16,29	0,32	16,79	0,61	17,52	0,42
Coefic.de variação	11%	8%	9%	12%	9%	7%

Gráfico 5.6 – Gráfico do ensaio de resistência à tração na flexão para argamassas colantes

Conforme apresentado na tabela 5.5 e gráfico 5.6, observa-se um aumento da resistência à tração na flexão com o aumento do teor de polímero. A linha de tendência apresentou-se na forma de uma reta. Pode-se afirmar que esse tipo de

resina apresentou compatibilidade com a argamassa colante. Aprofundando mais a análise realizada através deste ensaio, ao traçar as curvas de Tensão x deformação, conforme demonstram as três curvas no gráfico 5.7, nota-se que com o aumento do teor polímero/argamassa, ocorrem simultaneamente aumento de resistência à tração na flexão, maior capacidade de suportar deformações e menor inclinação das curvas.

Gráfico 5.7 – Curvas de ensaios de resistência à tração na flexão x deslocamento

5.4 Influência da aditivação no módulo de deformação à tração de argamassa colante

Conforme apresentado na revisão bibliográfica através do módulo de deformação da argamassa modificada pode-se inferir a sua capacidade de suportar deformações da base. Para análise dessa série de ensaio, optou-se por tomar três medidas para determinar o módulo de deformação:

- secante entre 5 e 30%, pois este intervalo foi o adotado por Bastos (2001).
- secante entre 10 e 50%.
- secante entre 70 a 85%, optou-se por esse valor pois pretendia-se verificar o módulo de deformação da argamassa próximo às tensões de ruptura.

A tabela 5.6 apresenta os dados de módulo de deformação obtidos à partir dessas secantes e calculados conforme exposto no item 4.2.3 – Ensaio de tração na flexão e módulo de deformação.

Tabela 5.6 – Dados de Módulo de deformação, obtidos a partir das secantes 5% - 30%, 10% - 50% e 70% - 85%

TIPO	MÓDULO DE DEFORMAÇÃO SECANTE [MPa]								
	FA-A ACI + ÁGUA			FA-A ACI + 5% RA1			FA-A ACI + 7,5% RA1		
CP	SECANTE 5% A 30%	SECANTE 10% A 50%	SECANTE 70% A 85%	SECANTE 5% A 30%	SECANTE 10% A 50%	SECANTE 70% A 85%	SECANTE 5% A 30%	SECANTE 10% A 50%	SECANTE 70% A 85%
1	6632,9	6077,7	6007,4	4099,77	4483,00	4397,03	4896,8	5008,9	4036,7
2	3677,7	4721,9	5364,3	4362,44	4562,10	4425,07	4634,3	4334,2	3297,1
3	4322,8	5004,4	5691,0	4861,51	5199,56	4702,06	4006,5	3940,2	3033,7
4	3659,7	4249,8	5522,4	5691,37	5539,33	4725,98	4766,2	4571,6	3424,5
5	7073,1	7388,9	5813,1	4376,59	4713,89	4262,82	4616,4	4439,2	3165,9
6	4878,0	5691,5	6121,0	4726,22	5091,85	4377,41	3984,1	4077,3	3345,4
MÓDULO DE DEF. [MPa]	5040,7	5522,4	5753,2	4686,3	4931,6	4481,7	4484,0	4395,2	3383,9
Desvio Padrão [MPa]	1481,4	1126,9	287,0	563,4	412,8	188,4	391,9	379,9	348,4
Coefic.de variação	29%	20%	5%	12%	8%	4%	9%	9%	10%

Gráfico 5.8 – Variação do módulo de deformação em função do teor polímero/argamassa e em função da secante

O gráfico 5.8 mostra os valores de módulo de deformação para as três argamassas ensaiadas e com os três valores de secante obtidos.

Através desse gráfico, observa-se o seguinte:

- 1) Para valores de módulo de deformação obtidos pela secante mais próxima à ruptura, o coeficiente de variação é menor, fato observado principalmente na argamassa colante sem aditivo cujo coeficiente de variação passou de 29% para 5%. No caso da argamassa modificada com 7,5% RA1, o coeficiente de variação manteve-se praticamente o mesmo.
- 2) Na argamassa colante sem aditivo, ocorreu aumento do valor do módulo de deformação com obtenção do módulo pela secante se aproximando ao valor de tensão de ruptura, o que caracteriza uma argamassa que enrijece quanto maior a tensão solicitada, fator prejudicial ao desempenho do revestimento cerâmico.

- 3) No caso da argamassa modificada com 5% RA1 se análise for realizada pelos valores médios, pode se afirmar que houve um pequeno aumento no módulo de deformação em relação às secantes 5%-30% e 10%-50%, no entanto, ocorrendo em seguida uma diminuição para o módulo calculado pela secante 70% - 85%.
- 4) No outro extremo, para essa mesma argamassa com 7,5% RA1 houve uma redução nos valores de módulo de deformação obtidos pelas tangentes se aproximando à tensão de ruptura. Fato extremamente positivo para proporcionar maior alívio de tensões.
- 5) Tomando-se os valores médios do módulo de deformação obtidos pela secante a 5% e 30%, pode-se afirmar que a redução foi pouco significativa com o aumento do teor de polímero/argamassa (reta azul), supõe-se que neste nível de carregamento, pouco influencia o teor de polímero, devendo este ser comprovado através de maior número de corpos de provas e com outras argamassas. Essa redução é melhor analisada quando se comparam os dados do módulo de deformação obtidos pela secante 10% e 50% (reta vermelha) e por fim muito mais significativa para os dados de 70% a 85%. Esse fato confirma a análise realizada através do gráfico 5.7 de que com o aumento do teor de polímero/argamassa obtém-se uma argamassa de melhor capacidade de absorver as deformações da base, principalmente quando essa argamassa é mais solicitada.

5.5 Influência da variação do teor de látex acrílico no comportamento de flexibilidade de argamassa colante

O gráfico 5.9, apresenta os resultados de deslocamento na argamassa FA-A ACI com diferentes teores de polímero. Esse conjunto de ensaios confirmou uma coerência de resultados, qual seja, aumentando-se o teor de polímeros, observa-se resultados crescentes na flexibilidade das argamassas colantes. Além disso, pode-se observar que essas formulações apresentam baixo coeficiente de variação, que pode ser característica da boa compatibilidade entre essa argamassa colante com o látex RA1.

Gráfico 5.9 – Gráfico de flexibilidade com variação no teor de polímero.

5.6 Influência da aditivação de argamassa colante na resistência de aderência em função do tempo de cura e do tipo de placa cerâmica

Conforme o gráfico 5.10, a avaliação neste conjunto de ensaio mostra que a aditivação de 5% de RA1 na argamassa FA-A ACI apresenta resultados semelhantes de resistência de aderência mesmo em curtas idades, podendo ser uma característica positiva da aditivação, uma vez que na prática há uma necessidade de essas argamassas apresentarem resistência inicial alta, pois as solicitações no revestimento são imediatas. Observa-se também que o tipo de absorção de placa cerâmica (abaixo de 0,5% ou entre 3 a 6%) pouco interferiu no resultado de aderência, mostrando que essa aditivação é compatível tanto com porcelanatos quanto para placas BIIa.

Gráfico 5.10 – Gráfico de resistência de aderência com diferentes tipos de placas e tempo de cura.

5.7 Influência da aditivação de argamassa colante na resistência de aderência à tração utilizando placas de porcelanato

Conforme o gráfico 5.11, observa-se que as argamassas FA-B ACI + água e FA-B ACI + água não são adequadas para assentamento de placas de baixa absorção como os porcelanatos ($Abs \leq 0,5\%$), mesmo se tratando de áreas internas (onde são indicadas essas argamassas). Porém ao se adicionar à essas argamassas 5% RA1, aumentou-se significativamente a resistência de aderência, comprovando-se o comentário de Medeiros (1999) que ao adicionar emulsão em argamassa, obtém-se também aumento de adesão (colagem química).

Gráfico 5.11 – Gráfico de resistência de aderência com placas de porcelanato

Verificou-se também que esta dosagem em argamassas colantes ACI, superou o resultado de resistência de aderência de uma argamassa colante monocomponente indicada para assentamento de porcelanato FA-A POR.

5.8 Influência da aditivação de argamassas colantes no ensaio de tempo em aberto

Conforme apresentado no gráfico 5.12, o tempo em aberto de laboratório com a aditivação de argamassa colante é melhor quando comparada à mesma argamassa sem aditivação. Pode-se dizer que o látex ajuda na retenção da água contra evaporação.

Gráfico 5.12 – Influência da aditivação de argamassas colantes no tempo em aberto.

5.9 Modificação na resistência de aderência à tração de argamassas colantes aditivadas em função do tipo de cura

O gráfico 5.13 mostra que a aditivação de argamassas com látex proporciona aumento na resistência de aderência em todas as condições de cura, quando comparada às argamassas sem polímero. Pode-se afirmar que para este teor de látex, uma argamassa tipo ACI pode ser transformada em ACII e uma argamassa ACII, pode ser transformada em ACIII, pelo critério da NBR 14801.

Gráfico 5.13 – Modificação na resistência de aderência de argamassas colantes aditivadas com látex em função do tipo de cura.

CAPÍTULO 6

CONCLUSÕES

6.1 Quanto aos objetivos propostos

No que diz respeito às referências bibliográficas, para assentamento de placas cerâmicas em bases sujeitas à deformações conclui-se que é de fundamental importância que as argamassas sejam especiais, com resistência e capacidade de absorver deformação adequadas e isso somente é possível com argamassas modificadas com polímeros.

A questão que fica é quão flexível deverá ser essa argamassa para suportar as deformações da base e qual o teor e tipo de polímeros mais apropriado. A resposta a essa questão não é simples, podendo-se dizer que alguns autores indicam dosagens a partir de 5% de polímeros sobre o peso de materiais secos e os tipos mais comuns são os látex acrílicos ou pós redispersíveis.

Através do estudo experimental foi possível realizar várias constatações que vão de encontro às referências bibliográficas levantadas. Observou-se que as argamassas colantes monocomponentes disponibilizadas no mercado brasileiro estão aquém nos quesitos de flexibilidade e capacidade de absorver deformações, tal fato comprovado pelos resultados encontrados e pelo baixo teor de polímero utilizado nas formulações dessas argamassas.

Verificou-se que se aumentando o teor de látex acrílico/argamassa colante aumenta-se a característica de flexibilidade dessa argamassa, portanto, com uma correta dosagem, obtém-se uma argamassa colante ótima, podendo proporcionar uma maior durabilidade dos revestimentos cerâmicos. Acredita-se que essa durabilidade é proporcionada pela diminuição nas tensões solicitadas e conseqüentemente do processo de fadiga que o revestimento cerâmico possa vir a sofrer. No entanto, nem todas as emulsões acrílicas proporcionam esse aumento significativo de flexibilidade, conforme estudo experimental realizado, sendo assim, recomenda-se que a aquisição desse material seja de fornecedor de emulsão que tenha um completo domínio da tecnologia de revestimento.

Sabendo disso, a aditivação de emulsões acrílicas em argamassas colantes ACI é uma técnica que vem sendo adotada por algumas empresas construtoras, de forma a se obter argamassas especiais, para assentamento de placas de rocha e porcelanatos, também para uso em locais sujeitos a deformação, como fachadas de edifícios.

Acredita-se que esse trabalho sirva como referência para o meio técnico, principalmente para especificadores e projetistas de revestimentos. Dessa forma, estará sendo difundida no mercado uma tecnologia – aditivação de argamassas colantes com látex acrílico – com grande potencial de uso, uma vez que se apresentar competitiva técnica-comercialmente.

6.2 Quanto à normalização

O estudo aprofundado dos requisitos e critérios de normas foi realizado por Silva (2003), não sendo objetivo único deste trabalho. No entanto, ressaltou-se algumas normas para chamar a atenção sobre o fato de que em outros países existe a tecnologia de argamassas colantes modificadas com aditivação de látex, enquanto a normalização nacional não contempla essa possibilidade para melhorar as características das argamassas.

Outro ponto relevante é o fato da norma nacional não especificar ensaios com placas de baixa porosidade, como o caso das placas de porcelanato cujo

crescimento de uso tem sido muito acentuado nos últimos anos. A norma europeia especifica placa de baixa absorção. Já a norma americana especifica três tipos de placas e estabelece critérios diferentes para cada tipo de placa.

As referências levantadas citam como importante função das argamassas colantes, a capacidade de absorver deformação, no entanto, a normalização nacional não realiza nenhum ensaio voltado a essa necessidade. Além disso, a norma cita que a argamassa colante tipo ACII é recomendada para utilização em fachadas, sem no entanto, distinguir tipos e dimensões de placas, edificações, exposição, juntas de trabalho entre outros. Talvez por isso, o grande número de patologias de deslocamento cerâmico de fachadas e seu baixo emprego em cidades como São Paulo.

Já a norma europeia, por exemplo, especifica diferentes critérios para diferentes solicitações, por exemplo, seguem como requisito as seguintes nomenclaturas básicas:

- C – argamassa à base de cimento;
- 1 ou 2 – para comum ou melhorada;
- F – desenvolvimento rápido
- T – redução de deslizamento
- E – tempo em aberto estendido
- S1 ou S2 – flexível ou super flexível.

Sendo assim, as argamassas podem ser classificadas com diferentes combinações desde C1 – desenvolvimento normal de resistência até C2FTS2 – melhorada com desenvolvimento rápido de resistência, redução do deslizamento, tempo em aberto em estendido e super flexível. Portanto, cabe aos projetistas e não à norma especificarem o tipo de argamassa adequado para cada uso. Por exemplo, para um revestimento de piso que se exige liberação rápida ao trânsito, a especificação mais adequada seria que essa argamassa fosse do tipo F(desenvolvimento rápido), mas não necessariamente ser tipo T (redução de deslizamento).

6.3 Quanto à metodologia

O desenvolvimento deste trabalho baseou-se em uma revisão bibliográfica sobre o tema argamassas modificadas com os polímeros adicionados na forma de látex e um estudo experimental com argamassas colantes monocomponentes disponibilizadas no mercado, comparando as com argamassas modificadas com látex.

As referências foram fundamentais para justificar o trabalho, dar embasamento teórico e incrementar o conhecimento sobre o desempenho do revestimento cerâmico, durabilidade e vida útil. Através das referências bibliográficas, pode-se concluir que muito se tem a fazer no mercado nacional, como exemplo, difusão da tecnologia de argamassas colantes modificadas com látex, inclusão e diferenciação na normalização nacional dessa tecnologia.

Quanto aos estudos experimentais, se dependesse do autor, o número de variáveis estudadas seria quase que infindáveis, devido ao prazer em estudo laboratorial, novas descobertas, novas constatações, enfim... novos desafios. No entanto, para que fosse possível cumprir o programa de mestrado, houve a necessidade de se restringir o número de ensaios e somente dessa forma foi possível realizar uma avaliação e muitas vezes apenas constatações dos resultados obtidos. Como exemplo de resultado obtido, pode-se citar a capacidade de absorver tensões e deformação da base, que nem sempre é fácil de ser mensurado e muitas vezes de serem reproduzíveis e repetidos em outros laboratórios. Os ensaios e resultados apresentados nos itens 5.3 e 5.4 poderá ser um método para diferenciar as diferenças de resistência à tração e capacidade de absorver deformação em argamassas colantes com diferentes teores de polímero/argamassa.

Diante desse cenário, pôde-se dar uma contribuição maior à tecnologia de revestimento cerâmico com o emprego de argamassas colantes ACI modificadas com emulsões acrílicas. Vale ressaltar o melhor desempenho dessa técnica em relação às argamassas colantes monocomponentes disponibilizadas no mercado, principalmente quanto a sua maior flexibilidade, capacidade de aderir em placas de baixa porosidade como os porcelanatos e que essa técnica proporciona melhor

desempenho final e, conseqüentemente, durabilidade no revestimento cerâmico em bases sujeitas à deformações.

6.4 Sugestões para trabalhos futuros

Como sugestão para trabalhos futuros, pode-se apresentar alguns itens:

1. Realização de ensaio de módulo de deformação à flexão com outras resinas e outras argamassas colantes monocomponentes para verificar a reprodutibilidade e repetibilidade desse método como capaz de determinar a capacidade de absorver deformação das argamassas.
2. Realizar programa exploratório associado a uma análise estatística prévia para comprovar a influência dos polímeros em tensões próximas à ruptura no método de resistência à tração na flexão.
3. Estudar o efeito da Tg (temperatura de transição vítrea) dos látex acrílicos no comportamento de flexibilidade e resistência mecânica;
4. Realizar estudo que correlaciona os resultados de flexibilidade e resistência mecânica encontrados em laboratório com ensaios acelerados de revestimentos cerâmicos, visando determinar parâmetros para especificação de dosagem e tipos de argamassas colantes em função da vida útil almejada.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AKIAMA, Solange Y.; MEDEIROS, Jonas S.; SABBATINI, Fernando H. **Flexibilidade de argamassas adesivas**. Anais do II Simpósio de Brasileiro de Tecnologia das Argamassas (II SBTA). Salvador: EPUSP/ANTAC, p.233-245, 1997.

ALMEIDA, Alessandra E. F. de Souza. **Estudo da influência das adições de sílica ativa e copolímero estireno acrílico nas propriedades de argamassas para o assentamento de porcelanato**. Tese (doutorado) apresentado à Escola de Engenharia de São Carlos – USP. São Carlos, 2005.

ALMEIDA, Alessandra E. F. de Souza; SICHIERI, Eduvaldo P. **Estudo da Influência da cura na aderência entre argamassas com adições poliméricas e placas de porcelanato**. Anais do VI Simpósio de Brasileiro de Tecnologia das Argamassas (VI SBTA). Florianópolis, p 395-405, 2005.

ANSI - AMERICAN NATIONAL STANDARDS SPECIFICATIONS. **American National standard specifications for dry set Portland cement mortar. A118.1-99**. New York, 1999a.

_____. **American National standard specifications for latex-Portland cement mortar. A118.4-99**. New York, 1999b.

ANFACER – Associação Nacional dos Fabricantes de Cerâmica para Revestimento. site oficial <<http://www.anfacer.org.br>> acesso em 05 jan 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Revestimento de paredes externas e fachadas com placas cerâmicas e com utilização de argamassa colante – procedimento – NBR 13755.** Rio de Janeiro, 1996.

_____. **Placas cerâmicas para revestimento – Terminologia – NBR 13816.** Rio de Janeiro, 1997a.

_____. **Placas cerâmicas para revestimento – Classificação – NBR 13817.** Rio de Janeiro, 1997b.

_____. **Placas cerâmicas para revestimento – Especificação e métodos de ensaios – NBR 13818.** Rio de Janeiro, 1997c.

_____. **Argamassa colante industrializada para assentamento de placas de cerâmica – especificação - NBR 14081.** Rio de Janeiro, 2004a.

_____. **Argamassa colante industrializada para assentamento de placas de cerâmica – execução do substrato-padrão e aplicação de argamassa para ensaios - NBR 14082.** Rio de Janeiro, 2004b.

_____. **Argamassa colante industrializada para assentamento de placas de cerâmica – determinação do tempo em aberto - NBR 14083.** Rio de Janeiro, 2004c.

_____. **Argamassa colante industrializada para assentamento de placas de cerâmica – determinação da resistência de aderência - NBR 14084.** Rio de Janeiro, 2004d.

_____. **Argamassa colante industrializada para assentamento de placas de cerâmica – determinação do deslizamento - NBR 14085.** Rio de Janeiro, 2004e.

_____. **Argamassa colante industrializada para assentamento de placas de cerâmica – determinação da densidade de massa aparente - NBR 14086.** Rio de Janeiro, 2004f.

_____. **A.R. - Argamassa à base de cimento Portland para rejuntamento de placas cerâmicas – Requisitos e métodos de ensaios – NBR 14992.** Rio de Janeiro, 2003.

_____. **Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos – Desempenho : Parte 1: Requisitos Gerais – Projeto 02:136.01-001/01.** 2006. 41p. Disponível em: <<http://www.sinduscon.org.br>> acesso em 05 jan 2007.

Australian Standards (AS). **Adhesives for fixing ceramic tiles - AS 2358.** Australia, 1990

BARROS, Mercia M. S. B. **Tecnologia de produção de contrapisos para edifícios habitacionais e comerciais.** Dissertação (mestrado) apresentada à Escola Politécnica de São Paulo. São Paulo, EPUSP, 1991.

BARROS, Mercia M. S. B. **ASSENTAMENTO NO SURGIMENTO DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM REVESTIMENTOS COM PLACAS DE ROCHA.** PROJETO DE PESQUISA - AUXÍLIO À PESQUISA. EPUSP. São Paulo, 2003. Não Publicado.

BUCHER, Hans R.E.; NAKAMURA, Elza H. **A capacidade de deformação de argamassas colantes a base de cimento Portland**. Anais do I Simpósio de Brasileiro de Tecnologia das Argamassas (I SBTA). Goiânia: UFG/ANTAC, p.167-176, 1995.

CAMPANTE, Edmilson F. **Metodologia de diagnóstico, recuperação e prevenção de manifestações patológicas em revestimentos cerâmicos de fachada**. Tese (doutorado) apresentada à Escola Politécnica de São Paulo. São Paulo, EPUSP, 2001.

CAMPANTE, Edmilson F.; SABBATINI, Fernando H. **Durabilidade dos revestimentos cerâmicos de fachada e sua influência na qualidade e segurança das edificações**. In Seminário Internacional NUTAU 2000 Tecnologia & Desenvolvimento, São Paulo, 2000. Anais. São Paulo.

CANDIA, Mário Collantes. **Contribuição ao estudo das técnicas de preparo da base no desempenho dos revestimentos de argamassa**. Tese (doutorado) apresentada à Escola Politécnica de São Paulo. São Paulo, EPUSP, 1998.

CHEW, M.Y.L. **Factors affecting ceramic tile adhesion for external cladding**. Construction and Building Materials. Nº 13, pp 293-296. Elsevier Science Ltd. 1999.

CEN - EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION – **Adhesives for tiles – Determination os transverse deformation for cementitious adhesives and grouts – EN 12002**. London, 2003.

_____. **Adhesives for tiles – definitions and specifications – EN 12004**. London, 2001.

CUNHA, ÉRICA C. **Projeto e execução de fachadas com Porcelanato**. Dissertação (mestrado) apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo. São Carlos, 2001.

FELIXBERGER J.K. **Stresses in the composite system: Tile- fixing mortar – base**. Anais do IX Congresso Mundial de la calidad del azulejo y del pavimento ceramico – Qualicer 2006. Castellon. Espanha. 2006. P.BB 191-204.

GODOY, Eduardo. H. P. **Contrapisos de argamassa de cimento portland e polímeros como camada promotora da estanqueidade de pisos de edifícios**. 1999. 181p. Dissertação (mestrado) apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, EPUSP, 1999.

GOLDBERG, R.P. **Direct adhered ceramic tile, stone and thin brick facades**. Technical Design Manual. USA: Laticrete International. 200p. 1998.

HARTOG, PETER. **LA EXPERIENCIA QUE NO HA SERVIDO DE LECCION: DEFECTOS QUE SE REPITEN Y DEFECTOS FUTUROS EN LA COLOCACION DE BALDOSAS CERÂMICAS**. Anais do VI Congresso Mundial de la calidad del azulejo y del pavimento ceramico – Qualicer 2000. Castellon. Espanha. 2000. P.CON 93 - 123

JUNGINGER, Max. **Rejuntameto de revestimentos cerâmicos: influência das juntas de assentamento na estabilidade de painéis**. Dissertação (mestrado) apresentada à Escola Politécnica de São Paulo. São Paulo, EPUSP, 2003.

JUST, ANGELO. **Descolamento dos revestimentos cerâmicos de fachada na cidade do Recife**. Dissertação (mestrado) apresentada à Escola Politécnica de São Paulo. São Paulo, EPUSP, 2001.

KARDON, J.B. **Polymer-modified concrete:review**. Journal of Materials in Engineering. vol.9, no2, 1997, p.85-92

LAVELLE, J. **Acrylic latex-modified portland cement**. ACI MAterials Journal, vol 85, no1, jan/feb, 1988.

LORDSLEEM Jr., Alberto C.; SOUZA, Julio C. de; MEDEIROS, Jonas S.; SABBATINI, Fernando H. **Resistência de aderência de revestimentos cerâmicos**. Anais do II Simpósio de Brasileiro de Tecnologia das Argamassas (II SBTA). Salvador: EPUSP/ANTAC, p.259-269, 1997.

MACIEL, Luciana L. **O projeto e a tecnologia construtiva na produção dos revestimentos de argamassa de fachada**. Dissertação (mestrado) apresentada à Escola Politécnica de São Paulo. São Paulo, EPUSP, 1997.

MARANHÃO, Flávio L.; SILVA, Angelo J.C.; MEDEIROS, Jonas S. **Building Facades with Porcelain Stoneware Tiles in Recife – Brazil**. Anais do IX Congresso Mundial de la calidad del azulejo y del pavimento ceramico – Qualicer 2006. Castellon. Espanha. 2006. P.BB. 95 - 106

MEDEIROS, Jonas S. **Tecnologia e projeto de revestimento cerâmico de fachada de edifícios**. 1999. 457p. Tese (doutorado) apresentada à Escola Politécnica de São Paulo. São Paulo, EPUSP, 1999.

MEDEIROS, Rita C. F.; MARANHÃO, Flávio L.; BARROS, Mercia M.S.B.; **Estudo da aderência de argamassas colantes em placas de gesso acartonado.** Anais do V Simpósio de Brasileiro de Tecnologia das Argamassas (V SBTA). São Paulo, p 529 – 539. 2003.

OHAMA, Yoshihiko. **Polymer-based Admixtures.** Cement and Concrete Composites. Ed. 20. pp 189-212. Great Britain. 1998.

OLIVEIRA, Juliana. **Estudo das propriedades de argamassas colantes submetidas à saturação e secagem.** Dissertação (mestrado) apresentada à Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, UFSC, 2004.

PORCAR, J.L. **Adhesion and Deformability of cementitious adhesives and grouts for the installation of ceramic tiles and other modular rigid slabs.** Anais do IX Congresso Mundial de la calidad del azulejo y del pavimento ceramico – Qualicer 2006. Castellon. Espanha. 2006. P.D. 3 - 12.

PÓVOAS, YEDA V. **Tempo em aberto da argamassa colante: Método da mediana e Influência dos aditivos HEC e Resina PVAc.** Dissertação (mestrado) apresentada à Escola Politécnica de São Paulo. São Paulo, EPUSP, 1999.

RIBEIRO, FABIANA A. **Especificação de juntas de movimentação em revestimentos cerâmicos de fachadas de edifícios: Levantamento do Estado da Arte.** Dissertação (mestrado) apresentada à Escola Politécnica de São Paulo. São Paulo, EPUSP, 2006.

RIUNNO, V.; MURRELI, P. **Cuan flexibles son los morteros “flexibles”?** Anais do II Congresso Mundial de la calidad del azulejo y del pavimento ceramico – Qualicer 92. Castellon. Espanha. 1992. p. 474-793.

SABBATINI, Fernando H. **Tecnologia de aplicação de revestimento cerâmico para fachada de edifícios: avaliação de campo e laboratório.** Relatório Científico: Projeto FAPESP 98/11942-5. Escola Politécnica da USP. 2000.

SABBATINI, Fernando H. **Durabilidade e vida útil.** Palestra proferida por ocasião da revisão das normas de desempenho, São Paulo, 2007

SABBATINI, F.H; BARROS, M.M.S.B. **Recomendações para produção de revestimento cerâmico para paredes de vedação em alvenaria.** São Paulo, Convenio EPUSP/CPqDCC – ENCOL, 1990. (Relatório Técnico R6-06/90).

SELMO, S. M. S. **Dosagem de argamassas de cimento portland e cal para revestimento externo de fachada dos edifícios.** Dissertação (mestrado) apresentada à Escola Politécnica de São Paulo. São Paulo, EPUSP, 1989.

SILVA, Cláudio O. **Análise crítica dos requisitos e critérios de qualidade da argamassa colante.** Dissertação (mestrado) apresentada à Escola Politécnica de São Paulo. São Paulo, EPUSP, 2003.

SILVA, Denise A. **Efeitos dos polímeros HEC e EVA na microestrutura de pastas de cimento portland.** 2001. 246p. Tese (doutorado) apresentada à Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2001.

TEMOCHE-ESQUIVEL, Juan .F. **Avaliação de uso de revestimento cerâmicos em fachadas de edifícios residenciais multifamiliares. Estudo de Caso: São Paulo, Zona Sul. 1994-1998. 2002, 407p.** Dissertação (mestrado) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

THAI-KER, Liu; CHUNG-WAN, Wong. **Challenges of external wall tiling in Singapore.** Anais do IX Congresso Mundial de la calidad del azulejo y del pavimento ceramico – Qualicer 2006. Castellon. Espanha. 2006. CON 97 - 106.

URBAN, Dieter; TAKAMURA Koichi. **Polymer Dispersions and Their Industrial Applications.** USA: WILEY-VCH. 408p. 2005.

ZOUMUT, Hani F. **Flexible Cementitious Products** in Polymer-Modified Hydraulic-Cement Mixtures, p19-33. ASTM 1176, Louis A. Kuhlmann and D. Gerry Walters, Eds., American ociety for Testing and Materials, Philadlphia, 1993.

ANEXOS - RESULTADOS

Tabela A1. 1 – Dados de Flexibilidade com uma única argamassa e diferentes látex acrílicos

FLEXIBILIDADE - CURA NORMAL (COMPARATIVO DE LÁTEX)								
	FA-Q ACI + Água	FA-Q ACI + 5% BAU 1	FA-Q ACI + 5% BAU2	FA-Q ACI + 5% BAS1	FA-Q ACI + 5% BAS2	FA-Q ACI + 5% OC	FA-Q ACI + 5% RH	FA-Q ACI + 5% CL
Média	0,88	11,78	3,71	12,52	8,68	10,91	14,62	13,19
Desvio Padrão	0,12	0,82	0,58	1,93	0,60	0,94	2,23	1,59
Coefic.de variação	13%	7%	16%	15%	7%	9%	15%	12%
Média+ Desvio	1,00	12,60	4,29	14,44	9,28	11,85	16,84	14,79
Máximo	0,97	13,10	4,58	16,90	9,68	11,96	16,96	14,89
Mínimo	0,75	10,35	3,10	10,98	7,62	9,42	12,96	12,00
Média - Desvio	0,76	10,95	3,13	10,59	8,08	9,97	12,39	11,60

Tabela A1. 2 – Dados de Resistência de Aderência em cura normal com uma única argamassa e diferentes látex acrílicos

ADERENCIA - CURA NORMAL (COMPARATIVO DE LÁTEX)								
	FA-Q ACI + Água	FA-Q ACI + 5% BAU 1	FA-Q ACI + 5% BAU2	FA-Q ACI + 5% BAS1	FA-Q ACI + 5% BAS2	FA-Q ACI + 5% OC	FA-Q ACI + 5% RH	FA-Q ACI + 5% CL
Média	0,81	1,28	1,70	0,82	0,88	0,99	0,96	1,04
Desvio Padrão	0,22	0,06	0,22	0,07	0,11	0,08	0,07	0,08
Coefic.de variação	27%	5%	13%	8%	12%	8%	7%	8%
Média+ Desvio	1,04	1,34	1,92	0,89	0,99	1,07	1,03	1,12
Máximo	1,19	1,39	2,12	0,91	1,10	1,12	1,04	1,14
Mínimo	0,51	1,18	1,43	0,71	0,73	0,82	0,87	0,87
Média - Desvio	0,59	1,22	1,48	0,75	0,77	0,91	0,89	0,96
Mediana	0,79	1,28	1,68	0,84	0,92	0,99	0,94	1,04

Tabela A1.3 – Dados de Módulo de deformação, obtidos a partir das secantes 5% - 30%, 10% - 50% e 70% - 85%

TIPO	MÓDULO DE DEFORMAÇÃO SECANTE [MPa]								
	ACI + ÁGUA			ACI + 5% BAU1			ACI + 7,5% DE BAU1		
CP	SECANTE 5% A 30%	SECANTE 10% A 50%	SECANTE 70% A 85%	SECANTE 5% A 30%	SECANTE 10% A 50%	SECANTE 70% A 85%	SECANTE 5% A 30%	SECANTE 10% A 50%	SECANTE 70% A 85%
1	6632,9	6077,7	6007,4	4099,77	4483,00	4397,03	4896,8	5008,9	4036,7
2	3677,7	4721,9	5364,3	4362,44	4562,10	4425,07	4634,3	4334,2	3297,1
3	4322,8	5004,4	5691,0	4861,51	5199,56	4702,06	4006,5	3940,2	3033,7
4	3659,7	4249,8	5522,4	5691,37	5539,33	4725,98	4766,2	4571,6	3424,5
5	7073,1	7388,9	5813,1	4376,59	4713,89	4262,82	4616,4	4439,2	3165,9
6	4878,0	5691,5	6121,0	4726,22	5091,85	4377,41	3984,1	4077,3	3345,4
MÓDULO DE DEF. [MPa]	5040,7	5522,4	5753,2	4686,3	4931,6	4481,7	4484,0	4395,2	3383,9
Desvio Padrão [MPa]	1481,4	1126,9	287,0	563,4	412,8	188,4	391,9	379,9	348,4
Coefic.de variação	29%	20%	5%	12%	8%	4%	9%	9%	10%