

**UNIVERSIDADE CATÓLICA DE PERNAMBUCO  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PRÓ-GRADUAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

**CARLOS ROBERTO BATISTA DE SANTANA**

**ESTUDO DA RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA AO CISALHAMENTO  
EM REVESTIMENTOS ARGAMASSADOS**

**RECIFE  
2010**

**CARLOS ROBERTO BATISTA DE SANTANA**

**ESTUDO DA RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA AO CISALHAMENTO  
EM REVESTIMENTOS ARGAMASSADOS**

Dissertação apresentada ao Departamento de Engenharia Civil da Universidade Católica de Pernambuco como parte dos requisitos para obtenção do Título de Mestre em Engenharia Civil.

**Área de concentração:**

Construção Civil

**Orientadora:**

Prof<sup>a</sup>. Maria da Graça de Vasconcelos Xavier Ferreira, Ph.D

**Co-Orientador:**

Prof. Angelo Just da Costa e Silva, Dr.

**RECIFE  
2010**

S232e Santana, Carlos Roberto Batista de  
Estudo da resistência de aderência ao cisalhamento em  
revestimentos argamassados / Carlos Roberto Batista de  
Santana ; orientador Maria da Graça de Vasconcelos Xavier  
Ferreira ; co-orientador Angelo Just da Costa e Silva, 2010.  
107 f. : il.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Católica de  
Pernambuco. Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação.  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. 2010.

1. Cisalhamento. 2. Revestimentos - testes.  
3. Argamassa - testes. I. Título.

CDU 624.014

**ESTUDO DA RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA AO CISALHAMENTO EM  
REVESTIMENTOS ARGAMASSADOS**

**CARLOS ROBERTO BATISTA DE SANTANA**

Dissertação de Mestrado defendida e aprovada em 22/10/20, pela banca examinadora constituída pelos professores:

---

**Maria da Graça de Vasconcelos Xavier Ferreira, Ph.D ( UNICAP)**

(Orientadora)

---

**Ângelo Just da Costa e Silva, Dr. (UNICAP)**

(Co-Orientador)

---

**José Orlando Vieira Filho..... Dr. (UNICAP)**

(Examinador Interno)

---

**Helena Carasek.....,Dra. (UFG)**

(Examinador Externo)

*“Tenho afirmado, muitas vezes, que, quando podemos medir aquilo do qual falamos e exprimi-lo em números, ficamos conhecendo algo referente sobre o assunto; porém, quando não podemos exprimi-lo em números, nosso conhecimento não é satisfatório nem frutífero; ele pode ser apenas um início de conhecimento, mas nosso pensamento dificilmente terá atingido estágio científico, qualquer que seja o assunto em questão”*

(William Thompson, Lord Kelvin)

Aos meus pais, Manoel Júlio e Débora Batista,  
“in memoriam”

À minha esposa, Raquel

Às minhas filhas, Agnes, Cassandra, Morgana,  
Pollyanna e Yolanda

## AGRADECIMENTOS

Através das linhas que abaixo transcrevemos não podemos deixar de reconhecer que este trabalho de pesquisa contou como apoio de diversas pessoas e instituições envolvidas que contribuíram de forma decisiva para atingirmos esse ideal. Portanto, faz-se justo agradecer nominalmente àqueles que de forma direta ou indireta participaram em algumas ou em muitas etapas da elaboração desta dissertação.

Assim, expresso aqui os meus mais sinceros agradecimentos:

À Prof.<sup>a</sup> Dra. Maria da Graça Ferreira, pela oportunidade de desenvolver esta dissertação sob sua orientação, dedicação, confiança, compreensão, respeito, carinho e amizade, essenciais para o desenvolvimento tranquilo e seguro deste trabalho. Aproveito essa oportunidade também, para expressar minha admiração e gratidão.

Ao Prof. Dr. Angelo Just da Costa e Silva, meu co-orientador, pelas valiosíssimas sugestões e ensinamentos transmitidos durante o desenvolvimento dessa pesquisa.

Aos professores do Curso de Mestrado em Engenharia Civil da Universidade Católica de Pernambuco pela formação e ensinamentos transmitidos durante todo o Mestrado.

À TECOMAT- Tecnologia da Construção e Materiais Ltda. pela oportunidade de participar desse empreendimento permitindo que todos os ensaios técnicos fossem realizados em seu laboratório concedendo apoios logísticos e moral para a realização desta pesquisa.

Ao amigo Renildo Lopes da Silva, pela idealização para a confecção do suporte metálico, para apoio do dispositivo de ensaio oblíquo, bem como quanto à

sua dedicação e competência mostradas durante seu período de estágio na TECOMAT.

Ao amigo Francisco Cavalcante de Lima (Galêgo), TECOMAT, pela sua dedicação e competência na execução e preparativos dos serviços necessários: execução dos trabalhos a serem realizados no laboratório.

Ao amigo Deyvison da Silva Santos, pelo apoio logístico quando da montagem mecânica dos dispositivos para realização dos ensaios nas posições horizontal e oblíqua.

Ao Prof. Celio Costa Souto Maior, Mestre da Universidade Católica de Pernambuco pela orientação e ajuda na avaliação estatística dos experimentos.

Ao IFET-PE- Instituto Federal de Educação, ciências e Tecnologia de Pernambuco, pelo apoio financeiro sem o qual, tornar-se-ia quase impossível a realização deste trabalho.

Ao Prof. Dr. José Orlando, pela a sua presença na pré-banca e quanto a sua valiosa contribuição para a presente dissertação.

A todos estes e principalmente ao Grande Arquiteto Do Universo, demonstro a minha eterna gratidão.

## RESUMO

A presente pesquisa tem como finalidade o estudo de ensaio de aderência para revestimentos de argamassa, a partir de esforços de cisalhamentos. A ABNT NBR 13528:2010 trata do ensaio de aderência de revestimento, determinada por meio da aplicação de uma carga constante, normal, aplicada sobre um suporte metálico ligado diretamente a um corpo-de-prova do revestimento a ser ensaiado. Nessa pesquisa procurou-se verificar, em laboratório, a determinação da resistência de aderência ao cisalhamento como mais um parâmetro na avaliação dos revestimentos de argamassa. Esse estudo foi realizado através do ensaio de arrancamento oblíquo ao revestimento a ser analisado. A mesma norma recomenda que, para delimitação da superfície do corpo-de-prova, esses deverão ser de forma circular de 50 mm de diâmetro. No entanto, nesse trabalho foram utilizados corpos-de-prova de seção quadrada de 100 mm de lado com a finalidade de adaptar-se à forma e ao tipo de execução dos ensaios a serem realizados na pesquisa. Para realização da pesquisa foram confeccionados painéis de blocos cerâmicos revestidos com argamassa sobre os quais foram ensaiados corpos-de-prova sob os ângulos de 0°, 45° e 90°. Para tornar possível a realização dos ensaios sob os ângulos de 45° e 0° foi necessário elaborar dispositivos adaptadores para execução dos respectivos ensaios. O objetivo desse trabalho consistiu em determinar a resistência de aderência ao cisalhamento a partir da aplicação de uma carga de arrancamento aplicada obliquamente ao revestimento. Através de uma Análise de variância, verificou-se que os resultados obtidos apontam uma relação entre a carga de arrancamento oblíqua (45°) e a resistência de aderência ao cisalhamento (0°), objetivo dessa pesquisa.

**Palavras chave:** Aderência. Método de Ensaio. Revestimento. Argamassa. Normalização. Cisalhamento.

## ABSTRACT

This research studies aims the determination of bond of rendering mortar, through shear efforts. The ABNT NBR 13528:2010 prescribes the test method of bond strength of mortar rendering, determined a constant load applied on a normal metallic device, connected directly to a specimen rendering mortar to be tested. This survey sought to verify, in the laboratory, the determination of resistance to shear adhesion as another parameter in the evaluation of rendering mortar. This study was carried out by testing pullout oblique to the rendering to be parsed. The same standard recommends that delimitation of the body surface-specimens these should be circular 50 mm in diameter. However, in this work were used specimens of squared form whose sides measure 100 mm having both surfaces in order to adapt the form and type of carrying out the tests to be carried out in the search. For the research achievement were made of ceramic bricks panels which were tested specimens under the angles from 0°, 45° and 90°. To make it possible to carry out the tests under the angles of 45° and 0° required adapter devices to run their tests. The goal of this work was to determine the resistance to shear adhesion from applying a load of pullout applied obliquely to finish. Through an analysis of variance, the results suggest a relationship between the workload pullout oblique (45°) and the resistance to shear adhesion (0°), goal of this research.

**Keywords:** Bond. Test Method. Rendering. Mortar. Standardization. Shear.

## LISTA DE TABELAS

TABELA 2.2.1-1 PROPRIEDADES HIGROSCÓPICAS DOS PRINCIPAIS MATERIAIS UTILIZADOS NOS SISTEMAS DE REVESTIMENTOS ARGAMASSA/SUBSTRATO (THOMAZ, 1989) .....	29
TABELA 2.2.3-1 PROPRIEDADES TÉRMICAS DOS MATERIAIS UTILIZADOS NOS SISTEMAS DE REVESTIMENTOS ARGAMASSA/SUBSTRATO.....	33
TABELA 3.3-1- LIMITES DE RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO (RA) PARA EMBOÇO MASSA ÚNICA (NBR 13749, 1996) .....	45
TABELA 4-1-RELAÇÕES TRIGONOMÉTRICA ENTRE O SENO E O COSSENO DE UM ÂNGULO.	49
TABELA 4.2-1 ENSAIO-PILOTO 1 .....	52
TABELA 4.5-1 QUANTIDADE DE CORPOS-DE-PROVA (CP'S) A SEREM ENSAIADOS .....	60
TABELA 5.1-1-RESULTADO DOS ENSAIOS DE ACORDO COM A FORMA DE RUPTURA.....	84

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1.1-1 DESCOLAMENTO DE REVESTIMENTO EM PASTILHAS DE UM EDIFÍCIO RESIDENCIAL - REGIÃO METROPOLITANA DO RECIFE (RMR), MARÇO/2010 .....	16
FIGURA 1.1-2 DESCOLAMENTO DE REVESTIMENTO CERÂMICO DE UM EDIFÍCIO RESIDENCIAL - REGIÃO METROPOLITANA DO RECIFE (RMR), MARÇO/2010 .....	16
FIGURA 1.1-3 DESCOLAMENTO DE REVESTIMENTOS DE ARGAMASSA APLICADOS SOBRE ESTRUTURAS DE CONCRETO. FONTE: ESTUDOS DE CASOS BRASILEIROS (CARASEK; CASCUDO, JUCÁ, 2005) .....	17
FIGURA 2-1 - CAMADAS FORMANDO UM SISTEMA DE REVESTIMENTO COMPOSTO POR: SUBSTRATO/CHAPISCO/EMBOÇO/ARGAMASSA COLANTE/REVESTIMENTO CERÂMICO. FONTE: JUNGINGER, 2003 .....	21
FIGURA 2.2-1-REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DOS AGENTES ATUANTES EM SISTEMAS DE REVESTIMENTOS DE ARGAMASSA (ADAPTADO POR SELMO, 1989) .....	26
FIGURA 2.2-2-DESENHO ESQUEMÁTICO DE UM SISTEMA SUBSTRATO/REVESTIMENTO SUBMETIDO A UMA CARGA DE TRAÇÃO .....	27
FIGURA 2.3.2-1-APLICAÇÃO DE TELA METÁLICA EM REVESTIMENTO APRESENTANDO GRANDE ESPESSURA EDIFÍCIO RESIDENCIAL NA REGIÃO METROPOLITANA DO RECIFE (JULHO, 2010) .....	39
FIGURA 3.2-1-DEFEITOS NA INTERFACE ENTRE A ARGAMASSA E AS REENTRÂNCIAS DO BLOCO CERÂMICO (CARASEK, 1996) .....	41
FIGURA 3.2-2-ARGAMASSA APLICADA COM PERFEITA ADESÃO NAS REENTRÂNCIAS DO BLOCO CERÂMICO (CARASEK, 1996) .....	42
FIGURA 3.3 -1-SISTEMA: COLA/ARGAMASSA/DISPOSITIVO METÁLICO/SUBSTRATO .....	43
FIGURA 3.4-1- ENSAIO DE DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA AO CISALHAMENTO POR TORÇÃO – RILEM-MR-20 .....	46
FIGURA 3.4-2-ENSAIO DE DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA AO CISALHAMENTO PELO MÉTODO DE MR 14-RILEM (1984). .....	47
FIGURA 4.5-1- PAINÉIS PRONTOS PARA SEREM REVESTIDOS .....	60
FIGURA 4.5-2-REVESTIMENTO DOS PAINÉIS.....	61
FIGURA 4.6.1-1- CUBA PLÁSTICA PARA PREPARAÇÃO DA ARGAMASSA DE REVESTIMENTO	62
FIGURA 4.6.1-2- COLOCAÇÃO DA ARGAMASSA NA CUBA .....	62
FIGURA 4.6.1-3-ADIÇÃO DA ÁGUA DE AMASSAMENTO .....	62
FIGURA 4.6.1-4-MISTURA MANUAL DA ARGAMASSA.....	63
FIGURA 4.6.1-5- REVESTIMENTO DOS PAINÉIS – ACABAMENTO SUPERFICIAL.....	64
FIGURA 4.6.2-1- REVESTINDO OS PAINÉIS -GABARITO EMPREGADO PARA MANTER A ESPESSURA DO REVESTIMENTO .....	64
FIGURA 4.11-1-DISPOSITIVO ADAPTADOR PARA REALIZAÇÃO DO ENSAIO OBLÍQUO (45°).....	75
FIGURA 4.11-2-DISPOSITIVO ADAPTADOR PARA REALIZAÇÃO DO ENSAIO OBLÍQUO VISTO SOB OUTRO ÂNGULO .....	75
FIGURA 4.12.1-2-EXECUÇÃO DO ENSAIO DE TRAÇÃO NORMAL (90°) .....	77
FIGURA -4.12.2-1-DISPOSITIVO METÁLICO PARA REALIZAÇÃO DO ENSAIO OBLÍQUO (45°)- VISTA LATERAL.....	78
FIGURA 4.12.2-2-DISPOSITIVO METÁLICO PARA REALIZAÇÃO DO ENSAIO OBLÍQUO (45°)- VISTA FRONTAL .....	78
FIGURA 4.12.2-3-EXECUÇÃO DO ENSAIO DE TRAÇÃO OBLÍQUA (45°).....	79
FIGURA 4.12.3-1-DISPOSITIVO METÁLICO PARA REALIZAÇÃO DO ENSAIO DE CISALHAMENTO (0°)-VISTA LATERAL .....	79

FIGURA 4.12.3-2-DISPOSITIVO METÁLICO PARA REALIZAÇÃO DO ENSAIO DE CISALHAMENTO (0°)-VISTA FRONTAL .....	80
FIGURA 4.12.3-3-DISPOSITIVO METÁLICO ADAPTADOR PARA REALIZAÇÃO DO ENSAIO DE CISALHAMENTO (0°) .....	80
FIGURA 4.12.3-4-EXECUÇÃO DO ENSAIO DE CISALHAMENTO (0°).....	81
FIGURA 5.4.1-TORQUE OBSERVADO DURANTE A REALIZAÇÃO DO ENSAIO DE TRAÇÃO OBLÍQUA (45°).....	94
FIGURA 5.4-2- TORQUE OBSERVADO DURANTE A REALIZAÇÃO DO ENSAIO DE CISALHAMENTO.....	95

## LISTA DE GRÁFICOS

Tabela 2.2.1-1 Propriedades hogrotérmicas dos principais materiais utilizados nos sistemas de revestimentos argamassa/substrato (tomas, 19890.....	29
Tabela 2.2.3-1 Propriedades higratérmicas dos materiais utilizados nos sistemas de revestimentos argamassa/substrato.....	33
Tabela 3.3-1- Limites de resistência de aderência à tração (ra) para emboço massa/única (nbr 13749, 1996).....	45
Tabela 4-1-Relações trigonométrica entre o seno e o cosseno de um ângulo.....	49
Tabela 4.1-1 Teste-piloto 1.....	52
Tabela 4.1-2-Teste-piloto 3 .....	53
Tabela 4.3.1.1-1- Dados técnicos fornecidos pelo fabricante da argamassa empregada no revestimento dos painéis de estudo .....	58
Tabela 4.3.1.2-1-Substrato (bloco) utilizado para preparação dos painéis para ensaio .....	59
Tabela 4.4-1 Quantidade de corpos-de-prova (cp's) a serem ensaiados.....	60
Tabela 5.1-1-Resultado dos ensaios de acordo com a forma de ruptura.....	84

## SUMÁRIO

1.1	Justificativa e importância .....	15
1.2	Objetivo .....	18
1.3	Metas .....	19
1.4	Estrutura da dissertação.....	19
2.1	Propriedades da argamassa.....	22
2.2	Tensões atuantes nos revestimentos de argamassa .....	25
2.2.1	Revestimentos submetidos à movimentação higroscópica .....	28
2.2.2	Revestimentos submetidos à retração.....	30
2.2.3	Revestimentos submetidos à variação de temperatura .....	32
2.3	Fatores que influem no desenvolvimento de tensões .....	34
2.3.1	Módulo de elasticidade da argamassa.....	34
2.3.2	Espessura do Revestimento .....	38
3	ADERÊNCIA .....	40
3.1	Conceituação.....	40
3.2	Mecanismo de aderência do sistema argamassa/substrato .....	41
3.3	Ensaio de resistência de aderência à tração direta .....	42
3.4	Ensaio de resistência de aderência ao cisalhamento.....	45
4.2	Ensaio-Piloto.....	50
4.2.1	Dificuldades encontradas nos testes-piloto.....	53
4.4	Descrição das amostras de estudo.....	57
4.4.1	Argamassa.....	58
4.4.2	Substrato.....	58
4.5	Quantidades de painéis e corpos de prova .....	59
4.6	Preparação dos corpos-de-prova.....	61
4.6.1	Preparação da argamassa.....	61
4.6.2	Espessura do revestimento .....	64
4.6.3	Cura do revestimento.....	65
4.6.4	Distribuição dos corpos-de-prova .....	65
4.7	Geometria e dimensões dos corpos-de-prova .....	71
4.8	Tipo de cola .....	72
4.9	Equipamento.....	73
4.10	Aplicação da carga de arrancamento.....	73

4.10.1 Taxa de Carregamento.....	73
4.11 Método de ensaio .....	74
4.12 Ensaio da resistência de aderência.....	76
4.12.1 Determinação da resistência de aderência à tração normal (90°) .....	76
4.12.2 Determinação da resistência de arrancamento oblíquo (45°).....	77
4.12.3 Determinação da resistência de aderência ao cisalhamento (0°) .....	79
4.13 Procedimento do ensaio e análise dos resultados.....	81
5.1 Resultados.....	84
5.2 Discussão .....	88
5.4 Dispersão do ensaio .....	93
6.1 Sugestões para estudos futuros.....	97
REFERÊNCIAS .....	98
AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIAL.ASTM-C482-1986-Bond strength of ceramic tile to cement Portland 1986 .....	98

## **1 INTRODUÇÃO**

O presente trabalho se insere na linha de pesquisa de materiais de construção, especificamente na subárea Tecnologia das Argamassas, e aborda o estudo de aderência de revestimentos de argamassas.

A pesquisa como um todo está direcionada às técnicas de medida de aderência entre revestimentos, visando contribuir com o desenvolvimento de um método de controle dessa propriedade a partir de uma investigação específica quanto ao ensaio de aderência ao cisalhamento.

De um modo geral, tem-se verificado que existe certa preocupação quanto ao grau de segurança da aplicação dos revestimentos, especialmente nas fachadas das edificações. No entanto, o ensaio realizado para verificação da estabilidade desses revestimentos limita-se unicamente ao ensaio de resistência de aderência à tração direta, conforme prescreve a ABNT NRB 13528:2010, não se levando em consideração os efeitos de flexões das edificações em virtude de fatores relacionados com as condições ambientais (temperatura, vento, insolação, etc.).

### **1.1 Justificativa e importância**

Sabe-se que os revestimentos ao serem empregados nas fachadas das edificações têm como finalidade proporcionar segurança, estanqueidade, durabilidade e estética (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION – ISO/DP 6240, 1980). Porém, tem-se observado um elevado índice de problemas (patologias) referentes aos revestimentos nas fachadas dos prédios. Os defeitos acontecem não somente nas interfaces argamassa/substrato, argamassa/argamassa colante, mas, principalmente, na interface argamassa colante/revestimento cerâmico (Figuras, 1.1-1 e 1.1-2).

Durante muitos anos trabalhando na área de ensaios de aderência<sup>1</sup> a partir de experiências práticas, tem-se observado a ocorrência de diversos problemas nos sistemas de revestimentos, principalmente na interface chapisco/concreto, que, em virtude das exigências decorrentes da produção de concretos de alta resistência, apresentam-se cada vez menos porosos.



**Figura 1.1-1** Descolamento de revestimento em pastilhas de um edifício residencial - Região Metropolitana do Recife (RMR), março/2010



**Figura 1.1-2** Descolamento de revestimento cerâmico de um edifício residencial - Região Metropolitana do Recife (RMR), março/2010

Os problemas de aderência, no entanto, não se restringem apenas às situações citadas. Podem estar presentes na interface chapisco/concreto, mesmo

---

<sup>1</sup> Serviços realizados junto à TECOMAT-Tecnologia da Construção e Materiais Ltda/Recife/PE Área de Ensaio de Resistência de aderência a tração normal.

durante a execução, em virtude das exigências correntes de produção, além do problema ocasionado pelos desmoldantes, influenciando significativamente a aderência, como ilustrados na Figura 1.1-3.

Não se deve deixar também de considerar, o índice de esbelteza<sup>2</sup> cada vez mais elevado das edificações que, como conseqüência, são projetadas estruturas com maiores flexões, o que vem acarretar maiores esforços de cisalhamento entre o sistema estrutura/chapisco/substrato/revestimento.

Aliado a isso, a aderência entre o revestimento de argamassa e o substrato é uma propriedade bastante complexa, pois, depende também de um grande número de fatores, tais como: características dos materiais envolvidos, técnicas de execução e condições de exposição dos revestimentos ao ambiente (CINCOTTO; SILVA; CARASEK, 2005).



**Figura 1.1-3 Descolamento de revestimentos de argamassa aplicados sobre estruturas de concreto. Fonte: Estudos de casos brasileiros (CARASEK; CASCUDO, JUCÁ, 2005)**

---

<sup>2</sup> O índice de esbelteza  $\lambda$ , é definido na Mecânica como sendo uma medida relativa entre o comprimento de uma barra e sua secção transversal. Assim uma barra é considerada esbelta quando seu comprimento é grande perante sua secção transversal. No caso das edificações, pode-se definir o índice de esbelteza da mesma em função de sua altura e sua base, por,  $\lambda=H/B$ , onde: H = altura da edificação e B= a área da base da mesma.

Em virtude dessa falta ou perda de aderência verifica-se uma série de problemas, como por exemplo, deslocamento, podendo ocasionar acidentes até fatais, além da repercussão negativa nas finalidades dos revestimentos

A ABNT NBR13528: 2010, trata da determinação da resistência de aderência à tração, que consiste na aplicação de uma carga constante, perpendicular ao sistema de revestimento. Não há, todavia, na literatura nacional, normalização para a realização do ensaio de determinação da resistência de aderência ao cisalhamento. No entanto, entende-se que é necessário também, um ensaio para verificação dessa resistência de aderência, devido aos fatores já expostos, como mais um parâmetro de verificação da estabilidade desses sistemas de revestimentos.

Além disso, a variabilidade intrínseca do ensaio de aderência à tração é bastante alta, chegando a coeficientes da ordem de 10 a 35% (CINCOTTO, SILVA e CARASEK, 1995) e o número de ensaios necessários para a obtenção de resultados significativos torna-se bastante elevado e oneroso.

Por essas razões, pretende-se buscar o desenvolvimento de um dispositivo e um método para a realização do ensaio de cisalhamento em laboratório e que possa ser aplicado também em campo.

## **1.2 Objetivo**

O objetivo geral da pesquisa consiste em determinar e desenvolver técnicas e procedimentos para avaliação da resistência de aderência ao cisalhamento em laboratório, bem como, fornecer subsídio para que esse método possa ser também, aplicado em estudos das fachadas das edificações (“in loco”), utilizando o método adaptado empregado para o ensaio de aderência à tração, com o intuito de contribuir para o entendimento do comportamento da aderência entre revestimentos.

Como objetivos específicos podem ser citados:

- a) estudar o comportamento do sistema substrato/revestimento de argamassa;

- b) elaborar e desenvolver dispositivos para a realização dos ensaios de arrancamento oblíquo, sob o ângulo de  $45^\circ$ , e cisalhamento direto (sob o ângulo de  $0^\circ$ );
- c) analisar os resultados do ensaio de resistência de aderência à tração direta (carga perpendicular,  $90^\circ$ ), normal ao plano de ruptura, comparando com as cargas oblíquas ( $45^\circ$ ) e paralelas ( $0^\circ$ );
- d) Analisar os resultados dos ensaios de resistência de aderência ao cisalhamento com aplicação da carga oblíqua ao deslocamento ( $45^\circ$ ) e, a partir desses resultados, verificar, a existência de um parâmetro de referência para obtenção do valor da aderência ao cisalhamento a zero grau.

### **1.3 Metas**

Testar eficiência dos dispositivos desenvolvidos para execução dos ensaios a  $45^\circ$  e a  $0^\circ$ , bem como, através dos resultados obtidos no laboratório, obter-se a resistência de aderência ao cisalhamento em função da carga de arrancamento oblíqua (a  $45^\circ$ ).

### **1.4 Estrutura da dissertação**

A presente pesquisa está estruturada em 6 capítulos. O capítulo 2, a seguir, aborda, com base na revisão da literatura, o comportamento mecânico dos revestimentos de argamassa quando submetidos a tensões, enfatizando a resistência à tração e a influência da capacidade de deformação das argamassas.

O terceiro capítulo também apresenta uma revisão da literatura, discutindo os principais conceitos e mecanismos de aderência, bem como os métodos de ensaio de resistência de aderência e especificações existentes.

O capítulo 4 apresenta a metodologia do programa experimental. Nele, são descritos as variáveis de estudo, os materiais utilizados na pesquisa, além dos

procedimentos e métodos de ensaios adotados. Também é feito um breve estudo experimental (Ensaio piloto) como ponto de partida para os experimentos propriamente ditos da pesquisa, bem como os resultados obtidos nesse teste.

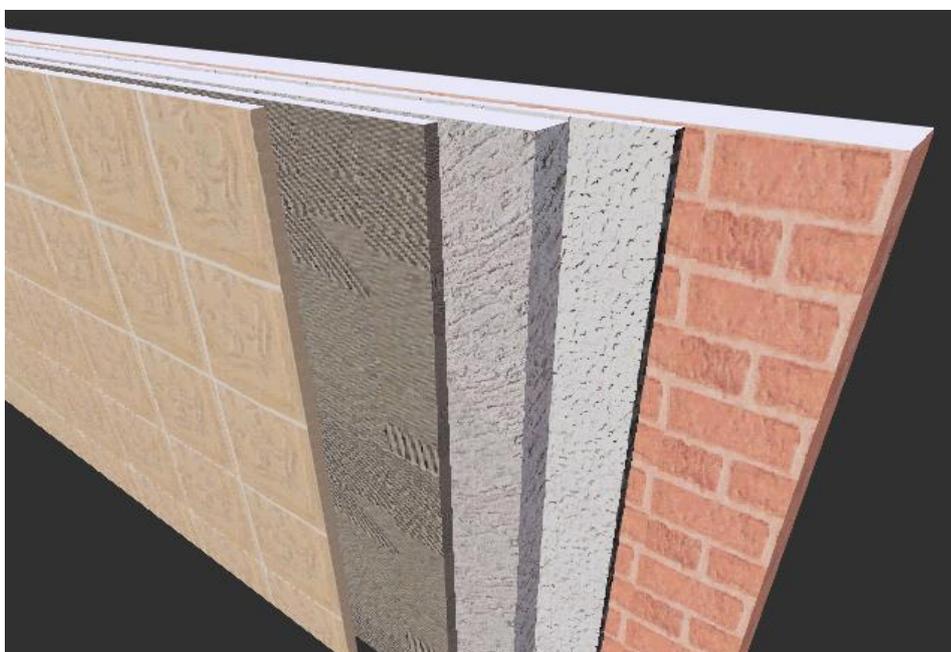
No quinto capítulo, são apresentados os resultados obtidos associando-os a uma análise estatística referente à investigação laboratorial.

Por fim, no sexto capítulo são apresentadas as conclusões e sugestões para trabalhos futuros.

## 2 REVESTIMENTOS DE ARGAMASSA

De acordo com a NBR 13.529 (ABNT, 1995), entende-se “Sistema de revestimento como sendo o conjunto formado por revestimento de argamassa e acabamento decorativo, compatível com a esbeltez da base, condições de exposição, acabamento final e desempenho previsto em projeto”.

Isso implica em dizer que o revestimento é constituído por várias camadas sobrepostas, tais como, substrato, chapisco, argamassa de revestimento e ou argamassa colante e placas de revestimento, em alguns casos, (Figura 2-1).



**Figura 2-1 Camadas formando um sistema de revestimento composto por: Substrato/chapisco/emboço/argamassa colante/revestimento cerâmico.** Fonte: JUNGINGER, 2003

As tensões surgem por conta das características dos materiais (módulo de deformação, retração, coeficiente de dilatação térmica) e também por ações externas (movimentação da base, ações da temperatura, etc.).

Essas tensões ocorrem na forma de tração e cisalhamento, especialmente na interface, ou contato entre as camadas. É importante salientar que essas tensões

surgem desde o momento de sua aplicação até o momento em que o sistema se estabiliza (SELMO, 1989; CÂNDIA; FRANCO, 1998; APPLETON, 2001).

Além disso, as construções atuais utilizam estruturas reticuladas, esbeltas, com grandes vãos e elevadas alturas. Dessa forma, essas estruturas são solicitadas significativamente, transmitindo parte dessa deformação ao sistema de vedação (alvenaria/revestimento). Por essa razão tem-se verificado um acentuado aumento de ocorrências de manifestações patológicas entre estrutura / alvenaria / revestimento, tais como, fissuração da argamassa e ruptura (descolamento) na interface argamassa/substrato (CINCOTTO; SILVA; CARASEK, 1995).

Além desses esforços, os sistemas de revestimentos estão submetidos aos processos de produção (fatores intrínsecos) e intempéries (fatores extrínsecos), tais como variações térmicas, e higroscópicas, cargas estáticas das edificações, mão-de-obra dentre outros (CINCOTTO, SILVA e CARASEK, 1995).

## **2.1 Propriedades da argamassa**

A qualidade das argamassas que têm como finalidade o revestimento de paredes internas e externas está associada aos fatores que influenciam a durabilidade e o desempenho das mesmas. Para isso, faz-se necessária a identificação de suas características, ou seja, conhecimento dos materiais constituintes e suas relações que são fatores determinantes para assegurar sua qualidade e desempenho.

Segundo a norma INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION - Performance Standards in Building-ISO/DP-6240,1980, as paredes externas das edificações devem apresentar um desempenho que venha garantir estabilidade mecânica, segurança, estanqueidade à água, isolamento térmico e acústico ao usuário, além de contribuir com a estética da edificação.

Dessa forma, deve-se apresentar um plano de estudo para que se possa avaliar e qualificar as características e propriedades dessas argamassas, com a finalidade de satisfazer os requisitos citados. Assim, o estudo do sistema de

revestimento de argamassa requer o conhecimento e as condições de produção, exposição desses revestimentos e das ações que influem em suas propriedades.

Podem-se resumir as propriedades que influem no desempenho das argamassas de revestimento da seguinte forma:

- a) propriedades da argamassa no estado fresco;
- b) propriedades da argamassa no estado endurecido;
- c) propriedades da argamassa no período de uso.

Dentre as propriedades das argamassas no estado fresco, algumas que possuem influência significativa no seu desempenho são: consistência, coesão, tixotropia, plasticidade, retenção de água, massa específica e adesão.

A consistência é a propriedade que tem a argamassa de resistir à deformação, mantendo essa capacidade ao longo do tempo de aplicação da mesma; pode ser classificada como, seca, plástica ou fluida, em função direta da quantidade de água, ou seja, a consistência é influenciada pelos seguintes fatores: relação água/aglomerante; relação aglomerante/areia; granulometria da areia e natureza e qualidade do aglomerante (CINCOTTO; SILVA e CARASEK, 1995).

A coesão diz respeito às forças físicas de atração existentes entre as partículas sólidas da argamassa e às ligações químicas da pasta aglomerante.

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

A plasticidade é a propriedade pela qual a argamassa tende a reter a deformação, após a redução do esforço de deformação aplicado.

A plasticidade e a consistência efetivamente caracterizam a trabalhabilidade, onde, essa, é influenciada pelo teor de ar, natureza e teor de aglomerante e pela intensidade de mistura das argamassas.

A retenção de água consiste na capacidade da argamassa, no estado fresco, de manter sua consistência ou trabalhabilidade quando sujeita a solicitações que

provocam perda de água, seja essa por evaporação, sucção ou absorção. Essa propriedade é de suma importância, uma vez que, todo processo de aplicação, regularização e desempenho da camada de revestimento depende do tempo de retenção de água da argamassa. Além de determinar as condições de manuseio da argamassa, a retenção de água interfere nas propriedades no estado endurecido, uma vez que, influencia as condições de hidratação do cimento e a reação de carbonatação da cal, responsáveis pela reação química no processo de endurecimento da argamassa.

A massa específica da argamassa é considerada de duas formas: a massa específica absoluta, a massa específica aparente e a massa específica unitária.

A massa específica absoluta da mistura aglomerante/agregado refere-se ao volume do material sólido, sem considerar os vazios. Dessa forma, a massa específica absoluta consiste na relação entre a massa de material sólido no vácuo e o volume correspondente a uma temperatura estabelecida.

Quando o volume do material sólido inclui os vazios impermeáveis, temos a massa específica aparente. A massa unitária constitui-se na massa do material que ocupa um recipiente com capacidade unitária. Esse valor unitário é utilizado para a conversão de quantidades expressas em massa para quantidades expressas em volumes.

Por fim, a adesão é a propriedade que tem a argamassa no seu estado fresco de aderir a um dado substrato. Essa adesão inicial depende das características de trabalhabilidade da argamassa, bem como das características de porosidade ou rugosidade da base ou do tratamento prévio que aumente a superfície de contato entre os materiais. Essa adesão depende ainda essencialmente das características reológicas da pasta aglomerante.

Quanto às propriedades das argamassas no estado endurecido podem-se citar: resistência mecânica, retração, aderência, permeabilidade e a condutibilidade térmica. A seguir, comentam-se sobre algumas dessas propriedades.

A resistência mecânica consiste na capacidade da argamassa resistir à tensão de tração, compressão ou cisalhamento às quais o revestimento pode estar

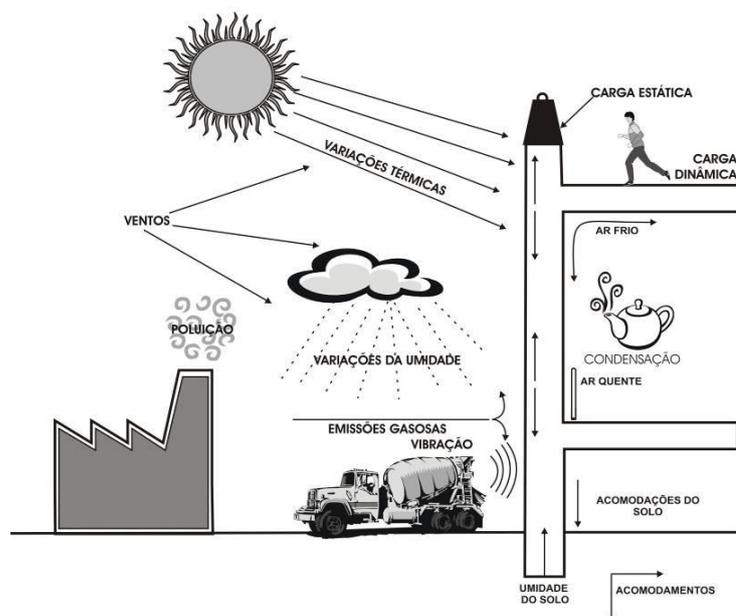
submetido. A resistência mecânica da argamassa depende da proporção dos materiais constituintes da mesma, da temperatura e umidade ambientais a que está submetida (CINCOTTO; SILVA e CARASEK, 1995).

A elasticidade é a capacidade que a argamassa apresenta de se deformar sem que ocorra ruptura retornando às suas dimensões iniciais quando cessarem as solicitações que lhe são impostas. É importante lembrar que essa propriedade determina a ocorrência ou não de fissuras no revestimento, podendo, dessa forma, influir decisivamente sobre o grau de aderência à base e sobre a estanqueidade da superfície, bem como durabilidade.

Uma das propriedades determinantes na função do desempenho do revestimento é a retração. A retração é influenciada pela umidade da pasta do aglomerante, temperatura, incidência solar, umidade relativa e velocidade do ar. A perda de água ocasiona movimentação reversível, que está relacionada à capacidade de absorção de água do sistema base-revestimento, e a irreversível, relacionada ao processo de secagem. Os movimentos irreversíveis resultam da evaporação da água de amassamento, gerando tensões de tração e reações químicas que ocorrem devido à hidratação do cimento.

## **2.2 Tensões atuantes nos revestimentos de argamassa**

As alvenarias externas das edificações constituem o elemento que desempenha a função de separar o ambiente interno do externo e devem resistir às solicitações impostas por esses meios. Muitas vezes as alvenarias externas têm a atribuição de suportar, através da estrutura, esforços atuantes (solicitantes) (Figura 2.2-1).



**Figura 2.2-1 Representação esquemática dos agentes atuantes em sistemas de revestimentos de argamassa** (adaptado por SELMO, 1989)

Para o revestimento, a interação que ocorre com a alvenaria não depende (ou não deve depender) da função de suporte das mesmas, mas apenas de sua função como base para aplicação da argamassa. No entanto, uma vez que o revestimento deve apresentar uma ligação (aderência) estável com a alvenaria, também recebe esses esforços solicitantes diretamente da alvenaria.

Em virtude de os revestimentos serem constituídos por elementos intimamente ligados formando camadas sobrepostas, essas podem apresentar um maior ou menor grau de aderência entre si e ou entre uma dada camada e o substrato.

De acordo com FIORITO (1994), havendo deformação de qualquer uma das camadas ligadas, surgem tensões, seja por causas intrínsecas ou causas extrínsecas.

A diminuição da aderência entre as camadas, ou entre uma camada e o substrato, ocorre quando as tensões atuantes são maiores do que a resistência dos materiais utilizados para a produção do revestimento, ou essas tensões são superiores à capacidade de aderência entre essas camadas. Assim, torna-se necessário mensurar a resistência de aderência entre as camadas do revestimento

com a finalidade de avaliar e prevenir a ocorrência dos esforços que venham provocar danos nesse sistema (BARROS et al., 1997; SARAIVA,1998).

Com base nessas informações, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), através da NBR 13528:2010 e NBR 15258: 2005 propõem métodos para determinação da resistência de aderência de revestimentos à tração, que consiste na aplicação de um esforço de tração normal à superfície da argamassa, aplicada ao substrato, por meio de um suporte metálico associado a um equipamento tensor.

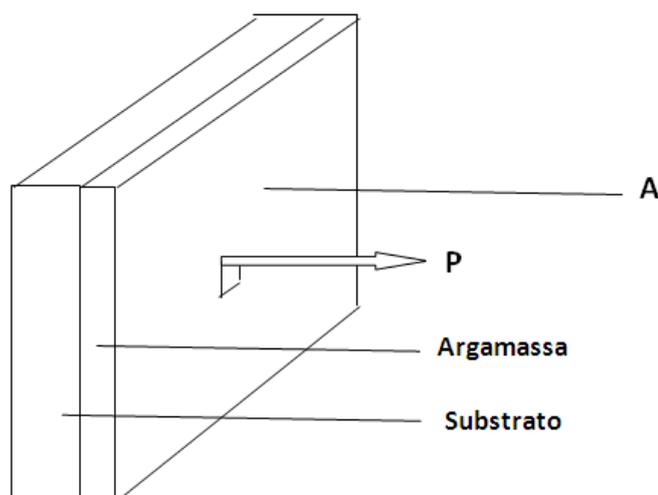
A resistência de aderência do revestimento à tração é obtida pela Equação 2.2-1.

$$Ra = \frac{P}{A}, \quad (\text{Equação 2.2-1})$$

Onde:

- a)  $Ra$  = é a resistência de aderência à tração, em MPa;
- b)  $P$  = carga normal de ruptura (perpendicular à área), em N;
- c)  $A$  = é a área da seção transversal em  $\text{mm}^2$ .

A carga ( $P$ ) e a área ( $A$ ) devem ser introduzidas na expressão de cálculo em número inteiro, enquanto que os valores da resistência de aderência à tração devem ser expressos com duas casas decimais (ABNT NBR 13528: 2010), (Figura 2.2-2).



**Figura 2.2-2 Desenho esquemático de um sistema substrato/revestimento submetido a uma carga de tração**

É importante salientar que a carga de ruptura  $P$  representa a soma das forças distribuídas, resistentes sobre a área do material solicitado.

Para um melhor entendimento, nos tópicos a seguir, serão discutidos e apresentados efeitos influentes e causadores de tensões nas interfaces entre as camadas de revestimentos.

### **2.2.1 Revestimentos submetidos à movimentação higroscópica**

Os materiais de construção porosos sofrem variações dimensionais com as mudanças higroscópicas. Com o acréscimo de umidade são passíveis de expansão enquanto o decréscimo provoca uma contração. O nível de aderência pode influenciar no surgimento de tensões e ocorrência de fissuras e descolamentos, pois na ocorrência de uma aderência perfeita da argamassa ao substrato há restrições que impedem as movimentações (THOMAZ, 1989; FIORITO, 1994).

As oscilações no teor de umidade provocam movimentações de dois tipos; reversíveis e irreversíveis. As movimentações reversíveis são oriundas das variações do teor de umidade do material, ficando delimitadas a período de tempo, mesmo no caso de saturação ou secagem completa do material. As irreversíveis são aquelas que geralmente ocorrem após a fabricação do material e originam-se pela perda ou ganho de água até que se atinja a umidade higroscópica de equilíbrio do material (THOMAZ, 1989).

A Tabela 2.2.1-1 mostra o potencial de movimentações higroscópicas dos principais materiais utilizados em sistemas de revestimento argamassa/substrato, indicando qual parcela é reversível e qual é irreversível.

**Tabela 2.2.1-1 Propriedades higroscópicas dos principais materiais utilizados nos sistemas de revestimentos argamassa/substrato (THOMAZ, 1989)**

Material	Movimentação Higroscópica (%)	Movimentação Higroscópica (%)
	Reversível	Irreversível
Argamassa	0,02-0,06	0,04-0,10(-)
Concreto (com agregado britado)	0,03-0,10	0,03-0,08(-)
Bloco de concreto	0,02-0,04	0,02-0,06(-)
Bloco Sílico-calcário	0,02-0,04	0,01-0,04(-)
Bloco cerâmico	0,02	0,02-0,07(-)

Os revestimentos de argamassa apresentam uma parcela irreversível de retração durante seu endurecimento, devido à perda de parte da água de amassamento, por evaporação para o meio ambiente e/ou migração para o interior do substrato e pelas reações químicas de hidratação e carbonatação do cimento Portland. Por outro lado, podem ocorrer movimentos higroscópicos reversíveis dos revestimentos e dos substratos, associados, em princípio, às variações de umidade relativa do meio ambiente (SELMO, 1989; THOMAZ, 1989), ou ainda podem estar associados a outras causas, tais como:

- a) umidade do solo – ascensão por capilaridade;
- b) umidade de infiltração – absorção de água da chuva;
- c) umidade de condensação superficial ou interna – pressão do vapor de água na superfície superior à pressão de saturação do vapor de água.

Os ciclos de molhagem e secagem dos revestimentos de argamassa, com baixa capacidade de impermeabilização da superfície, associados às movimentações térmicas do revestimento, provocam o surgimento de micro-fissuras na argamassa. Através destas, ocorrerá penetração de água cada vez maior, acentuando-se as movimentações e, conseqüentemente, o aumento de fissuras com riscos de descolamento dos revestimentos (THOMAZ, 1989).

A movimentação higroscópica está diretamente relacionada com a retração. A combinação de outras solicitações com a variação de umidade a qual o substrato está submetido pode gerar uma concentração de tensões de grande intensidade de maneira que ocorra a perda de aderência dos componentes, quando os esforços ultrapassarem o limite de resistência. Sabe-se que os substratos mais antigos ficam

sujeitos a variações dimensionais causadas pelos ciclos higroscópicos, principalmente em locais onde os revestimentos estão submetidos a vapores de água (BARROS; TANIGUTTI; RUIZ; SABATTINI, 1997).

BORTOLUZZO e LIBÓRIO (1999b) avaliaram a influência da umidade relativa (UR) no desenvolvimento de tensões, e verificaram que em URs mais baixas, as tensões tendem a se elevar mais rapidamente, sendo superiores nas primeiras idades e com decréscimos em idades mais avançadas. Isso ocorre porque, devido à estabilização da retração, o fenômeno de relaxação é mais significativo. Já para valores mais altos de umidade, as tensões tendem a serem superiores em idades mais avançadas.

Segundo Veiga (2003), a transição brusca de ambientes úmidos para ambientes mais secos gera tensões no revestimento e reduz a resistência à tração e pode em muitos casos provocar fissuração.

### **2.2.2 Revestimentos submetidos à retração**

A retração é um fenômeno decorrente da variação de umidade das pastas de cimento, argamassas ou concreto. Manifesta-se imediatamente após a sua aplicação e segue até o início do endurecimento. Este tipo de deformação ocorre principalmente devido à perda de água da argamassa para o ambiente e para o substrato, por evaporação ou por sucção.

A retração da argamassa, ainda no estado fresco, é uma contração volumétrica do material pela saída da água livre da mistura. No estado endurecido, a retração é causada pela perda de água adsorvida, isto é, perda da água que está fisicamente aderida à parede dos vazios capilares da pasta. Em condições severas de secagem, também pode ocorrer perda da água inter-lamelar, presente entre as camadas da estrutura de silicato de cálcio hidratado (C-S-H)<sup>3</sup> (MEHTA; MONTEIRO, 1994).

---

<sup>3</sup> O silicato hidratado de cálcio, C-S-H, é um cristal resultante da reação entre os silicatos de cálcio do cimento (C<sub>3</sub>S e C<sub>2</sub>S) com água. São os principais responsáveis pela resistência da pasta endurecida do cimento. A reação química é dada pela equação:  $2C_3S + 6H_2O = C-S-H + 3Ca(OH)_2$ .

De acordo com KANNA, OLSON e JENNINGS (1998) a retração por secagem influencia níveis diferentes da microestrutura, afetando as propriedades mecânicas de dois modos: pelo acréscimo de resistência por meio do aumento da energia superficial e da ligação entre as partículas de (C-S-H); por se tratar de um material frágil, a resistência deve ser reduzida pela formação de micro-fissuras.

As variações volumétricas ocorrem espontaneamente apenas em alguns dos componentes da estrutura interna da argamassa. Deste modo, a restrição da retração provoca o surgimento de esforços de tração durante o processo de secagem.

Em um material à base de cimento, as tensões desenvolvem-se da superfície para o interior, originando tensões de tração na parte externa e compressão na interna. Quanto maior gradiente de tensões, maior a extensão das fissuras (KANNA; OLSON, JENNINGS, 1998).

Quando a tensão de tração resultante alcançar a resistência da argamassa, ela fissurará. Contudo, se as tensões provocadas pela retração restringida forem inferiores [já correspondente a uma deformação imposta, da mesma magnitude, aplicada instantaneamente, implica que a relação entre a retração e as tensões atuantes não dependem apenas da lei que rege o módulo de elasticidade, mas também de fatores relacionados à capacidade de relaxação da argamassa (KOPSCHITZ et al., 1997; BORTOLUZZO; LIBÓRIO, 1999 b; VEIGA, 2003).

Para as argamassas a retração também deve ser analisada atentamente quanto ao comportamento e evolução, em função da idade e condições ambientais, em virtude de alguns procedimentos práticos aplicáveis em obra.

Na colagem de revestimento cerâmico com argamassa colante, por exemplo, é necessário aguardar que a argamassa e emboço (base) atinja um elevado grau de retração antes que se processe o assentamento do revestimento.

FIORITO (1994) verificou que para todas as argamassas de cimento a retração aos sete dias de idade é de 65% a 80% da retração aos 28 dias, quando secas ao ar. Aos 120 dias as argamassas apresentam 80% a 95% da retração total uma vez que reabsorvem umidade.

Considerando-se que, em obras, as argamassas secam ao ar, e considerando-se resultados gerais por secagem ao ar aos 28 dias, pode-se adotar como valor de retração (FIOTITO, 1994):

- a) argamassas em geral = 0,0006 mm/mm;
- b) pasta de cimento = 1,5 mm/mm.

### **2.2.3 Revestimentos submetidos à variação de temperatura**

As movimentações térmicas de um material estão diretamente ligadas às propriedades físicas dos mesmos e com a intensidade de variação de temperatura, a amplitude das tensões desenvolvidas é, então, função do grau de restrição imposto pelos vínculos à esta movimentação (aderência) e da capacidade de deformação do material.

No caso das movimentações térmicas de materiais diferentes é relevante considerar não só a amplitude da movimentação, como também a velocidade com que esta ocorre. Caso ocorra de maneira gradual e lenta, muitas vezes o material que apresenta menor resposta ou pequeno grau de solicitação às variações de temperatura pode absorver as movimentações mais intensas em relação a um material a ele aplicado, e isso não ocorre se a movimentação for brusca (THOMAZ, 1989).

A movimentação térmica diferenciada entre o revestimento e o substrato introduz tensões de compressão na argamassa e cisalhamento na interface argamassa/substrato, capazes de provocar o descolamento do revestimento. Esses esforços são tanto maiores quanto mais rica (em aglomerante) e espessa for a camada de revestimento.

O processo de desenvolvimento de tensões e manifestações patológicas é similar ao ocorrido com a retração, descrito anteriormente (THOMAZ, 1989; TIMOSHENKO; GERE, 1983).

O sistema de revestimento argamassa/substrato sofre deformações devido aos diferentes coeficientes de dilatação (Tabela 2.2.3-1).

**Tabela 2.2.3-1 Propriedades térmicas dos materiais utilizados nos sistemas de revestimentos argamassa/substrato**

<b>Material</b>	<b>Coefficiente de Dilatação térmica (<math>^{\circ}\text{C}^{-6}</math>)</b>
Argamassa	10-13
Concreto (com agregado britado)	10-13
Bloco de concreto	6-12
Bloco Sílico-calcário	8-14
Bloco cerâmico	5-8

Com o acréscimo da temperatura, esses revestimentos estão sujeitos à dilatação e com a redução, contraem-se. A intensidade dessas variações dimensionais, para uma dada variação de temperatura, oscila de material para material, sendo que, na maioria dos casos, as movimentações térmicas são praticamente as mesmas em todas as direções (THOMAZ, 1989; FIORITO, 1994).

De acordo com KÜNZEL (1984) as características termomecânicas referentes à avaliação das tensões e risco de fissuração em revestimentos devido a variações de temperatura são os seguintes:

- a) coeficiente de dilatação térmica ( $\alpha$ );
- b) módulo de elasticidade ( $E$ );
- c) resistência à tração ( $\sigma$ ).

Ainda KÜNZEL (Apud, 1984), propôs que o quociente entre o produto do módulo de elasticidade e do coeficiente de dilatação térmica ( $E.\alpha$ ), pela tensão de ruptura da argamassa ( $\sigma$ ) representasse um parâmetro característico em relação aos riscos de fissuração por solicitações térmicas. Com base no exposto, obtiveram-se as seguintes conclusões:

- a) quanto maior a tensão de ruptura, menor será o risco de fissuração do revestimento por oscilações térmicas;
- b) em temperaturas baixas predomina a componente elástica da deformação, validando o produto ( $E.\alpha$ ), como uma medida de avaliação das tensões térmicas nos revestimentos;
- c) quanto menor o produto ( $E.\alpha$ ), menores são as tensões em decorrência da restrição à dilatação;

- d) o módulo de elasticidade é tanto maior quanto menor for a temperatura ou a umidade do ar, podendo ser mais acentuado em função do tipo do aglomerante.

## **2.3 Fatores que influem no desenvolvimento de tensões**

As tensões que atuam nos sistemas de revestimentos estão diretamente relacionadas à capacidade de deformação da argamassa, conseqüentemente ao seu módulo de elasticidade e a espessura dos revestimentos.

### **2.3.1 Módulo de elasticidade da argamassa**

A resiliência ou elasticidade é um parâmetro fundamental, juntamente com as resistências à tração e à compressão, para caracterizar a resposta mecânica de argamassas e concretos. No sentido restrito do termo, é entendido como a capacidade do material de se deformar sem apresentar ruptura quando sujeito a solicitações diversas e de retornar à dimensão original quando cessam essas solicitações.

Para o caso das argamassas, este conceito pode ser estendido, considerando-se o estado tal de deformação (plástica) em que a ruptura ocorre sob a forma de fissuras microscópicas ou capilares, não prejudiciais (HAECKER et al., 2005).

O módulo de elasticidade é um parâmetro mecânico que proporciona uma medida de rigidez de um material sólido. No caso da argamassa, está relacionado à capacidade de absorver deformações, no entanto, ultrapassa o limite de

elasticidade<sup>4</sup>, apresentando um estado de deformação plástica, irreversível, onde surgem tensões microscópicas que resultam em fissuras.

O índice de fissuração é função da natureza e teor dos aglomerantes, dos agregados, da capacidade de sucção de água da base, condições ambientais e técnica de execução.

De acordo com Carvalho Jr. (2005), nas argamassas fracas, as ligações internas são menos resistentes e as tensões podem ser dissipadas na forma de micro fissuras que surgem nas interfaces microscópicas entre os grãos do agregado e a pasta de aglomerante. Já nas argamassas fortes, com maior limite de resistência, as tensões vão se acumulando e a ruptura ocorre na forma de fissuras macroscópicas. A fissuração pode comprometer a capacidade de aderência na região próxima às mesmas.

Bastos (2003) salienta que a determinação desta propriedade (fissuração) pode ser feita por meio de diferentes métodos de ensaio, cujos principais parâmetros são o tipo de ação física exercida no corpo-de-prova, a velocidade de carregamento e a forma de representação.

De acordo com o tipo de ação, os ensaios do módulo de elasticidade dividem-se em estáticos, sendo mais comuns os carregamentos de compressão, tração e flexão, ou dinâmicos, obtidos a partir de emissão de pulsos ultra-sônicos e produção de ondas vibratórias. No que se refere à forma de representação, pode-se obter os módulos, secante, corda e tangente, ou o módulo tangente inicial, que passa pela origem da curva.

Bastos (2003) e Araújo Jr. (2004) salientam que a determinação do módulo de elasticidade por meio do módulo dinâmico é mais eficaz, por se tratar de um ensaio não destrutivo, rápido, de fácil aplicação, podendo ser realizado em um mesmo corpo-de-prova, em diferentes idades e, por isso, torna-se uma alternativa para o acompanhamento da evolução desta propriedade em argamassas, inclusive aplicadas sobre substrato.

---

<sup>4</sup> Limite de elasticidade de um material é o maior valor de tensão para o qual o material apresenta comportamento elástico, ou seja, quando as deformações causadas por certo carregamento desaparecem com a retirada do carregamento (ASKELAND, 1994).

Esse critério está relacionado às características do material e ao interesse do pesquisador, pois, se pode desejar estudar o comportamento do material apenas dentro do regime elástico de deformações ou até uma determinada porcentagem da tensão de ruptura.

Carvalho JR. (2005) reproduz uma correlação entre o módulo de elasticidade dinâmico e a resistência à tração na flexão das argamassas, apontando para a propensão das argamassas à fissuração em função dos valores obtidos, elaborado por CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DU BÂTIMENT-CSTB, (1982) citado por GOMES (1995) e apresentado na Tabela 2.3.1-1.

**Tabela 2.3.1-1 Potencial de fissuração das argamassas (CARVALHO, 2005)**

<b>Propriedade</b>	<b>Unidade</b>	<b>Baixa Fissurabilidade</b>	<b>Média Fissurabilidade</b>	<b>Baixa Fissurabilidade</b>
Módulo de elasticidade dinâmico	GPa	$E_d \leq 0,7$	$0,7 \leq E_d \leq 1,2$	$E_d > 1,2$
Retração ( $\Delta/l$ )	mm/m	$\Delta L < 0,7$	$0,7 < \Delta l < 1,27$	$\Delta l / l > 1,2$
Correlação entre o módulo de elasticidade dinâmico e tração na flexão ( $E_d/F_r$ )		$E_d/F_r \leq 3500$	$2500 \leq E_d/F_r \leq 3500$	$E_d/F_r \geq 3500$

Fiorito (1994) verificou que as tensões de tração que atuam sobre argamassas muito ricas ( $EA = 13$  a  $14$  GPa) são da ordem de nove a doze vezes maiores em relação às argamassas mais elásticas ( $EA = 1$  a  $2$  GPa). Dessa forma pôde-se constatar que a argamassa com baixo módulo de elasticidade apresenta vantagens em relação às argamassas mais ricas, pois, a deformação lenta terá valores superiores tendendo a neutralizar os efeitos de retração e, a partir daí, as tensões de tração na argamassa e na compressão no substrato tenderão a diminuir consideravelmente, não afetando a qualidade do revestimento.

Umiz, Vernet e Tenoudji (1996), explicam que a evolução do módulo de elasticidade e do coeficiente de Poisson, pode ser analisada em função do grau de hidratação em três regimes, a saber:

- a) regime de conexão dos grãos – Após a dissolução, as reações de hidratação se aceleram, começam a se formar cristais de hidróxido de cálcio e silicato de cálcio hidratado (C-S-H) na superfície dos grãos de cimento, iniciando a conexão progressiva dos grãos. Durante este período de conexão, ocorre um decréscimo no coeficiente de Poisson. O grau de conexão, avaliado a partir do módulo de cisalhamento, aumenta com o tempo, conforme a lei de Powers. O acréscimo do módulo elástico coincide com o período de aceleração da hidratação;
- b) regime de transição (conexão dos grãos e preenchimento dos poros)- Este período corresponde a menor evolução do módulo de elasticidade e redução do coeficiente de Poisson, porque, neste regime, as reações são controladas pela difusão da água e íons através das camadas hidratadas dos grãos de cimento, cuja espessura aumentou e o fluxo térmico diminuiu. Acredita-se que o preenchimento de poros ocorre dentro dos primeiros aglomerados de grãos, antes da conexão total dos mesmos;
- c) regime de preenchimento dos poros – A conexão total entre os grãos é simultânea ao terceiro regime de evolução, durante o qual, a hidratação preenche somente os poros capilares. Há um aumento relativo no módulo de elasticidade porque a taxa de formação de hidratos é menor que a obtida durante o período de conexão dos grãos.

De acordo com John, (2003), a magnitude das tensões de cisalhamento na interface argamassa/substrato é dada pelo módulo de elasticidade do revestimento de argamassa e da espessura da camada.

Quanto maior o módulo de elasticidade maior será o esforço que a interface deverá suportar para um mesmo nível de deformação. Desse modo, a argamassa de revestimento ideal possui baixo módulo de elasticidade. Uma alternativa de reduzir o módulo de elasticidade das argamassas é a substituição de parte do cimento por cal e aditivos.

Quarcioni e Cincotto (2005) observaram que os valores do módulo de elasticidade aumentam em função da diminuição do teor de cal, justificando a capacidade da cal de conferir deformação às argamassas. Essa capacidade pode ser explicada pelo acréscimo de trabalhabilidade e plasticidade que a cal confere às

argamassas no estado fresco, menor retração hidráulica e reconstituição autógena das fissuras devido à carbonatação.

O uso de aditivos químicos, tais como plastificantes e incorporadores de ar reduzem o módulo de elasticidade das argamassas, conforme os resultados mostrados por Ferreira e Silva (1995). Yoshida e Barros (1995), Araújo e Tristão (1995), Carasek (1996), Araújo JR. (2004). Analisando argamassas industrializadas, também encontraram valores inferiores aos módulos de elasticidade obtidos com argamassas mistas e de cimento, fato atribuído à presença de aditivos químicos nas argamassas industrializadas. A redução do módulo nestas argamassas se justifica não pelo uso dos aditivos, mas, pelo aumento da porosidade ocasionada pelas bolhas do ar.

Segundo Maciel, Barros e Sabbatini (1998), a capacidade de um revestimento absorver deformações não depende somente do módulo de elasticidade da argamassa do revestimento; os seguintes fatores também contribuem:

- a) espessuras das camadas – espessuras maiores contribuem para melhorar esta propriedade, no entanto, deve se tomar cuidado com espessuras excessivas, pois podem comprometer a capacidade de aderência;
- b) Juntas de trabalho do revestimento – as juntas delimitam panos com dimensões menores, compatíveis com as deformações, contribuindo para a obtenção de um revestimento sem fissuras prejudiciais.

### **2.3.2 Espessura do Revestimento**

Outro fator preponderante no surgimento de tensões internas é a espessura do revestimento. BARROS et al., (1997), afirmam que espessuras excessivas de argamassa, superiores a 2 cm, podem, por retração, apresentar tensões elevadas de tração entre a interface argamassa/substrato podendo provocar o descolamento do revestimento.

A Tabela 2.3.2-1 apresenta as espessuras admissíveis para os revestimentos em argamassa, segundo a NBR 13749 (ABNT, 1996).

**Tabela 2.3.2-1 Espessuras admissíveis para os revestimentos de argamassas (ABNT 1996)**

Revestimento	Espessura (mm)
Parede interna	$5 \leq e \leq 20$
Parede externa	$20 \leq e \leq 30$
Tetos internos e externos	$e \leq 20$

Caso não seja possível atender às espessuras admissíveis devem ser tomados cuidados especiais. A NBR 13755 (ABNT, 1996) recomenda o uso de tela metálica para espessuras argamassas acima de 25 mm com a finalidade garantir a aderência entre as camadas sucessivas aplicadas, conforme mostra a Figura 2.3.2-1.



**Figura 2.3.2-1 Aplicação de tela metálica em revestimento apresentando grande espessura Edifício Residencial na Região Metropolitana do Recife (Julho, 2010)**

Na análise numérica realizada por Bortoluzzo e Libório (1999a), os autores constataram que a espessura do revestimento não exerce influência nas tensões de tração máxima, no entanto as tensões de cisalhamento dependem da espessura da argamassa de revestimento, sendo que quanto maior essa espessura maior será a tensão máxima cisalhante.

### 3 ADERÊNCIA

A aderência é a propriedade determinante necessária para garantir a estabilidade entre a argamassa e o substrato ou entre as camadas desse sistema. A aderência, por ser uma das propriedades da argamassa, tem importância significativa no desempenho do revestimento.

A ABNT NBR-13528: 2010 trata da determinação da resistência de aderência à tração, que consiste na aplicação de uma carga perpendicular constante ao sistema de revestimento.

A falta ou perda da aderência pode causar prejuízos à habitabilidade, ao conforto, além de prejuízo econômico e comprometimento estético e em alguns casos, estrutural da edificação. É importante salientar que se essa falta de aderência ocorrer nas fachadas das edificações, a queda de material pode resultar em acidentes graves ou até fatalidades.

Para estudar a propriedade de aderência das argamassas é necessário conhecer:

- a) mecanismo de ancoragem entre uma base qualquer e materiais cimentícios;
- b) fatores que afetam a aderência das argamassas;
- c) formas de medição e avaliação da aderência das argamassas.

#### 3.1 Conceituação

Segundo CARASEK (1996), entende-se por aderência, no caso dos revestimentos e juntas de assentamento em argamassa, como sendo a resistência e a extensão do contato entre a argamassa e uma base porosa. A extensão de contato seria, então, a razão entre a área de contato efetivo e a área total possível de ser unida à base porosa, sendo esta base representada pelas unidades de alvenaria, tais como: tijolos e blocos cerâmicos, de concreto, concreto celular, sílico-calcário, etc.

A aderência é significativamente influenciada pelas condições da base, tais como, a porosidade e absorção de água, resistência mecânica, textura superficial,

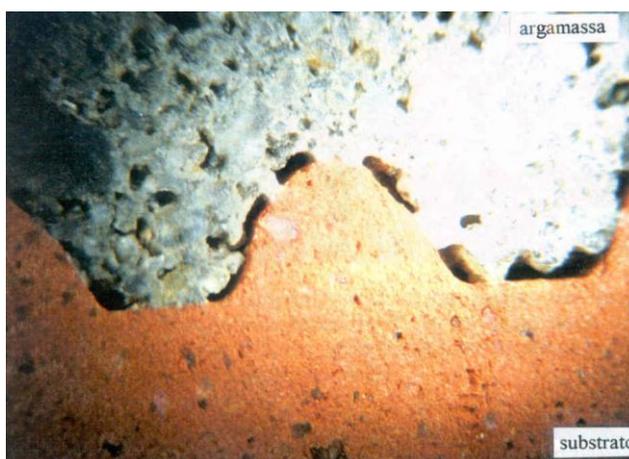
natureza do aglomerante, e pelas próprias condições de execução de assentamento de componentes da base (CINCOTTO; SILVA; CARASEK, 1995).

A aderência (no inglês, “bond”) e adesão (no inglês, “adhesion”) são freqüentemente consideradas como sinônimo. Considera-se o termo aderência quando se tem a argamassa no estado endurecido, enquanto que adesão se refere quando à argamassa ainda está no estado fresco.

### 3.2 Mecanismo de aderência do sistema argamassa/substrato

Sabe-se que a argamassa, em seu estado plástico, contém, em dissolução ou em estado coloidal, os componentes do aglomerante. Esses componentes penetram nos poros e cavidades do substrato (ou entre camadas), onde ocorrem fenômenos de precipitação, ou seja, a formação de trissulfoaluminato de cálcio hidratado (Etringita) e hidróxido de cálcio da cal (Portlandita). Transcorrido certo tempo, com a cura, esses precipitados em seus estados cristalizados intercapilares exercem a função de ancoragem da argamassa à base (substrato ou entre camadas)

As Figuras, 3.2-1 e 3.2-2 mostram exemplos do mecanismo de aderência entre argamassa de cimento, cal e areia e substratos cerâmicos (CARASEK, 1996).



**Figura 3.2-1 Defeitos na interface entre a argamassa e as reentrâncias do bloco cerâmico (CARASEK, 1996)**



**Figura 3.2-2 Argamassa aplicada com perfeita adesão nas reentrâncias do bloco cerâmico (CARASEK, 1996)**

### **3.3 Ensaio da resistência de aderência à tração direta**

De um modo geral, a determinação da intensidade da resistência de aderência de revestimentos em argamassa só pode ser obtida através de ensaios destrutivos. Desconhece-se no momento, um método não-destrutivo normatizado para o caso específico de argamassas de revestimento (CARASEK, 1996).

A resistência de aderência à tração ou resistência de arrancamento é definida como sendo a tensão máxima suportada por um corpo-de-prova de revestimento, na interface de avaliação, quando submetido a um esforço normal de tração.

No Brasil, o ensaio para determinação da resistência de aderência à tração é normatizado pela NBR 13528 (ABNT, 2010), cujo título é: “Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – Determinação da resistência de aderência à tração”.

Para a realização do ensaio propriamente dito, procede-se à preparação dos corpos-de-prova a serem analisados da seguinte forma:

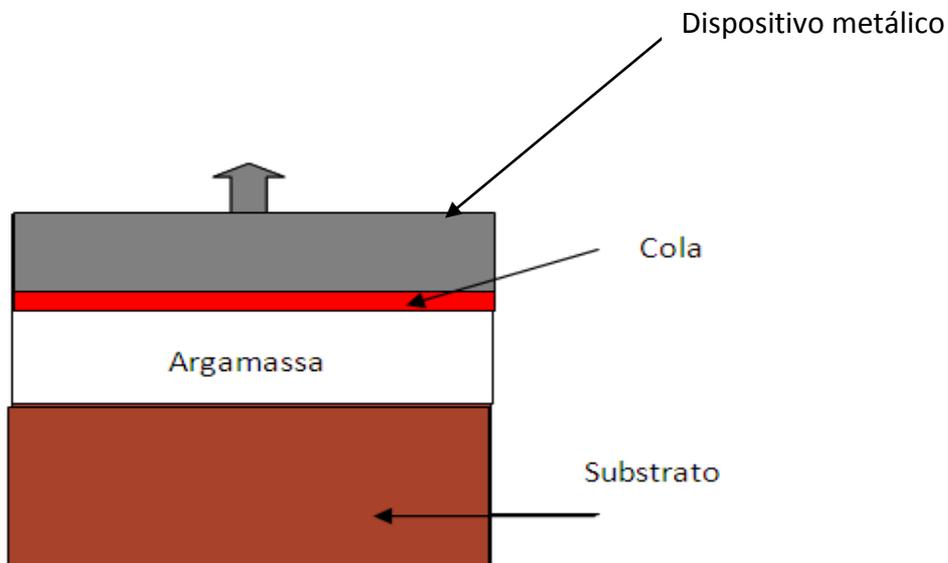
- a) corta-se o revestimento perpendicularmente ao seu plano delimitando-se o corpo-de-prova de revestimento, podendo este encontrar-se no seu estado fresco ou endurecido (mais comum);
- b) sobre esse corpo-de-prova é colado um dispositivo metálico para possibilitar a execução do ensaio de arrancamento;

- c) após a cura do adesivo, o equipamento de tração (aderímetro) é acoplado ao dispositivo metálico e este é tracionado até a ruptura do corpo-de-prova.

A Figura 3.3-1 mostra um sistema de revestimento a ser ensaiado onde se observam as camadas constituintes.

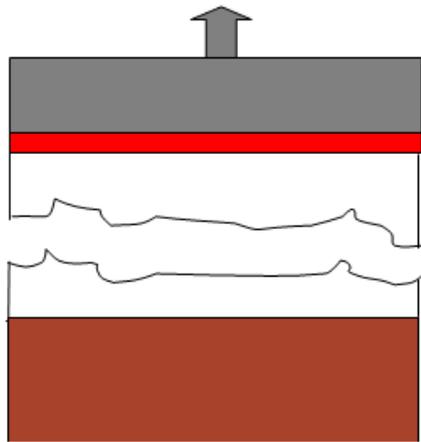
Durante os ensaios, as rupturas<sup>5</sup> nos corpos-de-prova podem acontecer em uma das seguintes formas:

- a) na argamassa (Figura 3.3-2);
- b) na interface argamassa/substrato (Figura 3.3-3);
- c) no substrato (Figura 3.3-4);
- d) na interface argamassa/cola (Figura 3.3-5);
- e) na interface cola/dispositivo metálico (Figura 3.3-6).

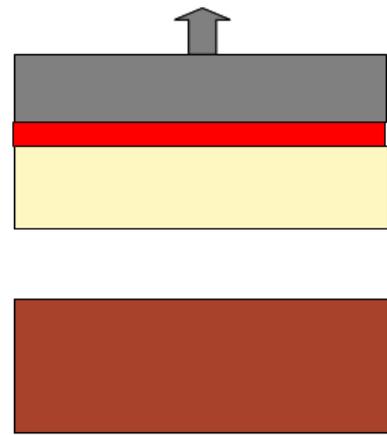


**Figura 3.3-1 Sistema: cola/argamassa/dispositivo metálico/substrato**

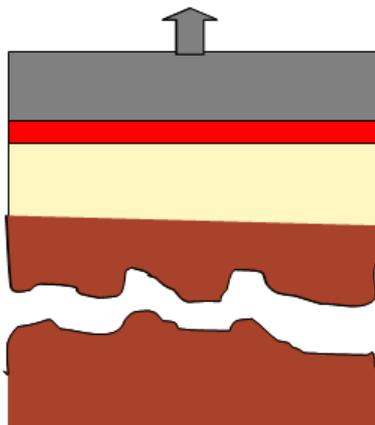
<sup>5</sup> Também pode acontecer um tipo de ruptura mista, no mesmo corpo-de-prova, como por exemplo, um percentual X% na argamassa + um percentual y% no substrato, onde,  $x\% + y\% = 100\%$  da área total do corpo-de-prova analisado.



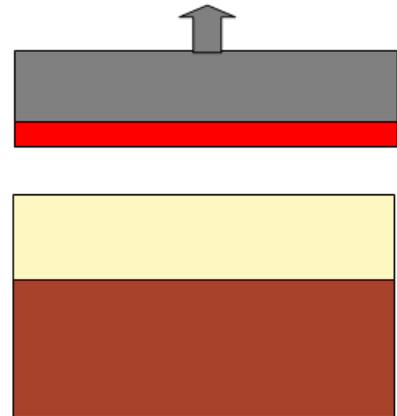
**Figura 3.3-2 Ruptura na argamassa substrato/argamassa**



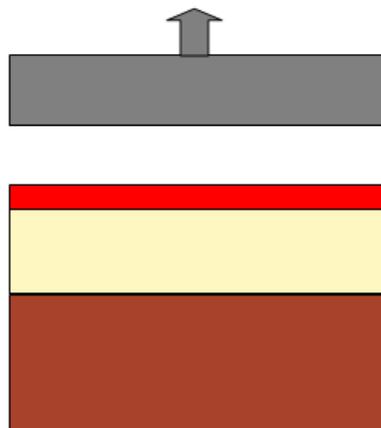
**Figura 3.3-3 Ruptura na interface substrato/argamassa**



**Figura 3.3-4 Ruptura no substrato argamassa/cola**



**Figura 3.3-5 Ruptura na interface argamassa/cola**



**Figura 3.3-6 Ruptura na interface cola/dispositivo metálico**

A ABNT NBR 13.755: 1996, em seu Anexo A, apresenta o método de ensaio para a determinação da resistência de aderência especialmente para revestimentos cerâmicos assentados com argamassa colante. Esse teste tem por objetivo determinar a capacidade resistente das camadas do sistema de revestimento. Para cada “pano” ensaiado, composto por seis pontos de arrancamento, pelo menos quatro deles devem apresentar uma resistência de aderência mínima de 0,30 MPa, para o caso de revestimentos externos. A área de ensaio para esses seis pontos deve ser igual ou inferior a 100m<sup>2</sup>.

A Tabela 3.3-1 apresenta as cargas solicitantes requeridas para o ensaio de resistência de aderência à tração.

**Tabela 3.3-1 Limites de resistência de aderência à tração (RA) para emboço massa/única (NBR 13749, 1996)**

Local	Acabamento		Ra (MPa)
Parede	Interna	Pintura ou base de reboco	≥0,20
		Cerâmica ou laminado	≥0,30
	Externa	Pintura ou base de reboco	≥0,30
		Cerâmica	≥0,30
Piso	NBR 13753-Piso cerâmico Interno e externo		≥0,30

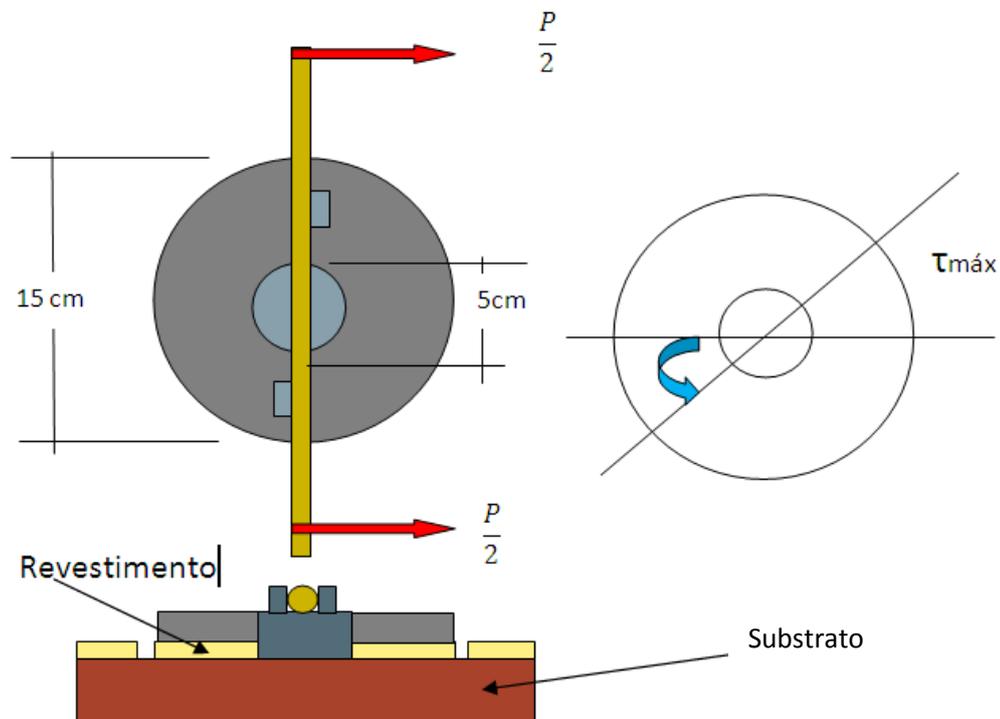
### 3.4 Ensaio da resistência de aderência ao cisalhamento

No que se refere ao ensaio da resistência de aderência de revestimentos de argamassa ao cisalhamento, a RILEM – REUNION INTERNACIONAL DES LABORATORIES D’ESSAIS ET MATERIAUX, propõe dois métodos em laboratório: por torção (MR-20) e por corte (MR- 14).

No método por torção, MR-20, “Determination of the bond strength of rendering by Torsion Test” (RILEM, 1994), o revestimento é submetido a um esforço

de torção mediante a rotação de um anel metálico colado sobre uma superfície, conforme mostra a Figura 3.4-1.

A rotação do anel se faz por meio da aplicação de um torque sobre o eixo perpendicular à área circular de ensaio, usando-se para isso um braço metálico conectado ao anel, forçando este a girar, torcindo o revestimento. Devem ser realizados no mínimo 3 pontos de ensaio para cada situação revestimento/substrato, e o ensaio é realizado com o conjunto revestimento/substrato na posição horizontal.



**Figura 3.4-1 Ensaio de determinação da resistência de aderência ao cisalhamento por torção – RILEM-MR-20**

Para o método de ensaio por corte (MR-14), “Determination of the bond of rendering by Shear Tests”(RILEM, 1994), são preparados dois blocos de alvenaria revestidos nas faces opostas. Após a cura, quando do ensaio dos revestimentos, placas metálicas são coladas sobre as faces do bloco revestido, ligando-os, porém deixando entre eles um espaço livre.

Assim, o corpo-de-prova, constituído pelos dois blocos revestidos nas faces opostas e unidos pelas placas metálicas, é submetido a um carregamento na direção paralela ao plano dos revestimentos até a ruptura (Figura 3.4-2). Com a

carga de ruptura, a tensão de cisalhamento ( $\tau$ ) é calculada de acordo com a Equação 3.4-1. Para cada situação analisada devem ser realizadas no mínimo 5 determinações.

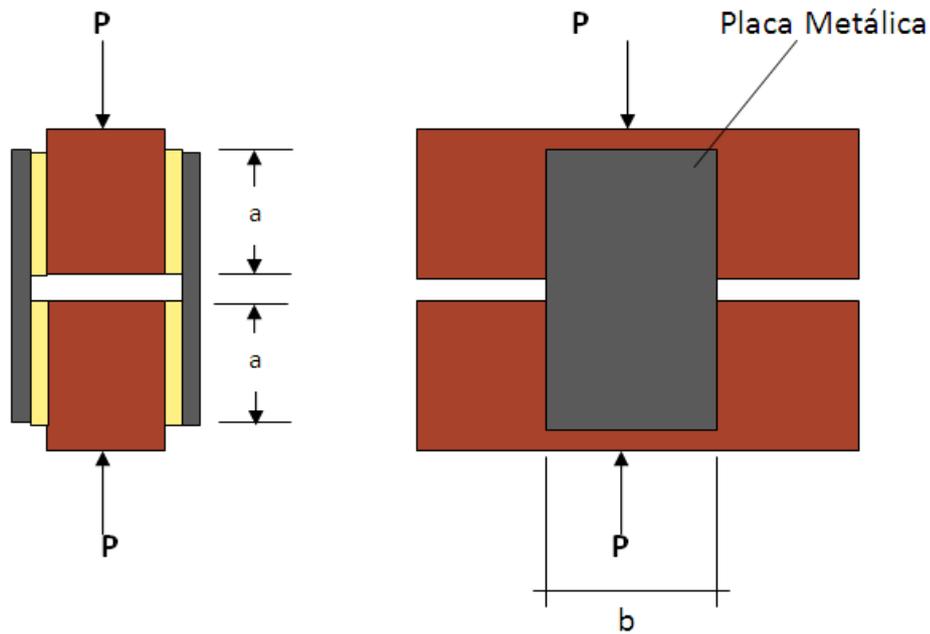
$$\tau = \frac{P}{4ab} \quad \text{(Equação 3.4-1)}$$

Onde:

$\tau$  = resistência de aderência ao cisalhamento, em MPa

P= carga de ruptura, em N;

a,b = dimensões da área do revestimento solicitado ao cisalhamento, em mm (Figura 3.4-2).



**Figura 3.4-2** Ensaio de determinação da resistência de aderência ao cisalhamento pelo método de MR 14-RILEM (1984).

## 4 INVESTIGAÇÃO LABORATORIAL

O presente estudo surgiu da necessidade de se procurar obter um método de ensaio para determinação da resistência de aderência ao cisalhamento nas fachadas das edificações. Conforme anteriormente relatado no item 1.1, não existe na literatura e normalização brasileira um método de ensaio, para determinação da resistência de aderência ao cisalhamento, talvez por não se achar relevante, conforme cita FIORITO, (1994) em seu livro Manual de Argamassa e Revestimentos, ou por não haver maiores estudos a respeito da determinação dessa tensão. Por isso, quando se fala em ensaio de resistência de aderência ao cisalhamento toma-se normalmente a literatura estrangeira: RILEM- MR-14 e MR-20.

Sabe-se que, para um dado vetor aplicado sob um ângulo diferente de  $0^\circ$ , obtêm-se dois componentes: uma projeção do vetor considerado sobre o eixo vertical (eixo dos senos) e uma projeção sobre o eixo horizontal (eixo dos cossenos).

A partir daí, surgiu a ideia de realizar-se o ensaio de resistência de aderência obliquamente, com a finalidade de obter-se as projeções, vertical (componente da resistência de aderência tração normal), e horizontal (componente da resistência de aderência ao cisalhamento) (Figura 4-1).

De acordo com a tabela trigonométrica, tem-se que, enquanto o seno de um ângulo cresce, o cosseno decresce (Tabela 4.1). Assim, a questão a seguir consistiu-se em determinar o valor da resistência de aderência ao cisalhamento em função da resistência de aderência oblíqua.

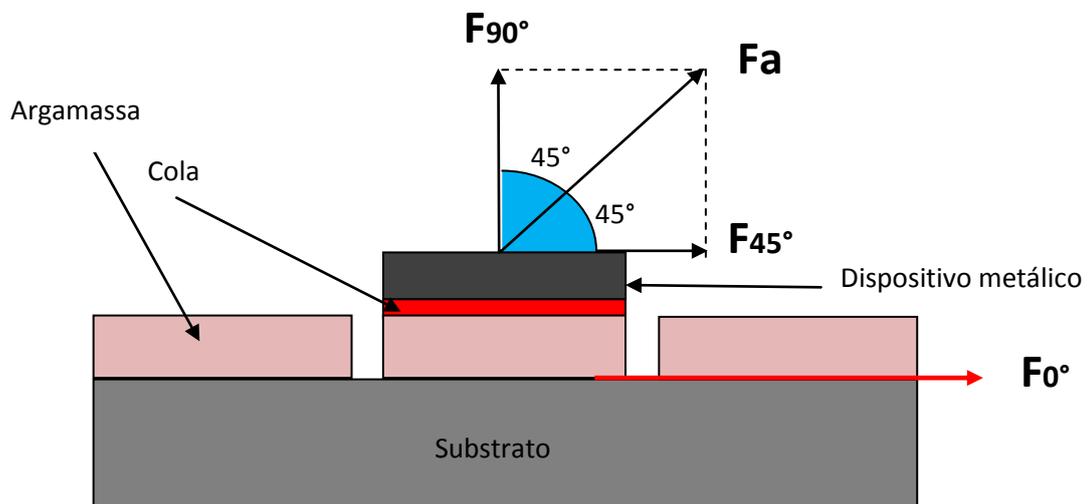
Para simplificar o método, fixou-se o ângulo de  $45^\circ$  para aplicação das cargas, visto que o seno e o cosseno têm o mesmo valor.

Além de simplificar a determinação de uma relação entre a carga de arrancamento oblíquo com a carga de cisalhamento, a escolha do ângulo de  $45^\circ$  contribuiu para a elaboração de um dispositivo para tornar possível a execução dos ensaios nesse ângulo.

Tabela 4-1 Relações trigonométrica entre o seno e o cosseno de um ângulo

Ângulo ( $\theta$ )	Seno ( $\theta$ )	Cosseno ( $\theta$ )
90	1,000	0,000
80	0,985	0,174
70	0,948	0,342
60	0,866	0,500
50	0,766	0,634
<b>45</b>	<b>0,707</b>	0,707
40	0,634	0,766
30	0,500	0,866
20	0,342	0,948
10	0,174	0,985
0	0,000	<b>1,000</b>

Figura 4-1 Tensões aplicadas a um sistema substrato/revestimento/cola/dispositivo metálico



Tomando-se como base a Figura 4-1, e desprezando-se a massa do dispositivo metálico (placa), pode-se escrever:

$$F(45^\circ)^2 + F(90^\circ)^2 = Fa^2$$

Como  $F(45^\circ)^2 = F(90^\circ)^2$  pode-se escrever:

$$Fa^2 = 2F(45^\circ)^2, \text{ ou } Fa = \sqrt{2}F(45^\circ). \quad \text{(Equação 4-1)}$$

1)

Observando-se a tabela trigonométrica (Tabela 4.1), observa-se que, enquanto o seno decresce, o cosseno cresce. Dessa forma, pode-se deduzir que:

Existe um parâmetro, K, tal que:

$$F(0^\circ) = K \cdot F(45^\circ). \quad \text{(Equação 4-2)}$$

Comparando-se as equações (2 e 3), chega-se à expressão,

$$K = \frac{\sqrt{2} \times F(0^\circ)}{Fa} \quad \text{(Equação 4-3)}$$

Onde:

- a) K= parâmetro calculado;
- b)  $F(0^\circ)$  = tensão de cisalhamento a  $0^\circ$ ;
- c)  $Fa$  =tensão de arrancamento a  $45^\circ$ .

## 4.2 Ensaio-Piloto

Antes do experimento propriamente dito (efetivo) foram executados ensaios de aderência sob os ângulos de  $0^\circ$ ,  $45^\circ$  e  $90^\circ$ , pontos experimentais, como um ensaio-piloto para ajuste dos procedimentos e equipamento de ensaios.

Os ensaios a  $0^\circ$  e  $45^\circ$  foram realizados com a finalidade de calibração dos dispositivos idealizados.

Para o ensaio-piloto foram preparados 3 painéis, sendo 1 painel feito com blocos cerâmicos (Figura 4.2-1) e 2 painéis com blocos de concreto (Figura 4.2-2),

com dimensões de 400 mm X 600 mm, sobre os quais foram confeccionados 6 corpos-de-prova por painel, sendo 2 para ensaio a 0°, 2 a 45° e 2 a 90°. Os painéis preparados foram revestidos com uma argamassa de reboco industrializada com espessura média de  $20 \pm 3$  mm.



**Figura- 4.2-1 Painel de bloco cerâmico pronto para o Ensaio-piloto**



**Figura 4.2-2 Preparação do painel de bloco de concreto para o Ensaio-piloto**

Além da calibração do dispositivo idealizado para a realização do ensaio a 45°, o Ensaio-piloto foi importante para verificar previamente uma possível relação (constante) entre as tensões de cisalhamento a  $\sigma(45^\circ)$ , tensão de cisalhamento a  $F(0^\circ)$  e a de arrancamento,  $F_a$ , a partir dos dados observados.

Assim, através desse pré-teste procurou-se verificar uma relação tal que  $F(0^\circ) = K \cdot F_a(45^\circ)$ , objetivo dessa pesquisa.

Esse estudo também serviu para a tomada de decisão quanto aos ajustes necessários ao método a ser aplicado, para realização dos ensaios definitivos da pesquisa.

A seguir, são apresentados os dados dos ensaios e os resultados obtidos para a constante K nesses testes-piloto (Tabelas 4.1-1, 4.2-2 e 4.2-3).

**Tabela 4.2-1 Ensaio-piloto 1**

<b>Ensaio</b>	<b>Carga Individual (kgf)</b>	<b>Carga média (kgf)</b>	<b>Valor de K</b>	<b>Substrato</b>
90°	30,4	30,4	3,5567	Bloco cerâmico
45°	60,0	60,0		
0°	164,0 137,8	150,9		

**Tabela 4.2-2 Ensaio-piloto 2**

<b>Ensaio</b>	<b>Carga Individual (kgf)</b>	<b>Carga média (kgf)</b>	<b>Valor de K</b>	<b>Substrato</b>
90°	67,6 85,4	76,5	3,1207	Bloco de concreto
45°	110,0 146,4	128,2		
0°	311,2 254,6	282,9		

Tabela 4.2-3 Ensaio-piloto 3

Ensaio	Carga Individual (kgf)	Carga média (kgf)	Valor de K	Substrato
90°	67,6	76,5	3,1207	Bloco de concreto
	85,4			
45°	110,0	128,2		
	146,4			
0°	311,2	282,9		
	254,6			

Nas tabelas apresentadas pode-se verificar que os valores das constantes K, para as três situações, apresentaram-se bastante próximos.

Os valores das constantes foram calculados através da equação E 4.2-1.

$$K = \frac{\sqrt{2} \times F(0^\circ)}{F_a} \quad \text{(Equação 4.2-1)}$$

Onde:

- a) K= Parâmetro calculado;
- b) F(0°) = Força de arrancamento obtida através do ensaio realizado a 0°;
- c) F(45°) = Força de arrancamento obtida através do ensaio realizado a 45°.

Através de uma média aritmética simples foi obtido um valor médio representativo dos ensaios,  $k_m = 3,3078$ .

#### 4.2.1 Dificuldades encontradas nos testes-piloto

Durante os testes piloto surgiram dificuldades quanto à confecção dos dispositivos metálicos para execução dos ensaios de arrancamento, tanto a 45°, quanto a 0°. Essas dificuldades foram sanadas a partir do aprimoramento e ajuste dos dispositivos conforme comentado a seguir:

- a) durante a realização do ensaio a 45° verificou-se que o dispositivo elaborado causou tensão de compressão no meio do painel chegando em alguns casos a seccioná-los;
- b) na realização do ensaio a 0° verificou-se, durante os ensaios-pilotos que os apoios de madeira para (Figura 4.2.1-1) sofria deformação dificultando a realização do ensaio. Assim, procurou-se elaborar um dispositivo metálico para a execução do ensaio sob esse ângulo (Figura 4.2.1-2). Mesmo assim observou-se que esse dispositivo metálico tendia a uma rotação, visto que as “borboletas” não se prendiam perfeitamente ao painel prejudicando o ensaio.



**Figura 4.2.1-1 A madeira vista na figura apresentou deformação quando da execução do ensaio de cisalhamento**



**Figura 4.2.1-2 Dispositivo metálico elaborado para procurar evitar a deformação observada no apoio de madeira (Figura 4.2.1-1)**

- c) foi desenvolvida uma estrutura metálica “abraçadeira”, construída com cantoneira “L” de alma de 3 mm e aba de 38 mm para procurar solucionar essas falhas. Essa estrutura corrigiu as deficiências observadas quando da execução dos ensaios a 45° e a 0°(Figura 4.2.1-3).



**Figura 4.2.1-3 Abraçadeira desenvolvida para correção apresentadas nos ensaio executados a 0° e 45°**



Figura 4.2.1-4 “Abraçadeira” – Vista lateral - Execução do ensaio a 45°



Figura 4.2.1-5 “Abraçadeira”- Vista frontal - Execução do ensaio a 45°

### 4.3 Variáveis de estudo

Para a execução da investigação experimental a principal variável adotada para o estudo foi o ângulo de aplicação da força de arrancamento do revestimento, conforme se segue:

- a) ângulo 90°: esforço de tração direta aplicada sobre o revestimento;
- b) ângulo de 45°: esforço de tração oblíqua ao plano de aplicação do revestimento;
- c) ângulo de 0°: esforço de cisalhamento direto aplicado sobre o revestimento.

Os demais elementos componentes do estudo experimental foram adotados como condições fixas, a saber:

- a) geometria e dimensões dos corpos-de-prova;
- b) tipo de substrato: bloco de vedação em concreto; tipo de argamassa: argamassa mista industrializada utilizada para revestimento de paredes internas e externas;
- c) equipamento de ensaio: aderímetro com capacidade de 10.000 N e resolução de 20 N sem velocidade eletro-mecânica controlada;
- d) tipo de cola: resina epóxi bi-componente;
- e) operador: mesmo operário para confecção das amostras de estudo, assim como para as atividades de ensaio de aderência.

### 4.4 Descrição das amostras de estudo

A seguir são apresentados os materiais utilizados durante o processo de preparação dos painéis a serem ensaiados, bem como as suas principais características.

#### 4.4.1 Argamassa

A argamassa empregada para revestimento dos painéis foi industrializada do tipo ARG-II de acordo com a NBR 13529 (ABNT, 1995). Optou-se por esse tipo de argamassa em virtude de o processo industrial procurar manter as mesmas características de produção, o que normalmente não acontece com argamassa preparada manualmente em obra.

Na Tabela 4.4.1-1, são apresentados os dados técnicos fornecidos pelo fabricante da argamassa utilizada para preparação do revestimento.

**Tabela 4.4.1-1 Dados técnicos fornecidos pelo fabricante da argamassa empregada no revestimento dos painéis de estudo**

Argamassa	Reboco pronto
Tipo	Industrializada
Norma	ABNT NBR 13281
Vida útil de preparo	1 hora
Cura final	28 dias
Embalagem	20 kg
Consumo	1,2 a 1,5 m/saco de 20 kg <sup>2</sup>
Cura final	28 dias
Composição	CP 32, Cal virgem, Carbonato, Areia e Aditivos químicos
Prazo de validade	4 meses

#### 4.4.2 Substrato

A descrição do substrato empregado para revestimento dos painéis é mostrada na Tabela 4.4.2-1.

**Tabela 4.4.2-1 Substrato (bloco) utilizado para preparação dos painéis para ensaio**

Nomenclatura	Norma	Dimensões (mm)
Bloco vazado de concreto simples-Classe D	NBR 6136:2007	390x190x90

Na Figura 4.4.2-1, apresenta-se o referido bloco de concreto utilizado para confecção dos painéis para os ensaios.

O substrato foi utilizado na sua forma “seca” (umidade natural).



**Figura 4.4.2-1- Bloco de concreto utilizado para execução dos painéis, com as dimensões de 90 mm x190 mm x390 mm**

#### 4.4.3 Água

A água de amassamento utilizada foi fornecida pelo sistema de abastecimento local, Companhia Pernambucana de Saneamento (COMPESA).

#### 4.5 Quantidades de painéis e corpos de prova

Conforme comentado no item 4.2 o ensaio experimental para a o ensaio propriamente dito procurou-se confeccionar painéis com dimensões de 400 mm por 600 mm, compostos por três blocos de concreto com dimensões de 390 mm x190 mm x 90 mm cada.

Após a execução dos painéis (assentamento dos blocos de concreto) esperou-se dois dias para endurecimento das juntas de assentamento. Depois desse período procedeu-se à execução do revestimento da primeira face do painel, esperando-se mais 2 dias para finalmente executar o revestimento da segunda face do mesmo. A argamassa utilizada para o assentamento dos blocos de concreto, para formação do painel, foi do mesmo lote da utilizada a ser utilizada na execução do revestimento (Figuras 4.5-1 e 4.5-2).

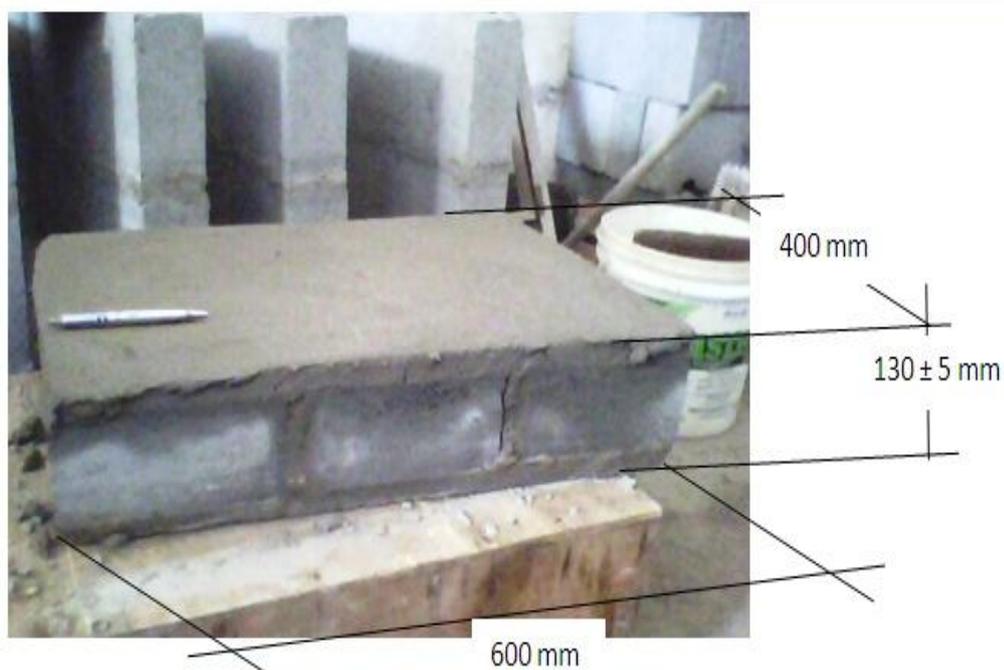
No total foram ensaiados 180 corpos-de-prova sendo 60 para cada tipo de ensaio. Essa quantidade teve como finalidade dar condições à elaboração de um estudo estatístico para análise dos resultados com o objetivo de verificar uma relação entre os resultados obtidos nos ensaios a 45° e a 0°.

**Tabela 4.5-1 Quantidade de corpos-de-prova (cp's) a serem ensaiados**

Tipo de ensaio	Quantidade de cp's	Quantidade de painéis	Total de cp's
Cisalhamento (0°)	04	15	60
Tração oblíqua (45°)	04		60
Tração normal (90°)	04		60



**Figura 4.5-1 Painéis prontos para serem revestidos**



**Figura 4.5-2 Revestimento dos painéis**

## **4.6 Preparação dos corpos-de-prova**

Na preparação dos corpos-de-prova procederam-se as etapas seguintes.

### **4.6.1 Preparação da argamassa**

O método utilizado no preparo da argamassa pode ser resumido nas seguintes etapas mostradas:

- a) colocação da argamassa numa cuba plástica (4.6.1-1 e 4.6.1-2);
- b) adição de 4 litros de água potável para os 20 kg de argamassa/saco (4.6.1-3);
- c) mistura manual até adquirir-se uma consistência plástica (4.6.1-4);
- d) manutenção da argamassa em repouso durante 5 minutos;
- e) re-mistura da argamassa por mais 3 minutos;

f) aplicação da argamassa sobre o substrato.



**Figura 4.6.1-1** Cuba plástica para preparação da argamassa de revestimento



**Figura 4.6.1-2** Colocação da argamassa na cuba



**Figura 4.6.1-2** Adição da água de amassamento



**Figura 4.6.1-3 Mistura manual da argamassa**

A partir da argamassa industrializada, preparada conforme as recomendações do fabricante, foram executados os revestimentos sobre os painéis. Para tanto, os painéis foram apoiados horizontalmente e umedecidas suas superfícies com uma brocha e sobre os mesmos foi lançada a argamassa de revestimento tendo-se o cuidado de pressioná-la com a colher de pedreiro, sobre os painéis.

O umedecimento teve por finalidade a redução, nas primeiras horas, da sucção por capilaridade da água da argamassa, pela alta absorção do substrato, no caso, os blocos de concreto. Segundo CARASEK, CASCUDO e SCARTEZINI (2001), esse procedimento tem como função procurar evitar a formação de microfissuras na interface argamassa/substrato não comprometendo a aderência.

Para finalização do revestimento a superfície do mesmo foi sarrafeada com uma régua de alumínio e alisada com desempenadeira de madeira.

A execução desses serviços foi realizada por um profissional bastante experiente na produção de revestimentos. Os painéis foram revestidos nas duas faces com o objetivo de aproveitar as áreas (Figura 4.6.1-5).



**Figura 4.6.1-4 Revestimento dos painéis – Acabamento superficial**

#### **4.6.2 Espessura do revestimento**

A espessura adotada no revestimento dos blocos foi fixada em  $20\text{ mm} \pm 3\text{ mm}$ . Assim, foi confeccionado um gabarito de madeira, com a finalidade de garantir essa espessura de camada no instante da aplicação da argamassa (Figura 4.6.2-1).



**Gabarito para controle da espessura do revestimento**

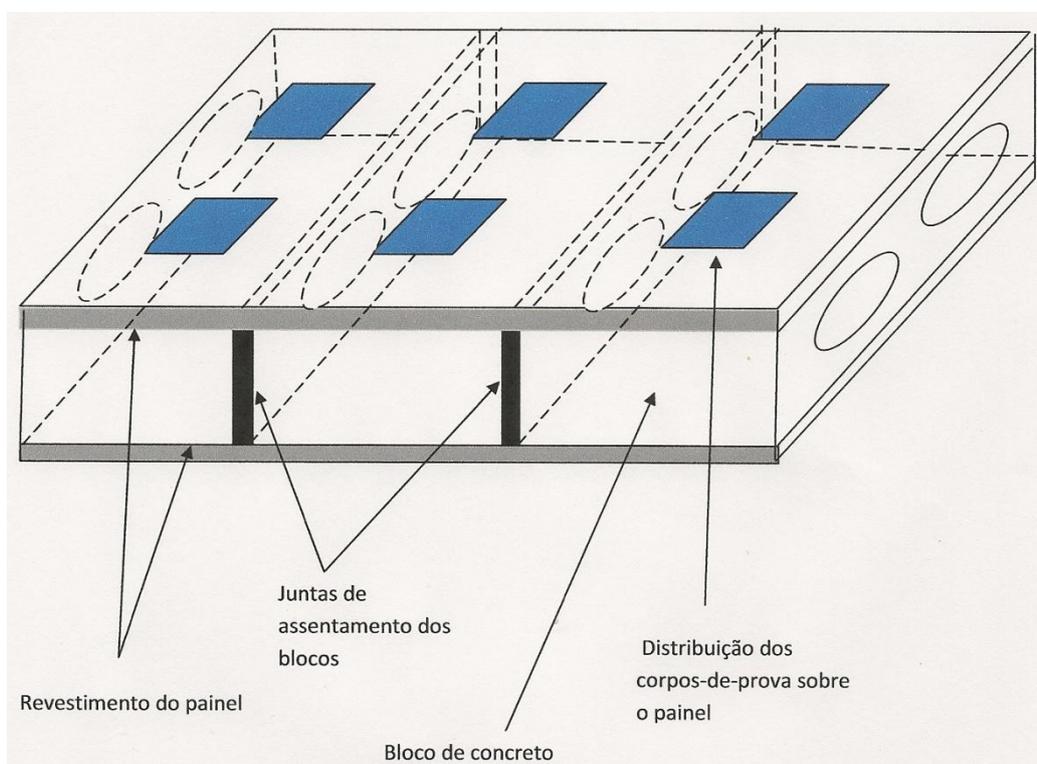
**Figura 4.6.2-1- Revestindo os painéis -Gabarito empregado para manter a espessura do revestimento**

### 4.6.3 Cura do revestimento

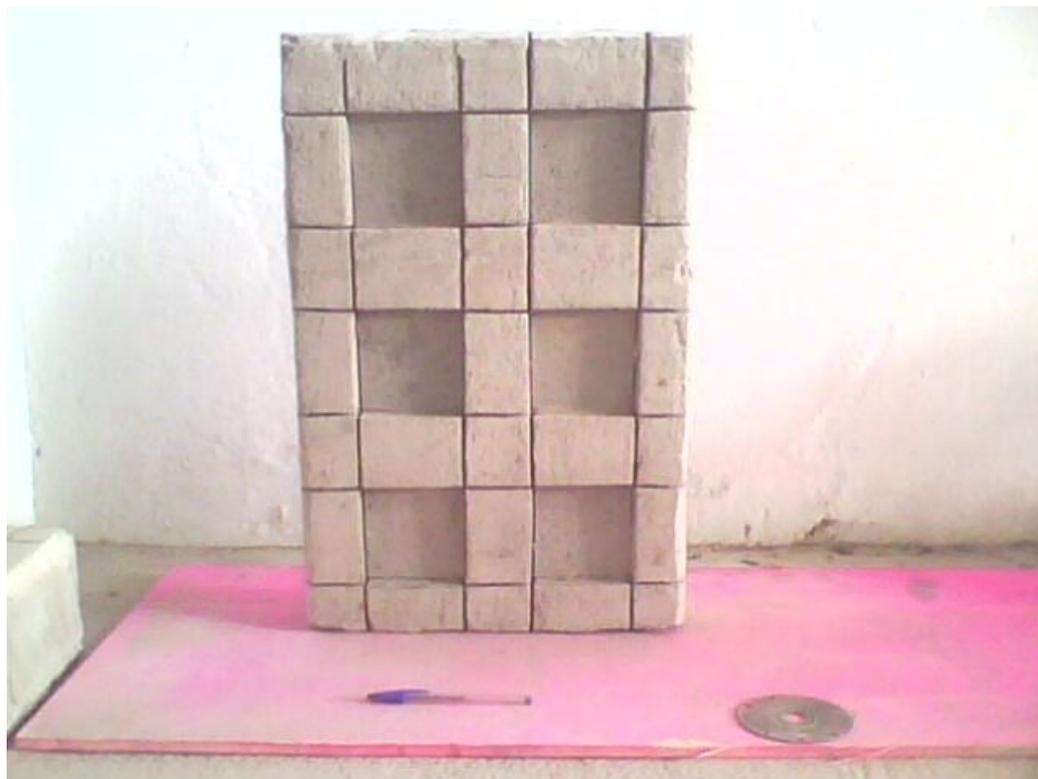
Todos os revestimentos foram curados em espaço protegido de insolação, à temperatura ambiente (aproximadamente 28°) durante 28 dias, quando então, a partir daí, foram preparados, no laboratório, os corpos-de-prova (corte e colagem) para execução dos ensaios.

### 4.6.4 Distribuição dos corpos-de-prova

Durante a preparação dos corpos-de-prova procurou-se distribuir os mesmos conforme mostrado na Figura 4.6.4.1. A distribuição foi feita dessa forma, e não aleatoriamente, com a finalidade de garantir que os corpos-de-prova ficassem centrados nos blocos constituintes do painel procurando-se evitar que as áreas dos mesmos interceptassem as juntas de assentamento.



**Figura 4.6.4-1- Distribuição dos corpos-de-prova sobre o painel**



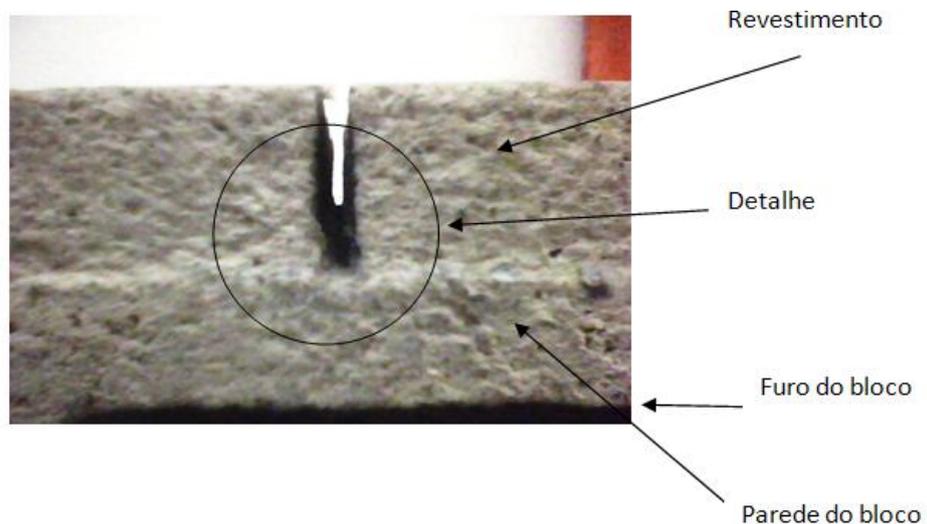
**Figura 4.6.4-2 No painel ensaiado pode-se observar que os cp's não interceptaram a junta de assentamento dos blocos**

Para execução dos corpos-de-prova foi utilizada uma máquina serra mármore com potência de 1300 W e disco de corte diamantado de 110 mm de diâmetro, (Figura 4.6.4-3), tendo-se o máximo cuidado, procurando-se evitar possíveis torções e tensões de cisalhamento nos corpos-de-prova preparados.

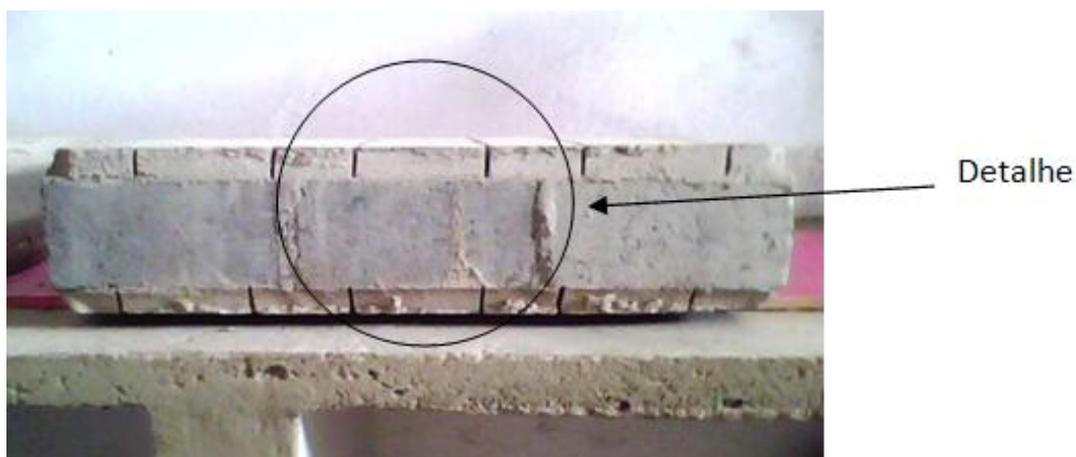


**Figura 4.6.4-3 Máquina serra mármore para utilizada no corte do revestimento**

Durante a execução dos corpos-de-prova, através do corte do revestimento, regulou-se a altura do disco de corte de modo que o disco atingisse levemente o substrato, garantindo-se, dessa forma, o corte completo da espessura do revestimento isolando-se completamente os corpos-de-prova do substrato conforme mostram as Figuras 4.6.4-4 e 4.6.4-5.



**Figura 4.6.4-4 Detalhe de um bloco onde se observa o corte atingindo levemente o substrato**



**Figura 4.6.4-5 Detalhe mostrando os cortes no painel atingindo levemente o substrato**

Os cortes dos corpos-de-prova foram executados com auxílio da máquina serra mármore, com água, conforme mostra Figura 4.6.4-6, tendo-se o cuidado de centrá-los nas faces dos blocos de concreto do painel, evitando-se que os mesmos fossem executados sobre as juntas de assentamento.



**Figura 4.6.4-6 Corte do revestimento do painel, delimitando-se os corpos-de-prova**

Após o corte, os sulcos deixados pela máquina serra mármore foram lavados para a retirada de possíveis gordas, de modo que os corpos-de-prova ficassem totalmente isolados com a finalidade de garantir espaço suficiente para deslocamento dos mesmos durante o cisalhamento (Figura 4.6.4-7).



**Figura 4.6.4-7 Eliminação dos resíduos deixados durante o corte úmido**

Após o corte dos corpos-de-prova, depois de secos ao ar, à temperatura ambiente (aproximadamente 28 a 30° C) os mesmos foram lixados com a finalidade de retirar grãos de areia soltos no revestimento e assim, obter-se uma garantia e estabilidade do conjunto revestimento/cola/suporte, sendo logo em seguida feita a colagem dos dispositivos metálicos (Figuras 4.6.4-8 e 4.6.4-8) sobre os corpos-de-prova.

Todo esse trabalho foi executado por um profissional qualificado com bastante experiência nesse tipo de serviço, sendo o mesmo que executou a preparação dos corpos-de-prova do Teste piloto.



**Figura 4.6.4-8 Lixamento das superfícies dos corpos-de-prova**



**Figura 4.6.4-9 Colagem dos dispositivos metálicos sobre os corpos de prova**

Na figura 4.6.4-10, são apresentados alguns painéis prontos para execução dos ensaios. Observe-se que, para cada painel foram colados 06 corpos-de-prova,

em sua face, sendo 02 corpos-de-prova para serem ensaiados a 0°, 02 a 45° e 02 a 90°.



**Figura 4.6.4-10 Painéis prontos para a realização dos ensaios**

#### **4.7 Geometria e dimensões dos corpos-de-prova**

A NBR 13528 (ABNT, 2010), considera para o ensaio de resistência de aderência, pastilhas de forma circular de 50 mm de diâmetro por 10 mm de espessura. No entanto, como foi visto nessa pesquisa, foram utilizadas placas quadradas com as dimensões de 100 mm de lado devido às necessidades inerentes ao ensaio, uma vez que, a carga de arrancamento foi aplicada obliquamente (45°) e a carga do ensaio de cisalhamento (0°) foi aplicada paralela à superfície dos painéis, o que não seria possível se a forma do corpo-de-prova fosse circular.

Fiorito (1994), em estudos realizados quando da elaboração do livro “Manual de Argamassas e Revestimentos” – Estudos e Procedimentos de Execução, comenta (pag.172) e considera que, para a realização de ensaio de aderência por tração é adequada uma área de 100mmx100mm.

A norma americana, ASTM C-482-(ASTM, 1986) prescreve que o ensaio deve ser realizado com corpos-de-prova de dimensões quadradas de 100 mm x 100 mm de lado.

Por essas razões, optou-se por utilizar os corpos-de-prova de forma quadrada, com 100 mm de lado, e por entender-se também que na preparação dos mesmos, esses recebem menor esforço de cisalhamento do que os corpos-de-prova de seção circular, uma vez que estão mais sujeitos a tensões de cisalhamento quando do torque do serra copo.

#### 4.8 Tipo de cola

Com a finalidade de garantir a aderência e estabilidade entre o conjunto revestimento/cola/suporte metálico, usou-se cola à base de resina epóxi bi-componente, de alta aderência, conforme prescreve a NBR 13528 (ABNT, 2010).

Ainda em respeito à Norma supracitada, na colagem das pastilhas procurou-se manter a espessura da cola em torno de 2 a 3 mm de espessura. COSTA (2007) observou que uma espessura de cola maior que 5 mm exerce influência na distribuição de tensões nas camadas de revestimento em virtude de o coeficiente de Poisson da cola ser superior ao da argamassa e o módulo de elasticidade inferior aos das camadas de argamassas e substrato permitindo maiores deformações.

O adesivo epoxi utilizado na colagem dos corpos-de-prova foi o SIKA DUR 31, de consistência pastosa com resistência característica à compressão a 24 h de 60 MPa (Figura 4.8-1)



Figura 4.8-1 Adesivo bi-componente utilizado na colagem dos dispositivos metálicos

## 4.9 Equipamento

O equipamento utilizado para a realização do ensaio foi do tipo tensor com uma célula de carga de capacidade de 10000 N e resolução de 2 N, com leitor digital sem velocidade controlada eletronicamente (Figura 4.5.4.3-1).

Antes da realização dos ensaios, o equipamento acima especificado foi submetido à calibração.



**Figura 4.9-1 Instrumento utilizado para a execução dos ensaios (Aderímetro)**

## 4.10 Aplicação da carga de arranchamento

De acordo com a necessidade da pesquisa, foi necessário realizar a aplicação da carga em três situações:

- a) aplicação da carga centrada a  $90^\circ$  com o substrato (Tração Direta);
- b) aplicação da carga ao centro do dispositivo metálico a  $45^\circ$  com o substrato (Tração Oblíqua);
- c) aplicação da carga a  $0^\circ$  com o substrato (Cisalhamento)

### 4.10.1 Taxa de Carregamento

Para a execução dos ensaios foi considerada como taxa de carregamento uma velocidade de aproximadamente 20 kgf/s, baseada na recomendação da ASTM

C- 482 (ASTM, 1986), que prescreve como adequada uma velocidade de  $23 \pm 3$  kgf/s para corpos-de-prova de forma quadrada de 100 mm de lado.

Fiorito (1995) verificou, quando da execução de ensaios de resistência de aderência à tração, em corpos-de-prova de forma quadrada de 100 mm de lado, que é adequada a velocidade de 20 kgf/s, prescrita pela ASTM C- 482 (ASTM, 1986), visto que os resultados não apresentaram variação considerável.

#### **4.11 Método de ensaio**

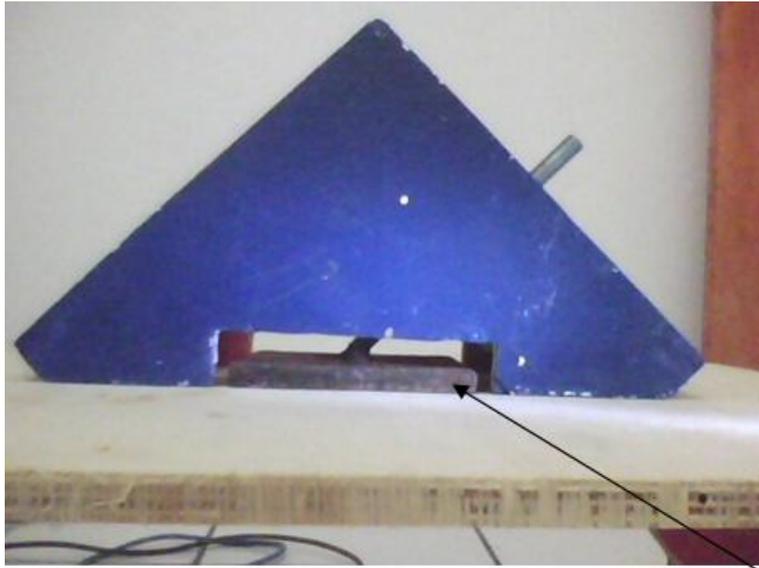
O programa experimental dessa pesquisa foi elaborado com o objetivo de verificar, por meio dos ensaios de laboratório, a existência de um parâmetro (ou relação) entre a tensão (ou resistência) de arrancamento oblíquo realizado sob o ângulo de  $45^\circ$  com a tensão (ou resistência) de cisalhamento sob o ângulo de  $0^\circ$ .

O estudo foi realizado a partir dos ensaios executados em laboratório, abordando-se a metodologia adotada na pesquisa, as variáveis e condições fixas, bem como a caracterização dos materiais utilizados.

Vale salientar que o método aqui desenvolvido, para determinação da resistência de aderência ao cisalhamento, possa vir a ser aplicável também em campo (fachadas das edificações).

A normalização brasileira prevê a realização de ensaio de aderência à tração direta (NBR 13528, 2010) para avaliação de sistema de revestimento. Porém, não existe normatização brasileira para realização do ensaio de aderência ao cisalhamento.

Para tanto, foi necessário desenvolver um dispositivo adaptador (Figuras 4.11-1 e 4.11-2) para a realização do ensaio oblíquo, a  $45^\circ$  de forma que se pudesse obter o parâmetro necessário, como também a realização do ensaio de cisalhamento diretamente nas fachadas das edificações.



Placa metálica quadrada de 100 mm de lado utilizada no ensaio

**Figura 4.11-1 Dispositivo adaptador para realização do ensaio oblíquo (45°)**



**Figura 4.11-2 Dispositivo adaptador para realização do ensaio oblíquo visto sob outro ângulo**

## 4.12 Ensaio da resistência de aderência

Nos itens a seguir são explicados os procedimentos nas suas três formas, a saber: ensaio de tração direta ( $90^\circ$ ), ensaio de tração oblíqua ( $45^\circ$ ) e o ensaio de cisalhamento ( $0^\circ$ )

### 4.12.1 Determinação da resistência de aderência à tração normal ( $90^\circ$ )

A determinação da resistência de aderência à tração seguiu o método prescrito na NBR 13528 - Determinação da resistência de aderência à tração – Método de Ensaio (ABNT, 2010), exceto pelo emprego dos corpos-de-prova de seção quadrada (100 mm x 100 mm) ao invés de corpos-de-prova de seção circular.

A figura 4.12.1-1 mostra o dispositivo metálico utilizado para tracionar o corpo-de-prova



**Figura 4.12.1-1 Dispositivo metálico para execução do ensaio de tração normal ( $90^\circ$ )**

A Figura 4.12.1-2 mostra a execução do ensaio da determinação da resistência de aderência à tração normal.



**Figura 4.12.1-2 Execução do ensaio de tração normal (90°)**

#### **4.12.2 Determinação da resistência de arrancamento oblíquo (45°)**

A Norma brasileira não faz referência ao ensaio de arrancamento de aderência em que o instrumento de determinação da carga seja utilizado em posição oblíqua. Essa pesquisa propôs essa situação com o objetivo de relacionar os resultados obtidos no ensaio nessa posição com os resultados obtidos no ensaio de cisalhamento, conforme será visto no item seguinte.

Dessa forma, para determinação da resistência de arrancamento oblíquo (45°), foi necessária a elaboração de um dispositivo adaptador, para tornar possível a execução desse ensaio em laboratório, bem como possibilitar a realização desse ensaio nos paramentos das fachadas das edificações. As Figuras 4.12.2-1 e 4.12.2-2 mostram esse dispositivo.

Na Figura 4.12.2-3 pode-se observar execução do ensaio a 45°.



**Figura - 4.12.2-1 Dispositivo metálico para realização do ensaio oblíquo (45°)-Vista lateral**



**Figura 4.12.2-2 Dispositivo metálico para realização do ensaio oblíquo (45°)-Vista frontal**



Dispositivo adaptador  
para execução do  
ensaio a 45°

**Figura 4.12.2-3 Execução do ensaio de tração oblíqua (45°)**

#### **4.12.3 Determinação da resistência de aderência ao cisalhamento (0°)**

Para o ensaio de cisalhamento foi necessário fazer uma adaptação do dispositivo metálico para tornar possível a execução do ensaio conforme mostram a Figura 4.12.3 -1e 4.12.3-2. Além disso, foi necessário desenvolver outro dispositivo adaptador para a execução desse ensaio nesse ângulo de como mostra a Figura 4.12.3-3, conforme citado no item 4.2.1-b.

O ensaio da resistência de aderência ao cisalhamento foi executado conforme mostra a Figura 4.12.3-4.



**Figura 4.12.3-1 Dispositivo metálico para realização do ensaio de cisalhamento (0°)-  
Vista lateral**



**Figura 4.12.3-2 Dispositivo metálico para realização do ensaio de cisalhamento (0°)- Vista frontal**

Na figura 4.6.1.3-3, é mostrado o dispositivo adaptador metálico desenvolvido para execução do ensaio de cisalhamento (0°), sendo ensaio executado conforme se observa na figura 4.12.3-4.



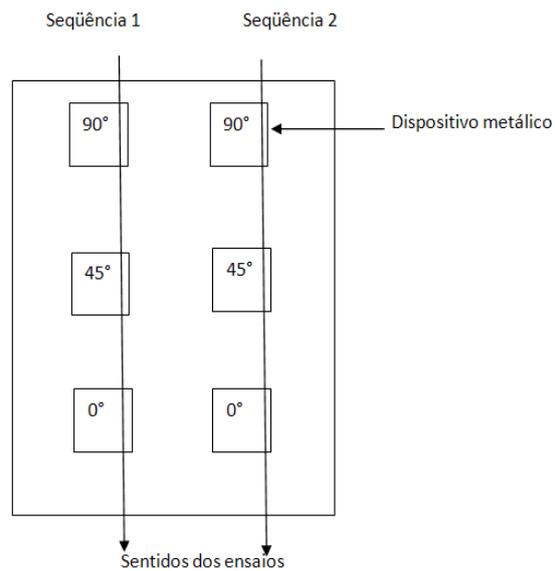
**Figura 4.12.3-3 Dispositivo metálico adaptador para realização do ensaio de cisalhamento (0°)**



**Figura 4.12.3-3 Execução do ensaio de cisalhamento (0°)**

#### 4.13 Procedimento do ensaio e análise dos resultados

Os blocos foram ensaiados seguindo sempre o mesmo procedimento e a mesma ordem conforme mostra a Figura 4.13-1.



**Figura 4.13-1 Ordem e sentidos de execução dos ensaios**

A nomenclatura adota para a identificação dos painéis ensaiados foi Pn-f, onde:

- a) P = Painel;
- b) n = numeração do painel ensaiado (n variou de 1 a 14);
- c) F = face ensaiada do bloco Pn (FACES 1 e 2)

Por exemplo:

- a) P3-1 = Painel nº 3; face 1;
- b) P3-2 = Painel nº 3; face 2, etc.

Nos anexos representados pelas planilhas 01, 02, 03, 04 e 05 constam os resultados dos ensaios em que foram realizados.

#### **4.14 Formas de ruptura observadas nos ensaios**

Através dos resultados obtidos no laboratório, foram observadas as seguintes formas de ruptura:

- a) 100% ruptura no bloco;
- b) X% ruptura no bloco + Y% ruptura na interface argamassa /bloco;
- c) 100% ruptura na argamassa;
- d) 100% ruptura superficial na argamassa;
- e) 100% ruptura na interface argamassa/bloco.

A forma de ruptura adotada para análise dos resultados foi a do tipo ocorrida na interface argamassa/bloco (100% da área do corpo-de-prova), onde se convencionou chamar essa forma de ruptura, de “Cisalhamento Perfeito”, visto que, essa pesquisa tem como objetivo o ensaio de cisalhamento entre a argamassa e o substrato (Figura 4.14-1).



**Figura 4.14-1 Exemplo de corpos-de-prova apresentando ruptura por cisalhamento puro**

#### **4.15 Métodos estatísticos**

Para análise dos resultados foram considerados dois estudos estatísticos, a Análise de Variância (ANOVA) e a Distribuição de freqüência, com a finalidade de comparar os mesmos obtidos nos dois processos.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nos itens a seguir são apresentados os resultados obtidos nos ensaios, bem como a aplicação de um estudo estatístico para interpretação desses resultados além de sugestões sobre futuros trabalhos sobre o tema dessa pesquisa.

### 5.1 Resultados

Como foi visto anteriormente, em cada face de cada painel foram colados 06 dispositivos metálicos sobre os corpos-de-prova delimitados, sendo ensaiados 02 corpos-de-prova a 90°, 02 a 45° e 02 a 0°, perfazendo assim, um total de 12 corpos de prova por painel.

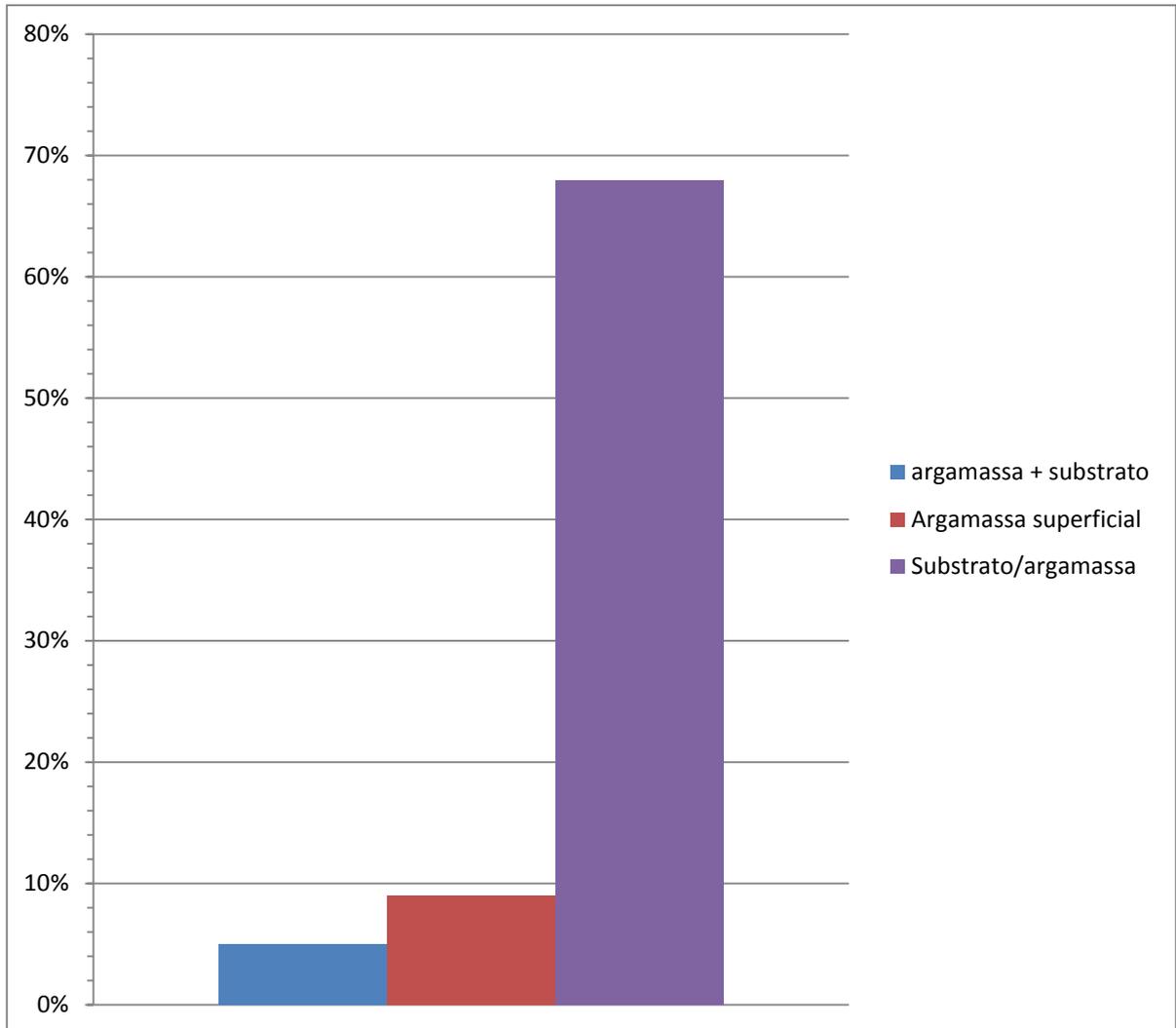
No total foram ensaiados 56 corpos-de-prova<sup>6</sup> para cada situação (45°; 90° e 0°). Desse total, foram obtidos apenas 38 resultados, cuja forma de ruptura foi do tipo “cisalhamento puro”, considerados para análise dos resultados.

A Tabela 5.1-1 e seu correspondente Gráfico 5.1-1 são mostrados os percentuais de cada tipo de ruptura. A Tabela 5.1-2 mostra os resultados individuais obtidos nos ensaios a 0°, 45° e 90° além de apresentar os valores da média, do desvio padrão e o coeficiente de variação para cada situação.

**Tabela 5.1-1 Resultado dos ensaios de acordo com a forma de ruptura**

Forma de ruptura	Quantidade de cp'	Porcentagem (%)
100% na interface substrato/argamassa	38	68
100% na argamassa	10	18
100% na argamassa (superficial)	5	9
X% na argamassa+y% na interface substrato/argamassa	3	5
Total de ensaios	56	100

<sup>6</sup> Um dos painéis foi danificado por ter sido seccionado ao meio durante o ensaio do mesmo, sendo, portanto desprezado.



**Gráfico 5.1-1 Resultados obtidos de acordo com a forma de ruptura**

Tabela 5.1-2 Apresentação da média, desvio padrão e coeficiente de variação para cada situação

Corpo-de-prova N°	F45°	F90°	$\tau$ 0°	F0°
38	182,8	85,4	123,0	60,4
37	85,4	90,0	151,0	60,4
36	189,6	94,2	167,6	68,6
35	227,4	127,2	170,2	75,9
34	120,0	137,0	172,2	82,3
33	238,2	143,4	220,8	84,8
32	240,4	157,8	224,0	88,2
31	222,8	176,2	224,6	91,5
30	244,6	186,4	226,4	100,7
29	223,6	199,2	241,8	126,7
28	205,0	200,0	246,2	129,3
27	314,6	202,2	248,4	130,1
26	266,4	204,0	249,2	134,1
25	258,2	207,0	253,0	136,8
24	246,8	214,4	263,2	140,0
23	236,0	214,8	265,0	140,0
22	248,2	232,2	296,8	145,0
21	254,2	239,0	303,2	156,6
20	228,2	239,2	325,4	157,5
19	142,4	244,0	328,8	158,1
18	107,4	256,4	339,4	160,8
17	197,8	282,4	342,8	161,4
16	197,8	286,4	343,2	166,9
15	286,0	288,0	352,2	168,4
14	313,4	288,4	384,4	170,0
13	124,8	307,4	409,8	172,7
12	184,0	320,6	413,2	173,0
11	116,4	325,2	426,0	174,5
10	97,0	326,2	427,0	175,5
9	376,2	332,4	430,8	179,7
8	395,6	338,0	431,8	182,6
7	244,2	344,6	447,0	188,4
6	193,4	373,2	476,6	202,2
5	297,0	375,0	488,6	210,0
4	179,2	393,6	533,0	221,6
3	129,4	410,8	569,2	222,5
2	85,4	427,8	642,0	266,0
1	221,4	477,4	748,0	279,7
<b>MÉDIA (Kgf)</b>	<b>213,7</b>	<b>256,5</b>	<b>339,6</b>	<b>151,1</b>
<b>DESVPAD (Kgf)</b>	<b>75,4</b>	<b>95,2</b>	<b>137,1</b>	<b>51,2</b>
<b>COEF VAR (%)</b>	<b>35%</b>	<b>37%</b>	<b>40%</b>	<b>34%</b>

A seguir, são apresentados os gráficos com as distribuições dos valores obtidos para o parâmetro K a ser determinado na pesquisa, considerando o resultado total (Gráfico 5.1-2) e os resultados obtidos considerados como “Cisalhamento perfeito” (Gráfico 5.1-3).

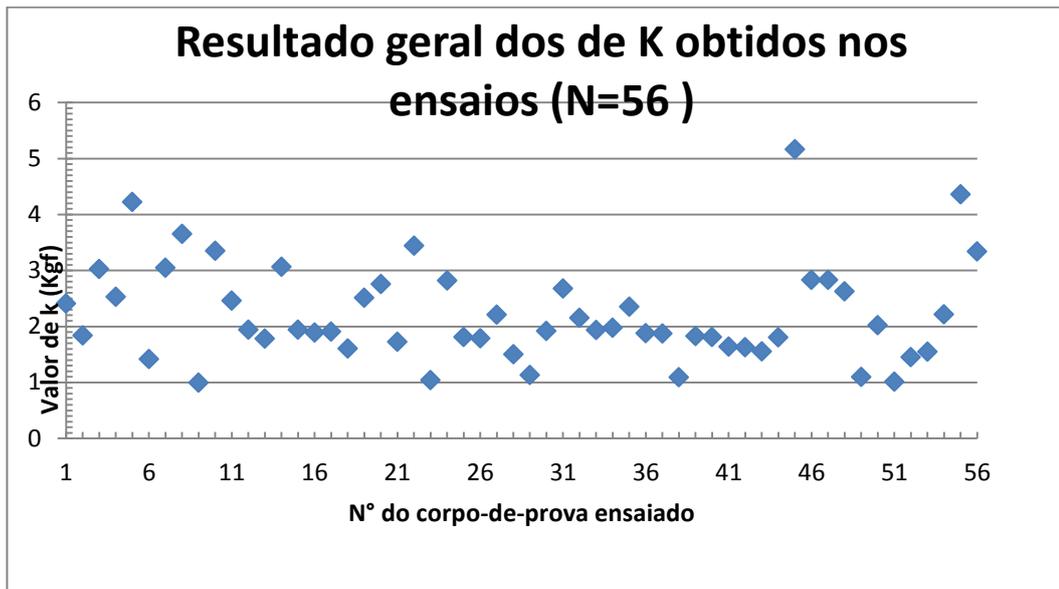


Gráfico 5.1-2 Valores de K obtidos nos ensaios considerando-se todas as formas de ruptura

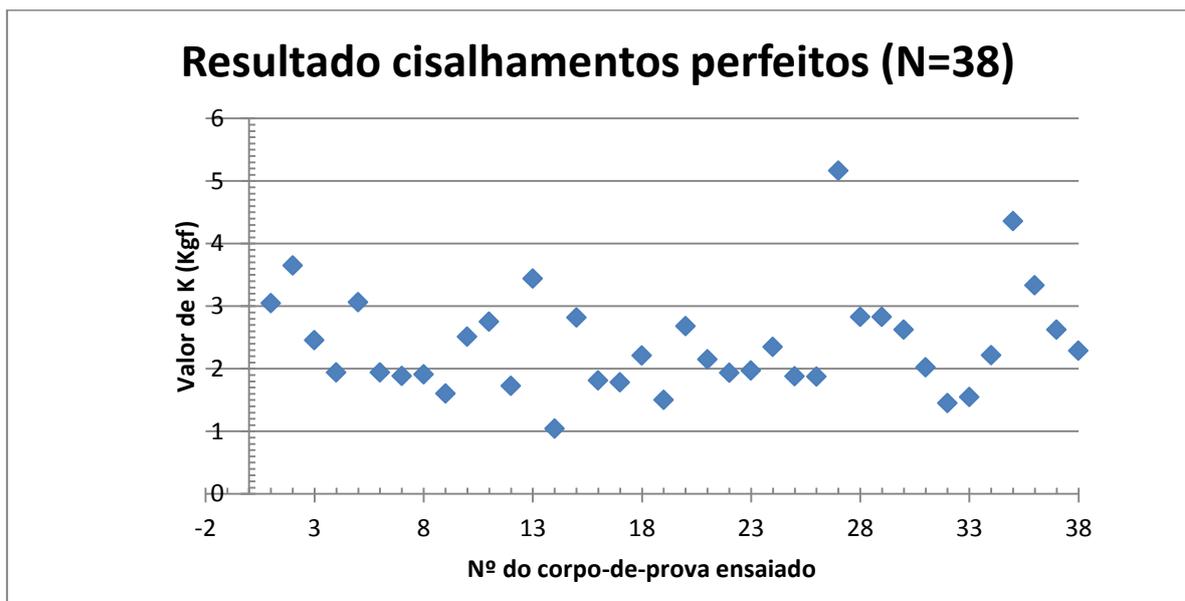


Gráfico 5.1-3 Valores de K obtidos nos ensaios considerando-se apenas os cisalhamentos perfeitos

## 5.2 Discussão

Como foi definido inicialmente, o objetivo desse projeto foi procurar desenvolver um método de ensaio e procedimentos, visando sua aplicabilidade na determinação da resistência de aderência ao cisalhamento em laboratório com possível aplicação em campo (fachadas das edificações).

O método desenvolvido consiste na aplicação de uma carga de arrancamento oblíqua, aplicada a um sistema de revestimento argamassado (sistema substrato/argamassa) com a finalidade de relacionar essa carga oblíqua com a tensão de cisalhamento a  $0^\circ$ , obtendo-se uma constante (ou parâmetro), tal que,  $F(0^\circ) = K \cdot F_a$ , onde:

- a)  $F(0^\circ)$  = carga de cisalhamento a  $0^\circ$ ;
- b)  $F_a$  = carga de arrancamento a  $45^\circ$ .

Através do estudo gráfico e da tabela trigonométrica, vistos anteriormente, chegou-se à seguinte expressão:  $K = \frac{\sqrt{2} \times F(0^\circ)}{F_a}$ , onde:

- a)  $K$  = constante de proporcionalidade;
- b)  $F_a$  = carga de arrancamento ( $45^\circ$ );
- c)  $F(0)$  = carga de cisalhamento ( $0^\circ$ )

Para a análise dos resultados foram feitos dois estudos estatísticos com a finalidade de confrontar comparar os mesmos. A saber: análise de Variância (ANOVA), e curva de distribuição de freqüência.

Através da distribuição de freqüência, considerando-se o resultado total determinou-se um valor médio para a constante  $K_m = 1,6635$ , conforme mostra o Gráfico 5.2-1, abaixo. Posteriormente, procurou-se expurgar os valores que se apresentavam muito afastado em relação à média dos resultados, ( $\pm 30\%$  da média) e obteve-se como nova média  $K_m' = 1,5769$  (Gráfico 5.2-2). Os graus de confiabilidade adotados foram de 95%.

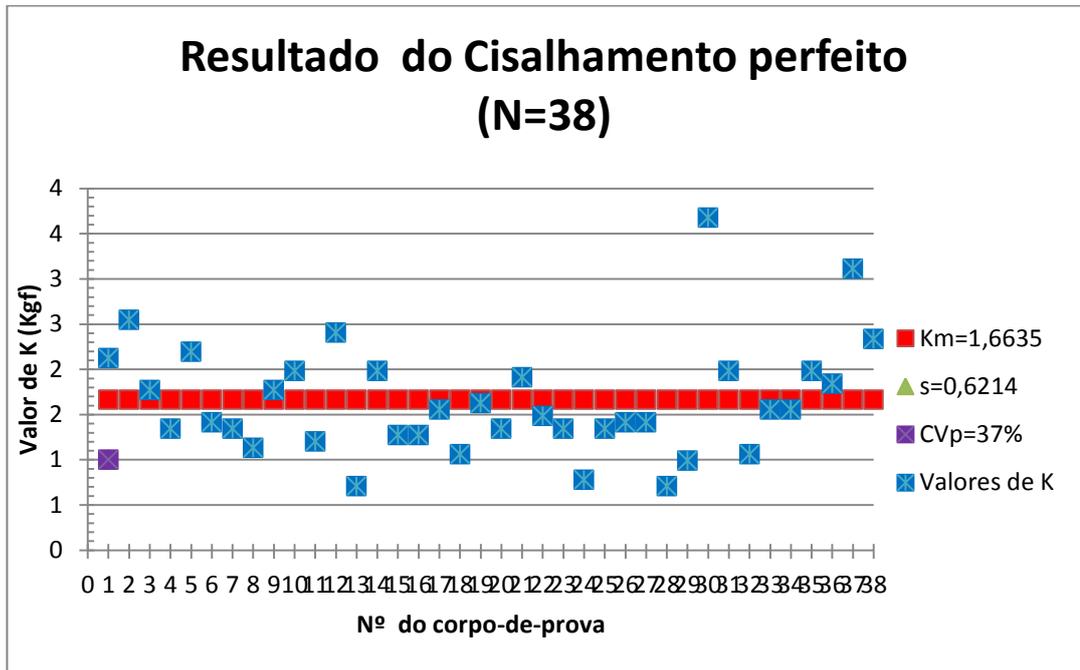


Gráfico 5.2-1 Valores da constante K obtidos no ensaio (amostragem total)

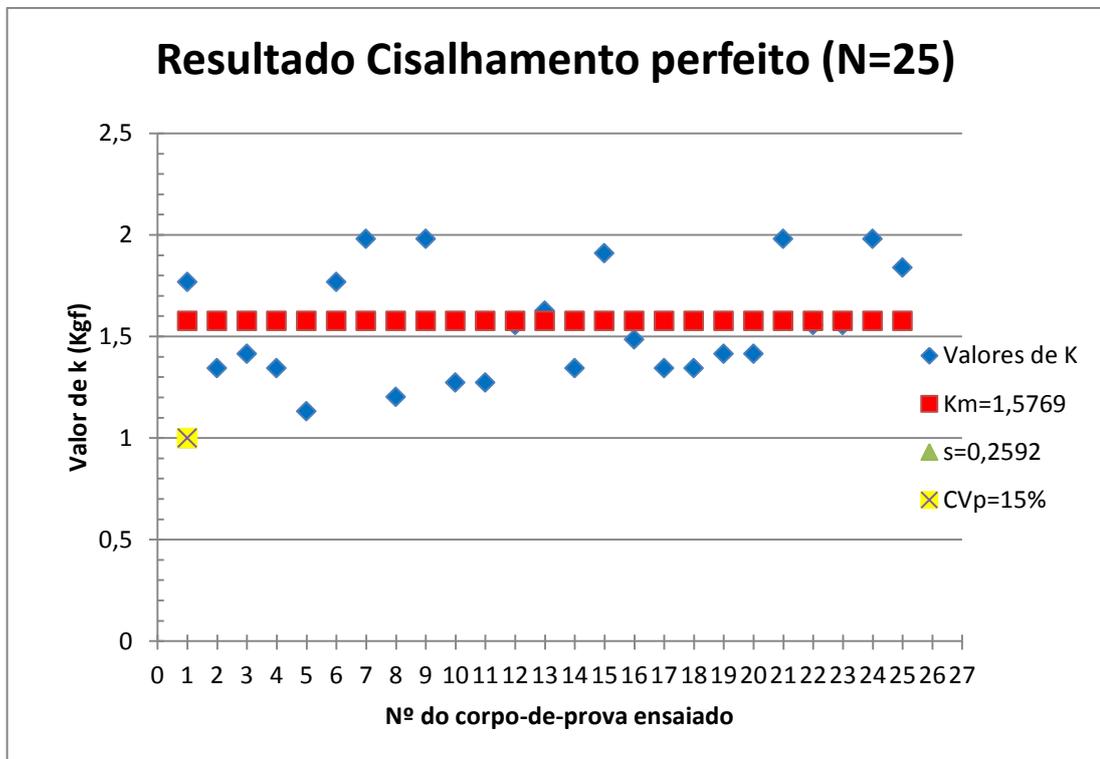


Gráfico 5.2-2 Valores de K obtidos nos ensaios após serem expurgados os valores afastados da média em  $\pm 30\%$

Tomando-se a média desses valores obtêm-se,  $K=1,6202$ .

### 5.3 Análise de Variância

Através da Análise de Variância (ANOVA), com a finalidade de verificar o grau de confiabilidade dos resultados comparou-se os resultados em três situações:

- ensaio a  $45^\circ \times 0^\circ$  (Gráfico 5.3-1);
- ensaio a  $45^\circ \times 90^\circ$  (Gráfico 5.3-2) ;
- ensaio a  $90^\circ \times 0^\circ$  (Gráfico 5.3-3).

Para cada uma das situações acima, foi obtida uma equação de correlação, conforme mostram os Gráficos 5.3-1, 5.3-2 e 5.3-3.

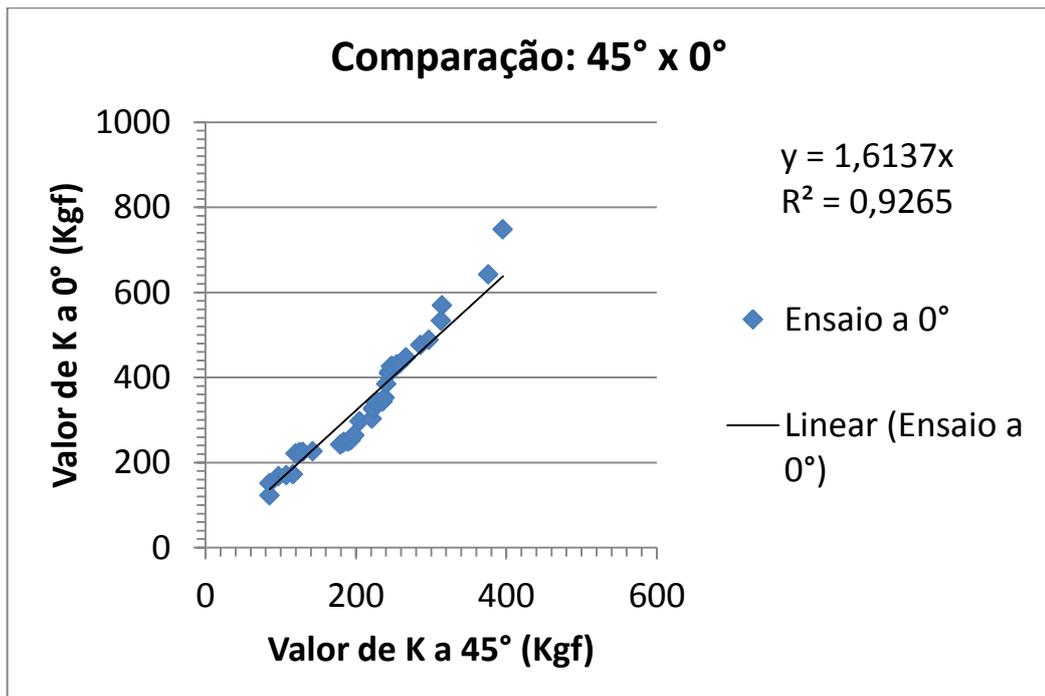


Gráfico 5.23-1 Análise comparativa entre os ensaios a  $0^\circ$  e  $45^\circ$

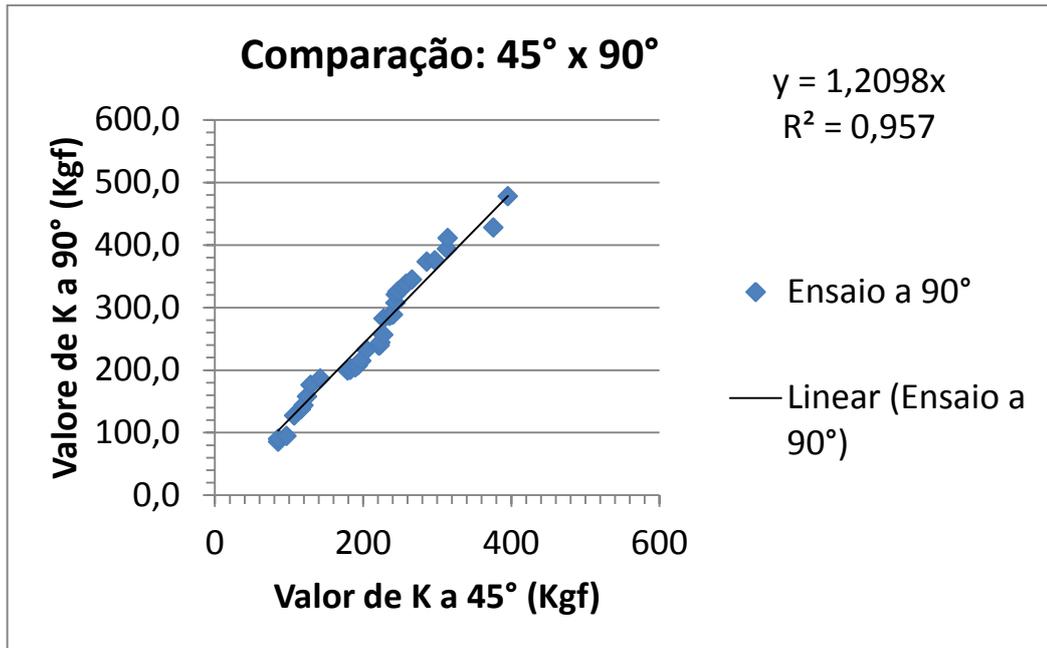


Gráfico 5.3-2 Análise comparativa entre os ensaios a 45° e 90°

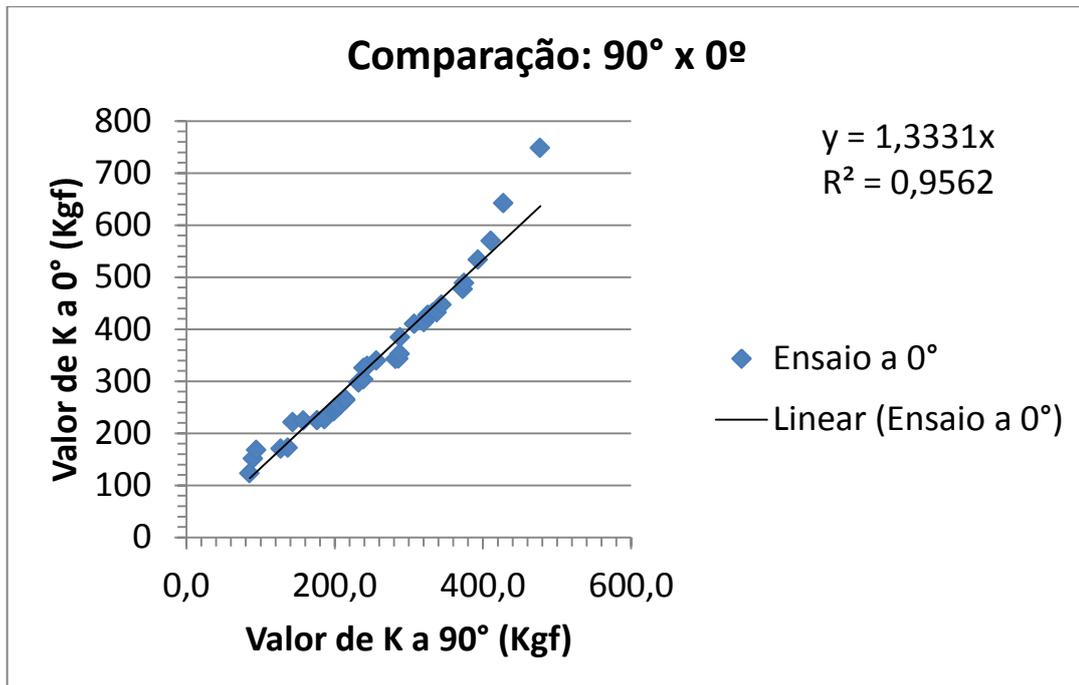
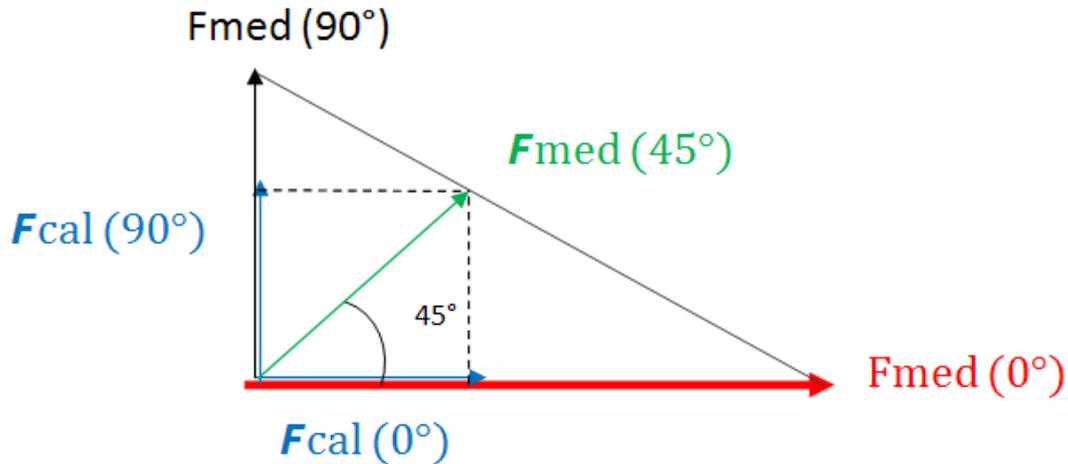


Gráfico 5.23-3 Análise comparativa entre os ensaios 0° e 90°

Conforme o observa-se no gráfico Gráfico 5.3-1, foi determinado um parâmetro K na expressão um valor médio 1,6137 ( $y=1,6137 \cdot x$ ), onde y representa o valor do cisalhamento e x, o valor da carga de arrancamento), bem semelhante à

média dos valores antes determinados, através da distribuição de freqüência,  $K_m=1,6202$ .

Os resultados obtidos através da análise de variância (ANOVA), estudo determinante, da pesquisa, estão resumidos através do Diagrama 5.3-1,



**Diagrama 5.3-1 Comparação entre os resultados obtidos a 0, 45° e 90°**

Onde:

- a)  $F_{cal}(0^\circ)$  = Força (carga) calculada em função da força medida  $F_{med}(45^\circ)$ ;
- b)  $F_{cal}(90^\circ)$  = Força (carga) calculada em função da força medida  $F_{med}(45^\circ)$ ;
- c)  $F_{med}(0^\circ)$  = força medida no ensaio de cisalhamento ( $0^\circ$ );
- d)  $F_{med}(45^\circ)$  = força (carga) medida no ensaio de arrancamento a  $45^\circ$ ;
- e)  $F_{med}(90^\circ)$  = força medida no ensaio de tração normal ( $90^\circ$ ).

Através desse diagrama verifica-se que, as forças calculadas e medidas, são independentes (muito diferentes), o que vem confirmar a condição necessária como grau de confiabilidade nos cálculos obtidos através da análise de variância (ANOVA).

Assim, pode-se concluir, com efeito, que, através dos resultados obtidos na pesquisa e analisados pelo método estatístico aplicado (ANOVA), indica uma possível aplicação da determinação da resistência de aderência ao cisalhamento em revestimentos argamassados, como foi proposto na pesquisa.

#### 5.4 Dispersão do ensaio

Durante o ensaio de cisalhamento ( $0^\circ$ ), pode-se verificar uma grande variação nos resultados, visto que, dos 56 corpos-de-prova ensaiados, 16 apresentam outra forma de ruptura. Isso mostra que a variação ou dispersão foi da ordem de 32%.

Uma das possíveis causas dessa dispersão em relação a esses resultados deve-se à escolha do tipo de substrato e argamassa empregados. Em virtude de os blocos de concretos escolhidos apresentarem uma grande porosidade, favoreceram a aderência à argamassa de revestimento. Por isso, muitas rupturas ocorreram no substrato e parcialmente na argamassa “prejudicando” os resultados obtidos, em virtude de a argamassa utilizada para a preparação do revestimento apresentar maior resistência mecânica que os blocos de concreto escolhidos.

Outra possível causa dessa variação deve-se ao fato de os dispositivos metálicos colados nos corpo-de-prova, apresentarem em seu conjunto (placa/pino) um alto grau de rigidez. Foi possível constatar, através de filmagem, quando da execução do ensaio, um torque, conforme apresentado nas Figuras 5.4-1 e 5.4-2. Esse torque tanto poderia ocorrer no sentido horário quanto no sentido anti-horário dependendo do posicionamento do dispositivo utilizado durante a execução do ensaio.

Também é importante lembrar que o sistema placa metálica/pino, por ser rígido, pode ter contribuído para esse torque verificado no ensaio.

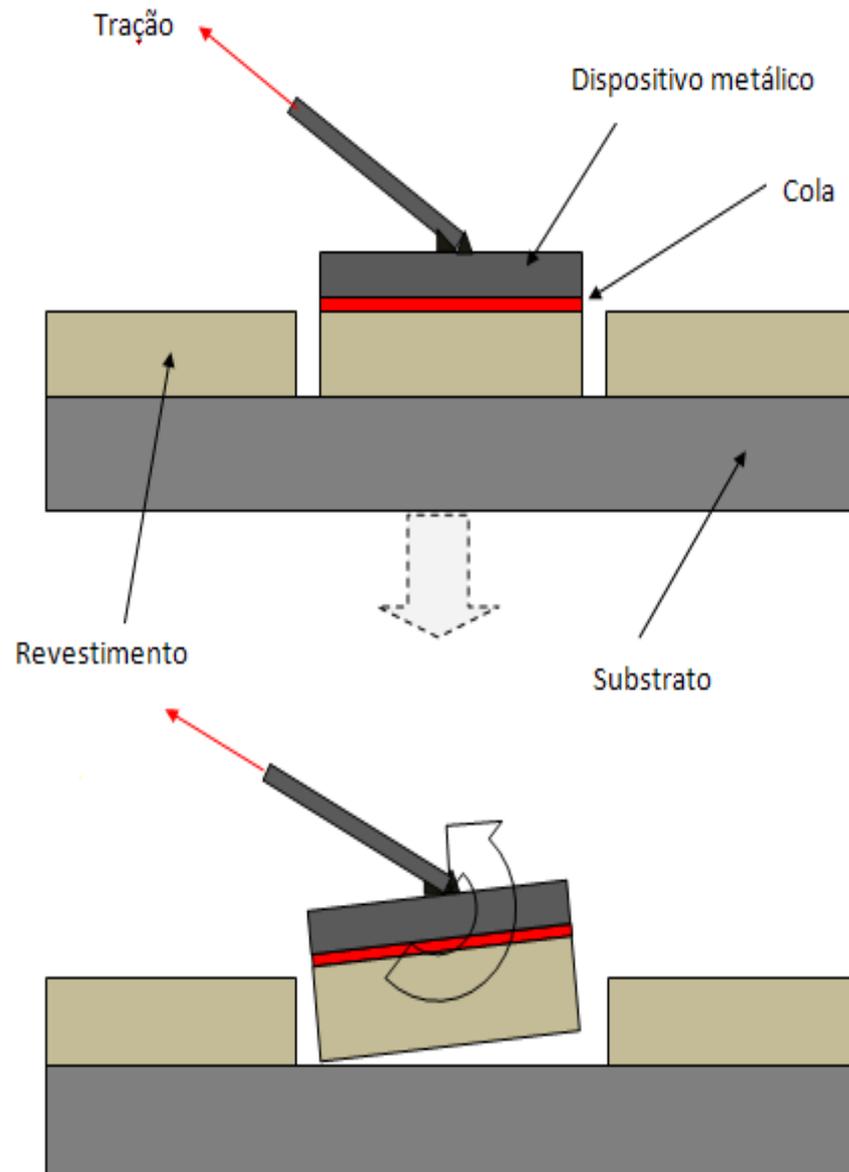


Figura 5.4.1 Torque observado durante a realização do ensaio de tração oblíqua (45°)

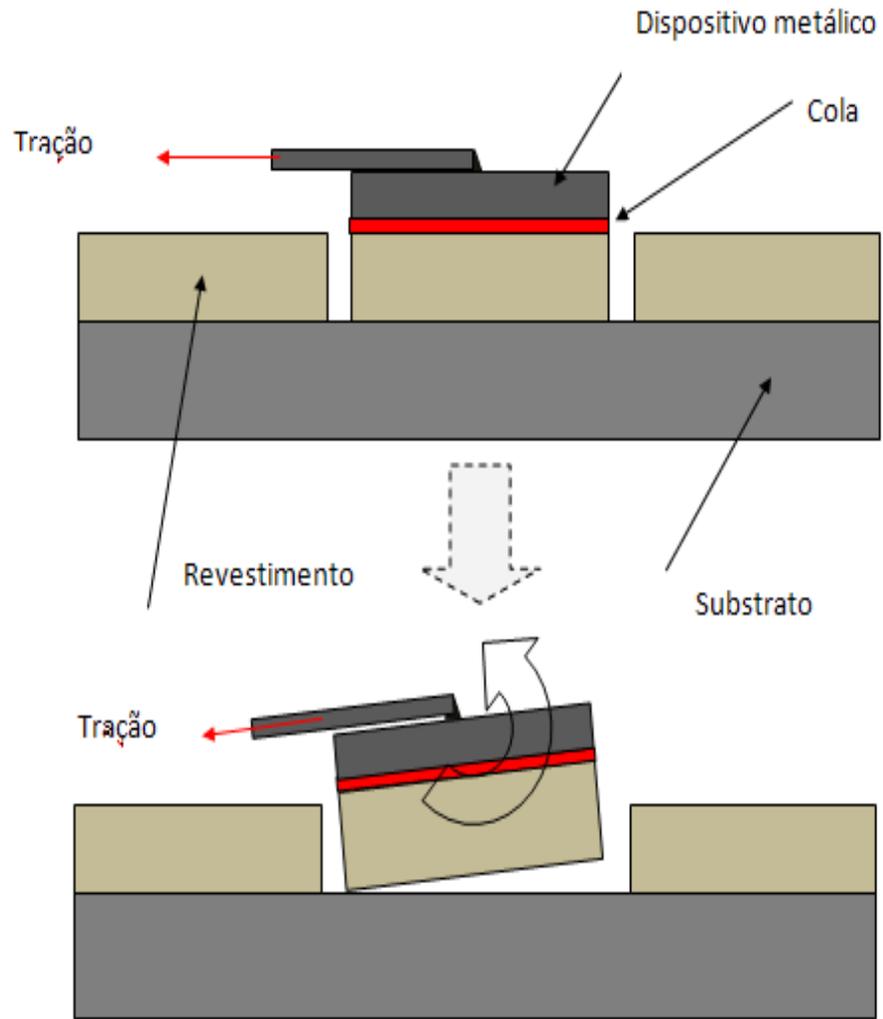


Figura 5.4-2 Torque observado durante a realização do ensaio de cisalhamento

## 6 CONCLUSÕES

Com base no que foi discutido ao longo do desenvolvimento do trabalho, são apresentadas a seguir algumas considerações importantes:

- Observou-se evidente diferença de comportamento entre os ensaios realizados com o aderímetro posicionado nas posições de  $0^\circ$ ,  $45^\circ$  e  $90^\circ$ . Os valores obtidos nos ensaios mostram essa observação
- A técnica para avaliação da resistência ao cisalhamento discutida no presente trabalho, em laboratório, com as devidas adaptações, mostrou-se eficiente, podendo ser discutida a sua utilização em campo.
- A análise estatística -ANOVA- aplicada aos resultados obtidos através dos ensaios mostrou como esperado, evidências da existência de um parâmetro entre a tensão de arrancamento oblíquo ( $45^\circ$ ) e a tensão de arrancamento cisalhamento ( $0^\circ$ ).
- O sistema considerado para análise dos resultados restringiu-se ao sistema substrato/revestimento (sem ponte de aderência). Assim, o método tornou-se simplificado ao considerar os resultados com ruptura (descolamento) na interface argamassa /substrato facilitando a análise.
- Em virtude dos resultados obtidos observou-se uma considerada dispersão relativa ao ensaio de cisalhamento. Essa variação se deu devido a fatores intrínsecos ao ensaio. Na execução do ensaio observou-se que os corpos-de-prova, foram submetidos um torque devido à excentricidade de aplicação da carga em relação à base (substrato). A variação encontrada foi da ordem de 32%;
- Através do método, ora apresentado, verifica-se que essa pesquisa cumpriu o propósito inicial de ser um instrumento para diagnóstico simplificado para a determinação da resistência de aderência ao cisalhamento em laboratório, com possível aplicação nas fachadas das edificações.
- O estudo estatístico através da ANOVA foi determinante quanto à confiabilidade da pesquisa confirmando o objetivo proposto na pesquisa quanto à existência de uma relação entre as tensões de resistência de aderência oblíqua e a de cisalhamento.

## 6.1 Sugestões para estudos futuros

A partir dos resultados obtidos e observados nessa dissertação, e através da experiência adquirida ao longo de sua realização, pode-se fazer uma série de sugestões para o desenvolvimento de futuras pesquisas na área, a saber:

- a) estudar a aplicação de simulação computacional para a avaliação de um valor mais confiável para a constante K que relaciona as tensões de arrancamento oblíquo a 45° e a tensão de cisalhamento a 0°;
- b) estudos comparativos com outros tipos de substratos, tais como, concreto, blocos cerâmicos e gesso, dentre outros, principalmente aqueles que apresentem menor porosidade do que a argamassa de revestimento aplicada, visando-se determinar um parâmetro para cada situação e relacioná-las entre si.
- c) aplicação do método, ora desenvolvido, “in loco”, ou seja, nas fachadas das edificações, com a finalidade de verificação e comparação dos resultados obtidos em laboratório, principalmente quanto ao parâmetro encontrado nesse estudo;
- d) procurar desenvolver um dispositivo metálico (placa metálica ou pastilha) que apresente uma rótula, com a finalidade de verificar se há minimização os efeitos de torque gerados, quando da execução dos ensaios com dispositivos metálicos de pinos rígidos;
- e) estudar outros sistemas de revestimentos em que estejam envolvidos, por exemplo, chapisco, cerâmica e argamassa colante.

## REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIAL. **ASTM-C482-1986-Bond strength of ceramic tile to cement Portland 1986**

ARAÚJO JR. J. M. **Contribuição ao estudo das propriedades físico-mecânicas das argamassas de revestimento**. 2004. 175 f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, 2004.

ASKELAND, D. **The science and engineering of materials**. Boston: PWS Publishing Company, 1994. 3. ed.

**ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR13281- Argamassa Industrializada** – Especificações. Rio de Janeiro, 1995.

\_\_\_\_\_. **NBR 13279**. Argamassa para assentamento de paredes e revestimentos de paredes e tetos – Determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, 1995. CANDIA, M. C.; FRANCO, L. S. **Contribuição ao estudo das técnicas de preparo da base no desempenho dos revestimentos de argamassa**. São Paulo: EPUSP, 1998. 13p. Boletim técnico.

\_\_\_\_\_. **NBR 13528-Revestimento de Paredes e Tetos em Argamassas Inorgânicas** – Determinação da resistência de Aderência à tração – Método de Ensaio. Rio de Janeiro, 2010.

\_\_\_\_\_. **NBR13749 - Limites de Resistência de Aderência à Tração**. Rio de Janeiro, 1996.

\_\_\_\_\_. **NBR- 15258--Argamassa para revestimento de paredes e tetos** – Determinação da resistência potencial de aderência à tração. Rio de Janeiro, 2005.

\_\_\_\_\_. **NBR-15270. Componentes Cerâmicos: Parte 1** – Blocos Cerâmicos para alvenaria de vedação – Terminologia e requisitos. Rio de Janeiro, 2005.

BARROS, M. M. B.; TANIGUTI, E. K.; RUIZ, L. B., SABBATINI, F. H. **Tecnologia Construtiva para produção de Revestimentos Verticais**. São Paulo, 1997. Notas de aula.

BASTOS, P. K. X. **Módulo de deformação de argamassas** – conceitos e métodos de determinação. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 5, 2003. São Paulo. **Anais...** São Paulo: EPUSP-PCC/ANTAC, 2003. P 27-40.

BORTOLUZZO, C. W.; LIBÓRIO, J. L. **Determinação das tensões devido a retração impedida em argamassas de revestimento.** In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 3., 1999a. Vitória. **Anais...** Vitória: UFES, 1999. p. 125-135.

BORTOLUZZO, C. W.; LIBÓRIO, J. L. **Estudo do comportamento mecânico das argamassas de revestimento pelo método dos elementos finitos.** In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 3., 1999b. Vitória. **Anais...** Vitória: UFES, 1999. p. 517-527.

BORTOLUZZO, C.W. **Contribuição ao estudo do comportamento mecânico dos revestimentos de argamassa.** 2000.238f - Dissertação (Mestrado em Tecnologia do meio ambiente construído) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

CANDIA, M. C.; FRANCO, L. S. **Contribuição ao estudo das técnicas de preparo da base no desempenho dos revestimentos de argamassa.** São Paulo: EPUSP, 1998. 13p. Boletim Técnico.

CARASEK, H. **Aderência de argamassa à base de cimento Portland a substratos porosos:** Avaliação dos fatores intervenientes e contribuição ao estudo do mecanismo da ligação. 1996. 285f. Tese (Doutorado) – Departamento de Engenharia Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1996.

CARASEK, H.; CASCUDO, O.; JUCÁ, T. **Estudo de casos de descolamento de revestimentos de argamassa aplicado sobre estrutura de concreto.** In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 6., 2005. Florianópolis. **Anais.** Florianópolis: UFSC, 2005. p. 551-561.

CARASEK, H.; CASCUDO, O.; SCARTEZINI, L. M. **Importância dos materiais na aderência dos revestimentos de argamassa.** In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 4º, Brasília, DF, maio de 2001. **Anais.** Brasília: PECC/ANTAC, 2001.

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

CINCOTTO, M.A.; SILVA, M.A.C.; CARASEK, H. **Argamassa de revestimento:** características, propriedades e métodos de ensaios. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas (publicação IPT 2378), 1995, 118p. Boletim Técnico 68, IPT.

COSTA, E.B.C. **Investigação do método de ensaio de determinação da resistência de aderência de revestimentos de argamassa.** Dissertação (Mestrado) apresentada ao Curso de Mestrado em Engenharia Civil da Escola de Engenharia Civil da Universidade Federal de Goiás, 2007.

FERREIRA, O. P.; SILVA, I. J. **Argamassa de cimento com adição de fibras de polipropileno.** In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 1., 1995. Goiânia. **Anais...** Goiânia: UFG/ANTAC, 1995. p. 33-42.

FIORITO, A.J.S.I. **Manual de argamassas e revestimentos: Estudos e procedimentos de execução.** 4.ed.São Paulo: Pini, 1994.223p.

GOMES, M. A., **Caracterização de argamassas tradicionais utilizadas nos revestimentos externos dos edifícios-** Lisboa: Universidade Técnica de Lisboa - Instituto Técnico Superior, 1995-269p.

HAECKER, C. J.; GARBOCZI, E. J.; BULLARD, J. W.; BOHN, Z. S.; SHAH, S. P.; VOIGT, T. Modeling the linear elastic properties of Portland cement paste. **Cement and Concrete Research**, n. 35, p. 1948-1960, 2005.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION-ISO-**Performance standards in building-**Contents and presentation: Iso-DP-6240. Geneve, 1980,16p.

JOHN, V. M. Repensando o papel da cal hidratada nas argamassas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 5., 2003. São Paulo. **Anais...** São Paulo: EPUSP-PCC/ANTAC, 2003. p. 47-64.

JUNGINGER, M. **Rejuntamento de revestimentos cerâmicos: influência das juntas de assentamento na estabilidade de painéis,** 2003.1241; Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica. Universidade de São Paulo. São Paulo, 2003.

KANNA, V.; OLSON, R. A.; JENNINGS, H. M. **Effect of shrinkage and moisture content on the physical characteristics of blended cement mortars.** **Cement and Concrete Research**, v. 28, nº10, p. 1467-1477, 1998

KOPSCHITZ, P.; FRANCINETE JR., P.; CINCOTTO, M. A.; JOHN, V. M. **Estudo da retração e do desenvolvimento de propriedades mecânicas de argamassas mistas para revestimento.** In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 2.,1997. Salvador. **Anais...** Salvador: CEPED, 1997. p. 120-129.

MACIEL, L. L.; BARROS, M. M. S. B.; SABBATINI, F. H. **Recomendações para a execução de Revestimentos de argamassa para paredes de vedação internas e exteriores e tetos.** São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1998. MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: estrutura, propriedades e materiais.** São Paulo: PINI, 1994.

QUARCIONI, V.A.; CINCOTTO, M. A. **Influência da cal em propriedades mecânicas de argamassa**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 6.2005. Florianópolis. Anais... Florianópolis: UFSC, 2005. p. 233-250.

REUNION INTERNATIONALE DES LABORATOIRES D'ESSAIS ET MATERIAUX – RILEM – Recommendations-MR-14. **Determination of the bond of renderings by shear test**, 1994.

REUNION INTERNATIONALE DES LABORATOIRES D'ESSAIS ET MATERIAUX – RILEM – Recommendations-MR-20. **Determination of the bond strength of renderings by torsion test**, 1994.

SELMO, S. M. S. **Dosagem de cimento Portland e cal para revestimentos externos de fachadas e edifícios**. 1989. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Construção Civil) – Escola Politécnica da Universidade Estadual de São Paulo, São Paulo, 1989.

SELMO, S.M.S.; NAKAKURA, E.H.; MIRANDA, L.F.R.; MEDEIROS, M.H.F.; SILVA, C.O. – **Propriedades e especificações da argamassa industrializada de múltiplo uso**. Publicações. pcc.usp.br/PDFBT310.pdf, 2006.

TIMOSHENKO, S. P.; GERE, J. E. **Mecânica dos sólidos**. v. 1. Rio de Janeiro: LTC, 1983.

THOMAZ, E. **Trincas em Edifícios: causas, prevenção e recuperação**. São Paulo: PINI: IPT, 1989.

TRISTÃO, F.A.; ROMAN, H. R. **Influência da composição granulométrica da areia as propriedades mecânicas das argamassas**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 1., 1995. Goiânia. **Anais...** Goiânia: UFG/ANTAC, 1995. p. 283-294.

VEIGA, M. R. **Comportamento de argamassas de revestimentos de paredes**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 5., 2003. São Paulo. **Anais**. São Paulo: USP, 2003. p. 63-93.

YOSHIDA, A.T.; BARROS, M. M. S. B. **Caracterização de argamassas no estado fresco peculiaridades na análise de argamassas industrializadas**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 1., 1995. Goiânia. **Anais...** Goiânia: UFG/ANTAC, 1995. p. 53-62.

## **ANEXOS**

**Planilhas dos resultados obtidos nos ensaios**

## Resultados dos ensaios - Planilha N° 01

Painel	Tipo	Carga (kgf)	K	Forma de ruptura
P1-1	F(0°)	405,2	2,4056	50%entre camadas + 50%argamassa/bloco
	F(45°)	238,2		100% bloco
	F(90°)	327		100% bloco/argamassa
Painel	Força	Carga	K	Forma de ruptura
P1-2	F(0°)	449,8	1,8373	50% argamassa + 50% bloco
	F(45°)	346,2		100% bloco
	F(90°)	445,4		100% bloco
Painel	Força	Carga	K	Forma de ruptura
P1-3	F(0°)	381,6	3,0216	100% bloco
	F(45°)	178,65		100% bloco
	F(90°)	363,6		100% bloco
Painel	Força	Carga	K	Forma de ruptura
P1-4	F(0°)	475,6	2,5266	100% bloco
	F(45°)	266,2		100% bloco
	F(90°)	373		100%bloco
Painel	Força	Carga	K	Forma de ruptura
P2-1	F(0°)	649,4	4,2166	100% argamassa superficial
	F(45°)	217,8		100% argamassa superficial
	F(90°)	325,4		100% argamassa superficial
Painel	Força	Carga	K	Forma de ruptura
P2-2	F(0°)	436,6	1,4148	100% bloco
	F(45°)	435,8		100% bloco
	F(90°)	292,8		100%bloco
Painel	Força	Carga	K	Forma de ruptura
P2-3	<b>F(0°)</b>	<b>476,6</b>	<b>3,0442</b>	<b>100% argamassa/bloco</b>
	<b>F(45°)</b>	<b>221,4</b>		<b>100% argamassa/bloco</b>
	<b>F(90°)</b>	<b>393,6</b>		<b>100% argamassa /bloco</b>
Painel	Força	Carga	K	Forma de ruptura
P2-4	<b>F(0°)</b>	<b>220,8</b>	<b>3,6478</b>	<b>100% argamassa/bloco</b>
	<b>F(45°)</b>	<b>85,4</b>		<b>100% argamassa bloco</b>
	<b>F(90°)</b>	<b>186,4</b>		<b>100% argamassa/bloco</b>
Painel	Força	Carga	K	Forma de ruptura
P3-1	F(0°)	229,4	0,9766	100% argamassa/bloco
	F(45°)	328,8		100% argamassa superficial
	F(90°)	464,4		100% argamassa superficial
Painel	Força	Carga	K	Forma de ruptura
P3-2	F(0°)	580,4	3,3474	100% argamassa/bloco
	F(45°)	245,2		100% argamassa superficial
	F(90°)	411,6		100% argamassa superficial
Painel	Força	Carga	K	Forma de ruptura
P3-3	<b>F(0°)</b>	<b>224,6</b>	<b>2,4546</b>	<b>100% argamassa/bloco</b>
	<b>F(45°)</b>	<b>129,4</b>		<b>100% argamassa/bloco</b>
	<b>F(90°)</b>	<b>427,8</b>		<b>100% argamassa/bloco</b>
Painel	Força	Carga	K	Forma de ruptura
P3-4	<b>F(0°)</b>	<b>246,2</b>	<b>1,9386</b>	<b>100% argamassa/bloco</b>
	<b>F(45°)</b>	<b>179,2</b>		<b>100% argamassa/bloco</b>
	<b>F(90°)</b>	<b>344,6</b>		<b>100% argamassa/bloco</b>

## Resultados dos ensaios-Planilha 02

Painel	Força	Carga (kgf)	K	Forma de ruptura
P4-1	F(0°)	719,0	1,7773	100% argamassa superf.
	F(45°)	572,4		100% argamassa superf.
	F(90°)	316,6		100% argamassa superf
Painel	Força	Carga	K	Forma de ruptura
P4-2	<b>F(0°)</b>	<b>642,0</b>	<b>3,0607</b>	<b>100% argamassa/bloco</b>
	<b>F(45°)</b>	<b>297,0</b>		<b>100% argamassa/bloco</b>
	<b>F(90°)</b>	<b>288,4</b>		<b>100% argamassa/bloco</b>
Painel	Força	Carga	K	Forma de ruptura
P4-3	<b>F(0°)</b>	<b>265,0</b>	<b>1,9377</b>	<b>100% argamassa/bloco</b>
	<b>F(45°)</b>	<b>193,4</b>		<b>100% argamassa/bloco</b>
	<b>F(90°)</b>	<b>143,4</b>		<b>100% argamassa/bloco</b>
Painel	Força	Carga	k	Forma de ruptura
P4-4	<b>F(0°)</b>	<b>325,4</b>	<b>1,8844</b>	<b>100% argamassa/bloco</b>
	<b>F(45°)</b>	<b>244,2</b>		<b>100% argamassa/bloco</b>
	<b>F(90°)</b>	<b>137,0</b>		<b>100% argamassa/bloco</b>
Painel	Força	Carga	K	Forma de ruptura
P5-1	<b>F(0°)</b>	<b>533,0</b>	<b>1,9054</b>	<b>100% argamassa/bloco</b>
	<b>F(45°)</b>	<b>395,6</b>		<b>100% argamassa/bloco</b>
	<b>F(90°)</b>	<b>410,8</b>		<b>100% argamassa/bloco</b>
Painel	Força	Carga	K	Forma de ruptura
P5-2	<b>F(0°)</b>	<b>426,0</b>	<b>1,6014</b>	<b>100% argamassa/bloco</b>
	<b>F(45°)</b>	<b>376,2</b>		<b>100% argamassa/bloco</b>
	<b>F(90°)</b>	<b>244,0</b>		<b>100% argamassa/bloco</b>
Painel	Força	Carga	K	100% argamassa/bloco
P5-3	<b>F(0°)</b>	<b>172,2</b>	<b>2,5105</b>	<b>100% argamassa/bloco</b>
	<b>F(45°)</b>	<b>97,0</b>		<b>100% argamassa/bloco</b>
	<b>F(90°)</b>	<b>127,2</b>		<b>100% argamassa /bloco</b>
Painel	Força	Carga	K	Forma de ruptura
P5-4	<b>F(0°)</b>	<b>226,4</b>	<b>2,7506</b>	<b>100% argamassa/bloco</b>
	<b>F(45°)</b>	<b>116,4</b>		<b>100% argamassa/bloco</b>
	<b>F(90°)</b>	<b>207,4</b>		<b>100% argamassa/bloco</b>
Painel	Força	Carga	K	Forma de ruptura
P6-1	<b>F(0°)</b>	<b>224,0</b>	<b>1,7216</b>	<b>100% argamassa/bloco</b>
	<b>F(45°)</b>	<b>184,0</b>		<b>100% argamassa/bloco</b>
	<b>F(90°)</b>	<b>232,2</b>		<b>100% argamassa/bloco</b>
P6-2	<b>F(0°)</b>	<b>303,2</b>	<b>3,4357</b>	<b>100% argamassa/bloco</b>
	<b>F(45°)</b>	<b>124,8</b>		<b>100% argamassa/bloco</b>
	<b>F(90°)</b>	<b>200,2</b>		<b>100% argamassa/bloco</b>
Painel	Força	Carga	K	Forma de ruptura
P6-3	<b>F(0°)</b>	<b>313,4</b>	<b>1,0379</b>	<b>100% argamassa bloco</b>
	<b>F(45°)</b>	<b>427,0</b>		<b>100% argamassa bloco</b>
	<b>F(90°)</b>	<b>256,4</b>		<b>100% argamassa bloco</b>
Painel	Força	Carga	K	Forma de ruptura
P6-4	<b>F(0°)</b>	<b>569,2</b>	<b>2,8146</b>	<b>100% argamassa bloco</b>
	<b>F(45°)</b>	<b>286,0</b>		<b>100% argamassa bloco</b>
	<b>F(90°)</b>	<b>288,0</b>		<b>100% argamassa bloco</b>

## Resultados dos ensaios - Planilha n° 03

Painel	Tipo	Carga (kgf)	K	Forma de ruptura
P7-1	F(0°)	253	1,8088	100% argamassa/bloco
	F(45°)	197,8		100% argamassa/bloco
	F(90°)	239		100% argamassa/bloco
Painel	Força	Carga	K	Forma de ruptura
P7-2	F(0°)	249,2	1,7816	100% argamassa/bloco
	F(45°)	197,8		100% argamassa/bloco
	F(90°)	204		100% argamassa/bloco
Painel	Força	Carga	K	Forma de ruptura
P7-3	F(0°)	167,6	2,2068	100% argamassa/bloco
	F(45°)	107,4		100% argamassa/bloco
	F(90°)	214,8		100% argamassa/bloco
Painel	Força	Carga	K	Forma de ruptura
P7-4	F(0°)	151	1,4996	100% argamassa/bloco
	F(45°)	142,4		100% argamassa/bloco
	F(90°)	199,2		100% argamassa/bloco
Painel	Força	Carga	K	Forma de ruptura
P8-1	B8-1	472,4	1,1292	100% argamassa/bloco
	F(45°)	591,6		100% argamassa superficial
	F(90°)	325,8		100% argamassa superficial
Painel	Força	Carga	K	Forma de ruptura
P8-2	F(0°)	649,4	1,914	100% argamassa/bloco
	F(45°)	479,8		100% bloco
	F(90°)	392,8		100% bloco
Painel	Força	Carga	K	Forma de ruptura
P8-3	F(0°)	409,8	2,3482	100% argamassa/bloco
	F(45°)	246,8		100% argamassa/bloco
	F(90°)	325,2		100% argamassa/bloco
Painel	Força	Carga	K	Forma de ruptura
P8-4	F(0°)	342,8	1,8775	100% argamassa/bloco
	F(45°)	258,2		100% argamassa/bloco
	F(90°)	326,2		100% argamassa/bloco
Painel	Força	Carga(kgf)	K	Forma de ruptura
P9-1	F(0°)	431,8	2,6759	100% argamassa/bloco
	F(45°)	228,2		100% argamassa/bloco
	F(90°)	375,0		100% argamassa/bloco
Painel	Força	Carga(kgf)	K	Forma de ruptura
P9-2	F(0°)	386,4	2,1496	100% argamassa/bloco
	F(45°)	254,2		100% argamassa/bloco
	F(90°)	307,4		100% argamassa superficial
Painel	Força	Carga(kgf)	K	Forma de ruptura
P9-3	F(0°)	352,2	1,8696	100% argamassa/bloco
	F(45°)	266,4		100% argamassa/bloco
	F(90°)	373,2		25% argamassa+75% argamassa/bloco
Painel	Força	Carga(kgf)	K	Forma de ruptura
P9-4	F(0°)	241,8	1,0869	100% argamassa/bloco
	F(45°)	314,6		100% argamassa/bloco
	F(90°)	282,4		100% argamassa/bloco

#### Resultados dos ensaios-planilha-N°4

Painel	Tipo	Carga (kgf)	K	Forma de ruptura
<b>P10-1</b>	<b>F(0°)</b>	<b>339,4</b>	<b>1,9338</b>	<b>100% argamassa/bloco</b>
	<b>F(45°)</b>	<b>248,2</b>		<b>100% argamassa/bloco</b>
	<b>F(90°)</b>	<b>332,4</b>		<b>100% argamassa/bloco</b>
Painel	Força	Carga	K	Forma de ruptura
<b>10-2</b>	<b>F(0°)</b>	<b>328,8</b>	<b>1,9702</b>	<b>100% argamassa/bloco</b>
	<b>F(45°)</b>	<b>236</b>		<b>100% argamassa/bloco</b>
	<b>F(90°)</b>	<b>338</b>		<b>100% argamassa/bloco</b>
Painel	Força	Carga	K	Forma de ruptura
P10-3	F(0°)	507,8	1,8226	50% argamassa+50% argamassa/bloco
	F(45°)	394		60% argamassa/bloco +40% argamassa
	F(90°)	339		100% bloco
Painel	Força	Carga	K	Forma de ruptura
P10-4	F(0°)	524,2	1,8045	100% bloco
	F(45°)	410,8		100% argamassa/bloco
	F(90°)	482,8		50% argamassa + 50% argamassa/bloco
Painel	Força	Carga	K	Forma de ruptura
P11-1	B8-1	358,4	1,6349	100% argamassa/bloco
	F(45°)	310		100% bloco
	F(90°)	155,2		100% argamassa/bloco
Painel	Força	Carga	K	Forma de ruptura
P11-2	F(0°)	257,8	1	100% argamassa/bloco
	F(45°)	312		100% bloco
	F(90°)	181,4		100% argamassa/bloco
Painel	Força	Carga	K	Forma de ruptura
P11-3	F(0°)	308,6	1,0932	100% argamassa/bloco
	F(45°)	399,2		100% bloco
	F(90°)	205,4		15% argamassa + 85% argamassa/bloco
Painel	Força	Carga	K	Forma de ruptura
<b>P11-4</b>	<b>F(0°)</b>	<b>343,2</b>	<b>2,0189</b>	<b>100% argamassa/bloco</b>
	<b>F(45°)</b>	<b>240,2</b>		<b>100% argamassa/bloco</b>
	<b>F(90°)</b>	<b>239,2</b>		<b>100% argamassa/bloco</b>
Painel	Força	Carga	K	Forma de ruptura
<b>P12-1</b>	<b>F(0°)</b>	<b>498,8</b>	<b>1,5510</b>	<b>100% argamassa /bloco</b>
	<b>F(45°)</b>	<b>454,8</b>		<b>100% argamassa /bloco</b>
	<b>F(90°)</b>	<b>609,6</b>		<b>100% argamassa /bloco</b>
Painel	Força	Carga	K	Forma de ruptura
<b>P12-2</b>	<b>F(0°)</b>	<b>498</b>	<b>1,8002</b>	<b>100% argamassa /bloco</b>
	<b>F(45°)</b>	<b>391,2</b>		<b>100% argamassa /bloco</b>
	<b>F(90°)</b>	<b>480</b>		<b>100% argamassa /bloco</b>
Painel	Força	Carga	K	Forma de ruptura
<b>P12-3</b>	<b>F(0°)</b>	<b>170,2</b>	<b>1,0104</b>	<b>100% argamassa/bloco</b>
	<b>F(45°)</b>	<b>238,2</b>		<b>100% argamassa/bloco</b>
	<b>F(90°)</b>	<b>90</b>		<b>100% argamassa/bloco</b>
Painel	Força	Carga	K	Forma de ruptura
<b>P12-3</b>	<b>F(0°)</b>	<b>123,0</b>	<b>1,4495</b>	<b>100% argamassa/bloco</b>
	<b>F(45°)</b>	<b>120,0</b>		<b>100% argamassa/bloco</b>
	<b>F(90°)</b>	<b>94,2</b>		<b>100% argamassa/bloco</b>

**Resultados dos ensaios - Planilha N° 05**

Painel	Tipo	Carga (kgf)	K	Forma de ruptura
<b>P13-1</b>	<b>F(0°)</b>	<b>748,0</b>	<b>5,1601</b>	<b>100% argamassa/bloco</b>
	<b>F(45°)</b>	<b>205,0</b>		<b>100% argamassa/bloco</b>
	<b>F(90°)</b>	<b>320,6</b>		<b>100% argamassa/bloco</b>
Painel	Força	Carga	K	Forma de ruptura
<b>P13-2</b>	<b>F(0°)</b>	<b>447,0</b>	<b>2,8271</b>	<b>100% argamassa/bloco</b>
	<b>F(45°)</b>	<b>223,6</b>		<b>100% argamassa/bloco</b>
	<b>F(90°)</b>	<b>447,4</b>		<b>100% argamassa/bloco</b>
Painel	Força	Carga		Forma de ruptura
<b>P13-3</b>	<b>F(0°)</b>	<b>248,4</b>	<b>1,5447</b>	<b>100% argamassa/bloco</b>
	<b>F(45°)</b>	<b>227,4</b>		<b>100% argamassa/bloco</b>
	<b>F(90°)</b>	<b>286,4</b>		<b>100% argamassa/bloco</b>
Painel	Força	Carga	K	Forma de ruptura
<b>P13-4</b>	<b>F(0°)</b>	<b>296,8</b>	<b>2,2137</b>	<b>100% argamassa/bloco</b>
	<b>F(45°)</b>	<b>189,6</b>		<b>100% argamassa/bloco</b>
	<b>F(90°)</b>	<b>176,2</b>		<b>100% argamassa/bloco</b>
Painel	Força	Carga	K	Forma de ruptura
P14-1	B8-1	488,6	2,8249	100% argamassa/bloco
	F(45°)	244,6		100% bloco
	F(90°)	214,4		100% argamassa/bloco
Painel	Força	Carga	K	Forma de ruptura
P14-2	F(0°)	413,2	2,6227	100% argamassa/bloco
	F(45°)	222,8		100 bloco
	F(90°)	157,8		100% argamassa/bloco
Painel	Força	Carga	K	Forma de ruptura
<b>P14-3</b>	<b>F(0°)</b>	<b>263,2</b>	<b>4,3585</b>	<b>100% argamassa/bloco</b>
	<b>F(45°)</b>	<b>85,4</b>		<b>100% argamassa/bloco</b>
	<b>F(90°)</b>	<b>187,0</b>		<b>100% argamassa/bloco</b>
Painel	Força	Carga	K	Forma de ruptura
<b>P14-4</b>	<b>F(0°)</b>	<b>430,0</b>	<b>3,3328</b>	<b>100% argamassa/bloco</b>
	<b>F(45°)</b>	<b>182,8</b>		<b>100% argamassa/bloco</b>
	<b>F(90°)</b>	<b>202,2</b>		<b>100% argamassa/bloco</b>