

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CONSTRUÇÃO CIVIL

Guilherme Augusto Martins Moreira

**ESTUDO DA RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA AO CISALHAMENTO DA
ARGAMASSA COLANTE NOS REVESTIMENTOS DE FACHADA: Uma
contribuição ao desenvolvimento da metodologia de ensaio**

Belo Horizonte
2022

Guilherme Augusto Martins Moreira

**ESTUDO DA RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA AO CISALHAMENTO DA
ARGAMASSA COLANTE NOS REVESTIMENTOS DE FACHADA: Uma
contribuição ao desenvolvimento da metodologia de ensaio**

Dissertação apresentada à Escola de Engenharia da
Universidade Federal de Minas Gerais como parte dos
requisitos para obtenção do título de Mestre em Construção
Civil. Área de concentração: Tecnologia na Construção
Civil. Linha de pesquisa: Materiais de Construção Civil.

Orientador: Prof. Dr. Antônio Neves de Carvalho Junior

Belo Horizonte
2022

M838e

Moreira, Guilherme Augusto Martins.

Estudo da resistência de aderência ao cisalhamento da argamassa colante nos revestimentos de fachada [recurso eletrônico] : uma contribuição ao desenvolvimento da metodologia de ensaio / Guilherme Augusto Martins Moreira. – 2022.

1 recurso online (59 f. : il., color.) : pdf.

Orientador: Antônio Neves de Carvalho Junior.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia.

Bibliografia: f. 57-59.

Exigências do sistema: Adobe Acrobat Reader.

1. Construção civil - Teses. 2. Materiais de construção - Teses. 3. Argamassa - Teses. 4. Cisalhamento - Teses. 5. Deformações e tensões - Teses. 6. Revestimentos - Teses. 7. Fachadas - Teses. I. Carvalho Júnior, Antônio Neves de. II. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Engenharia. III. Título.

CDU: 691(043)

ATA DA DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM CONSTRUÇÃO CIVIL Nº 235 DO ALUNO GUILHERME AUGUSTO MARTINS MOREIRA.

As quatorze horas e trinta minutos do dia trinta de março de dois mil e vinte e dois, reuniu-se, por meio de sistema de interação de áudio e vídeo em tempo real (plataforma Microsoft Teams) a Comissão Examinadora de Dissertação de Mestrado, aprovada *ad referendum* pelo Coordenador do Curso de Mestrado em Construção Civil - EE.UFMG, Prof. Dr. Eduardo Chahud, para julgar, em exame final, o trabalho intitulado "ESTUDO DA RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA AO CISALHAMENTO DA ARGAMASSA COLANTE NOS REVESTIMENTOS DE FACHADA: UMA CONTRIBUIÇÃO AO DESENVOLVIMENTO DA METODOLOGIA DE ENSAIO", requisito final para a obtenção do Grau de MESTRE EM CONSTRUÇÃO CIVIL na área de: TECNOLOGIA NA CONSTRUÇÃO CIVIL. Abrindo a sessão, o Presidente da Comissão, Prof. Dr. Antônio Neves de Carvalho Júnior, após dar a conhecer aos presentes o teor das Normas Regulamentares do Trabalho Final, passou a palavra ao candidato para apresentação do seu trabalho. Seguiu-se a arguição pelos examinadores, com a respectiva defesa do candidato. Logo após, sem a participação do candidato na transmissão, houve o julgamento e expedição do resultado pela Comissão. Foram atribuídas as seguintes indicações:

PROF. ANTÔNIO NEVES DE CARVALHO JÚNIOR	(X)	APROVADO	()	REPROVADO
PROF. EDUARDO CHAHUD	(X)	APROVADO	()	REPROVADO
PROF. ANDRÉ LUÍS CHRISTOFORO	(X)	APROVADO	()	REPROVADO

Pelas indicações dos membros acima, o candidato foi considerado **aprovado**. Pequenas sugestões de correções no trabalho foram observadas, conforme pareceres anexos, sendo que o candidato terá o prazo máximo de 60 (sessenta) dias para efetuá-las e entregar a versão final da dissertação à Secretaria do Curso de Mestrado em Construção Civil. O resultado foi comunicado ao candidato pelo Presidente da Comissão. Nada mais havendo a tratar, o Presidente encerrou a transmissão e lavrou a presente ATA, que será assinada eletronicamente por todos os membros participantes da Comissão Examinadora. Belo Horizonte, trinta de março de dois mil e vinte e dois.

Assinaturas da Comissão:

Antonio Neves
de Carvalho Jr

Assinado de forma digital por
Antonio Neves de Carvalho Jr
Data: 2022.03.30 15:21:18
+03'00'

Eduardo
Chahud

Assinado de
forma digital por
Eduardo Chahud
Data: 2022.03.30
14:22:42-03'00'

Documento assinado digitalmente
em 30/03/2022 14:22:42-03'00'
Data: 2022.03.30 14:22:42-03'00'
https://br.sic.br/verificador.jspx

Prof. Dr. Eduardo Chahud / Profa. Dra. Maria Teresa Paulino Aguiar
Coordenação do Curso de Mestrado em Construção Civil
ESCOLA DE ENGENHARIA/UFMG

AGRADECIMENTOS

Agradeço à todos aqueles que de alguma forma me ajudaram e incentivaram nesta trilha que é a pesquisa científica. Este trabalho não foi feito sozinho, mas com a colaboração de várias pessoas. Gostaria de agradecer em especial:

Aos meus pais, Renato e Dalva, pelo exemplo de resiliência e fé e de sempre estarem me apoiando durante toda essa pesquisa. Se pude chegar até aqui é porque tive uma base que me sustentou. Vocês são meus maiores exemplos! O fruto deste esforço também é de vocês.

Aos meus irmãos, Lis, Celo e Renatinho que sempre me apoiaram e me incentivaram durante todo o mestrado cada um da sua melhor maneira e por suportarem meus estresses. O reconhecimento de vocês foi fundamental.

À minha namorada, Lívia, pelo companheirismo durante o processo de escrita e a realização dos ensaios. Sem você não iria conseguir chegar até aqui.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Antônio Júnior, inicialmente pela palestra proferida no qual despertou meu interesse para ingresso no mestrado e curiosidade pela disciplina. Também pelo apoio e orientações com seu vasto conhecimento. Que este seja apenas o primeiro passo para uma longa caminhada de projetos.

Ao meu amigo M.Sc. Rodolfo Rabelo por todo o apoio e incentivo desde o ingresso ao mestrado, durante o curso e até os momentos finais deste trabalho.

À Aquarela Construções e aos meus amigos João Navarro e Zeuler Navarro, por todo apoio e pelos materiais e espaços cedidos para confecção e execução dos corpos de prova.

À BH Estruturas Metálicas pelas dicas e apoio na elaboração das peças desenvolvidas neste trabalho.

À Deus, pela vida e pela minha saúde.

À todos vocês o meu muito obrigado!

“A mente que se abre a uma nova ideia jamais voltará a seu tamanho original”

RESUMO

O sistema de revestimento de fachada é amplamente utilizado em edifícios em todo o Brasil. O sistema composto por substrato/emboço/argamassa colante/revestimento está intimamente ligado fazendo com que uma deformação imposta a qualquer camada resulte em tensões em todo sistema. Com o aumento do uso, tal sistema tem apresentado diversas manifestações patológicas entre elas o descolamento das placas cerâmicas da fachada. O deslocamento pode ser ocasionado por diversos fatores externos que geram tensões de cisalhamento devido a retração e expansão contínuas da argamassa colante que estão submetidos a variadas situações de aquecimento, resfriamento, dilatação higroscópica e retração hidráulica. Apesar da tensão de cisalhamento estar presente no sistema são poucos os estudos voltados para esta, sendo o maior foco na resistência de aderência a tração da argamassa. No Brasil, não há norma vigente que determina a resistência de aderência ao cisalhamento das argamassas colantes. Este trabalho possui o objetivo de analisar os diferentes métodos existentes de ensaio de resistência de aderência ao cisalhamento, contribuir com a criação de um método prático para tal ensaio, analisar a influência da argamassa colante tipo ACII e ACIII na resistência ao cisalhamento do sistema de revestimento composto por peças cerâmicas. Foi possível observar que o método de ensaio para análise da resistência de aderência ao cisalhamento da argamassa colante se mostrou mais prático aos normatizados e anteriormente estudados por outros autores. A camisa metálica produzida neste trabalho apresentou ótimo desempenho para ensaios de resistência de cisalhamento de cerâmicas assentadas com argamassa colante. A metodologia proposta neste trabalho se mostrou eficiente para analisar a resistência de aderência ao cisalhamento da argamassa colante. A argamassa colante ACII e ACIII apresentaram resultados satisfatórios, próximos de 1,0MPa.

Palavras chave: argamassa colante; tensão de cisalhamento; metodologia de ensaio.

ABSTRACT

The facade cladding system is widely used in buildings throughout Brazil. The system composed of substrate/plaster/adhesive mortar/coating is closely linked, so a deformation imposed on a coating to result in the entire system. Increasing in use, that system has manifested many pathological problems, one of them is the ceramic detachment of the facade.

The detachment can be caused by several external factors that cause the retraction and expansions of adhesive mortar that be requested for a lot of warming, cooling, hygroscopic expansion and hydraulic retraction. Even though the shear stress is in the system, there are few studies about it. In Brazil, there is no current standard that determines the shear bond strength of adhesives. This research aims to analyze the different methods of test of work resistance to shear, to contribute with the creation of a practical method for the test, to study the influence of the adhesive mortar type ACII and ACIII in the shear resistance of the coating system composed by ceramic pieces. It was observed that the test for strength analysis of the shear bond stress is more practical than the standardized methods showed by other authors. The metallic piece produced in this work presented excellent performance for resistance tests of metallic ceramics laid with adhesive mortar. The methodology in this work proved to be efficient to analyze the adhesion resistance to the adhesive mortar. The adhesive mortar ACII and ACIII showed satisfactory results, close to 1.0MPa.

Keywords: adhesive mortar; shear stress; test methodology.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- O Dragão de Marduk	15
Figura 2- Camadas do sistema de revestimento	16
Figura 3 – Deslocamentos de cerâmica em Belo Horizonte	21
Figura 4- Camadas do sistema de revestimento	23
Figura 5- Variação volumétrica da argamassa x cerâmica	25
Figura 6- Gráfico representativo da EPU x tempo (sem escala)	26
Figura 7 – Sistema de ensaio por torção	28
Figura 8 – Método de ensaio preconizado pela MR-14.....	29
Figura 9 – Método preconizado pela ASTM C482 (2014).....	30
Figura 10 – Método desenvolvido por Sagave.....	31
Figura 11 – Exemplificação do sentido de arrancamento.....	31
Figura 12- Método desenvolvido por Santana (2010)	32
Figura 13 – Corpo de prova para ensaio de arrancamento a 45°	33
Figura 14 – Dispositivo de arrancamento a 45°	33
Figura 15 – Projeto do dispositivo desenvolvido por Stolz <i>et al.</i> (2016).....	34
Figura 16 - Dispositivo desenvolvido por Stolz (2016)	35
Figura 17 – Corpo de prova produzido por Alves (2018)	36
Figura 18 – Método de arrancamento desenvolvido por Alves (2018)	36
Figura 19 - Aderímetro utilizado para o ensaio	38
Figura 20 - Placa metálica adaptada elaborada para ensaio	39
Figura 21- Disposição da peça metálica no corpo de prova	39
Figura 22- Disposição do aderímetro para realização do ensaio.....	40
Figura 23 - Corpo de prova executado	41
Figura 24 – Corpos de prova moldados	41
Figura 25- (a) Misturador utilizado na execução da argamassa e (b) Flow table	43
Figura 26 - (a) Preenchimento do tronco cônico e (b) medição do espalhamento da argamassa	43
Figura 27 – Preparação dos materiais para ensaio de peneiramento	44
Figura 28 - Planta da camisa metálica inicial	46
Figura 29 - Camisas metálicas e corpos de prova produzidos	46
Figura 30 - 1º ensaio realizado	47
Figura 31 - Deslize da camisa metálica no ensaio de arrancamento	47
Figura 32 - Corpos de prova assentados no piso com ACIII	48

Figura 33- (a) rompimento do bloco cerâmico antes do arrancamento da peça de granito e (b) deformação da camisa metálica.....	49
Figura 34 - Planta da camisa metálica com o reforço.....	50
Figura 35 - Camisa metálica reforçada com duas chapas.....	50
Figura 36 - Deformação da camisa metálica com reforço de chapas	51
Figura 37 - Camisa metálica com a ruptura barra roscada	52
Figura 38 - Planta da camisa metálica final.....	53
Figura 39 - Camisa metálica reforçada.....	53
Figura 40 - Camisa metálica disposta no corpo de prova.....	54
Figura 41 - Detalhe do apoio utilizado por Alves (2018).....	55
Figura 42 – Trincas que surgiram na ruptura do bloco.....	56
Figura 43 – Trincas que surgiram na ruptura do bloco com ângulos aproximados de 45°	56
Figura 44- Ensaio de coeficiente de absorção.....	59
Figura 45 - Detalhe do bloco quebrados durante o ensaio.....	60

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS	12
1.2 JUSTIFICATIVA	12
1.3 OBJETIVO GERAL	14
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
2.1 SISTEMA DE REVESTIMENTO	14
2.1.1 Argamassa colante.....	16
2.1.1.1 Sistema de aderência da argamassa colante	17
2.1.1.2 Parâmetros de resistência de aderência da argamassa	18
2.1.2 Desempenho do sistema de revestimento	21
2.2 TENSÕES NO SISTEMA DE REVESTIMENTO	22
2.2.1 Variações térmicas	23
2.2.2 Dilatação higroscópica	25
2.2.3 Retração hidráulica da argamassa.....	27
2.3 ENSAIOS DE RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA AO CISALHAMENTO.....	27
2.3.1 RILEM MR-20 – Determinação da resistência de aderência dos revestimentos pelo método de cisalhamento por torção	27
2.3.2 RILEM MR-14 – Determinação da resistência de aderência dos revestimentos pelo método de cisalhamento	29
2.3.3 ASTM C482 – Método de ensaio para a determinação da tensão de aderência de argamassas de cimento Portland para revestimentos cerâmicos.....	30
2.3.4 Método desenvolvido por Sagave (2001)	31
2.3.5 Método desenvolvido por Santana (2010).....	32
2.3.6 Método desenvolvido por Stolz et al. (2016).....	34
2.3.7 Método desenvolvido por Alves (2018)	35
3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	37
3.1 MATERIAIS	37
3.1.1 Argamassa colante.....	37
3.1.2 Revestimentos.....	37
3.2 MÉTODOS.....	38
3.2.1 Dispositivo de ensaio para cisalhamento.....	38
3.2.2 Montagem do substrato	40
3.2.2.1 Preparação do corpo de prova.....	40
3.2.3 Caracterização da argamassa colante	42
3.2.3.1 Consistência da argamassa colante	42
3.2.3.2 Granulometria	43

3.2.4	<i>Caracterização do substrato quanto a absorção de água</i>	44
4	RESULTADOS	45
4.1	ENSAIO DE RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA AO CISALHAMENTO	45
4.1.1	<i>Primeiro teste realizado</i>	45
4.1.2	<i>Segundo teste realizado</i>	48
4.1.3	<i>Terceiro teste realizado</i>	49
4.1.4	<i>Quarto teste realizado</i>	52
4.1.5	<i>Análise do método utilizado</i>	54
4.2	CARACTERÍSTICAS DA ARGAMASSA COLANTE E SUBSTRATO	56
4.2.1	<i>Granulometria</i>	56
4.2.2	<i>Índice de consistência</i>	57
4.2.3	<i>Coefficiente de absorção do substrato</i>	58
4.3	ANÁLISE DA RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA AO CISALHAMENTO DA ARGAMASSA COLANTE	60
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	66
6	SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS	67
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	68

1 INTRODUÇÃO

1.1 Considerações iniciais

Atualmente, o sistema de revestimento de fachada é amplamente utilizado em edifícios em países como Brasil, Portugal, Singapura e Israel (MARANHÃO, 2009) não somente pelo seu efeito estético, mas também pelo conforto térmico e proteção á estrutura de concreto contra a carbonatação e intemperismos (MAHABOONPACHAI *et al.*, 2008). Tal sistema cresceu nos últimos anos devido aos avanços tecnológicos dos revestimentos cerâmicos e dos materiais utilizados para o assentamento. Apenas no ano de 2018, foram produzidos 795 milhões de m² de peças cerâmicas no Brasil de acordo com a ANFACER - Associação Nacional dos Fabricantes de Cerâmica para Revestimentos, Louças Sanitárias e Congêneres.

Segundo Goldberg (1998), a tecnologia adesiva abriu espaço para nova possibilidades estéticas para revestimentos de fachada. Tal sistema permite ao arquiteto uma flexibilidade maior na escolha dos materiais para revestimentos como cerâmicas, azulejos e pedras ornamentais não possíveis anteriormente. O autor destaca que o sistema de revestimento deve possuir as funções de resistir às pressões do vento e abalos sísmicos, resistir ás movimentações térmicas, conservar a energia e controlar o fluxo de calor entre o meio interno e externo, impedir a penetração de água da chuva, promover conforto acústico, resistir e conter o fogo entre outras diversas finalidades.

Porém tal sistema tem apresentado diversas patologias como quebras, eflorescências e o destacamento da fachada (SILVESTRE e BRITO, 2011). Este último, além da desvalorização do imóvel devido a necessidade de reparos, torna a estrutura vulnerável as infiltrações de águas e gases. Devido essas patologias, diversos estudos surgiram visando entender melhor o desempenho do sistema, a aderência da argamassa colante no substrato e os fatores que causam o seu descolamento.

1.2 Justificativa

Os sistemas de revestimentos tiveram um avanço de uso significativo devido as inovações tecnológicas da indústria de cerâmica e argamassas de assentamento. Entretanto, nem todos esses desenvolvimentos foram seguidos de forma adequada por aqueles envolvidos no processo de construção fazendo com que aumentasse também o número de patologias no sistema de revestimento de fachada em edifícios (SILVESTRE E BRITO, 2011).

Entre as três propriedades apontadas por Carasek *et al.* (2001), a resistência de aderência a tração é foco de diversas pesquisas. A ABNT NBR 14081:2012 – Parte 4: Determinação da resistência de aderência, determina os métodos necessários para a execução do ensaio. Porém poucos são os estudos voltados para a resistência de aderência ao cisalhamento.

Entretanto as tensões de cisalhamento são atuantes em maior parte nas interfaces do sistema de revestimento devido as expansões e retrações diferenciais dos materiais utilizados. Campante (2001) afirma que diferentes módulos de elasticidades dos materiais aplicados na fachada, provocam diferentes tensões na argamassa colante. O processo cíclico de retração e expansão dos materiais quando se tem uma redução brusca da temperatura e da diferença de massas destes materiais, é um dos mecanismos que mais influenciam na degradação da aderência e influenciam no destacamento das placas cerâmicas da fachada. Diante das manifestações patológicas que se apresentam nos revestimentos de fachadas causados pela exposição do sistema a diversas situações climáticas, esta pesquisa visa analisar e contribuir com os estudos voltados para a resistência de cisalhamento da argamassa colante.

Entre as normas que preconizam os ensaios para determinar a resistência de aderência da argamassa colante ao cisalhamento pode-se citar RILEM MR-14 e MR-20, ASTM C482. Como já abordado por Sagave (2001), as normas citadas anteriormente apresentam ensaios que possuem certa dificuldade de ser executado e sem viabilidade de ser realizado no próprio canteiro de obra. Ressalta-se também que, no Brasil ainda não há ensaios normatizados para a resistência de aderência ao cisalhamento para argamassas colantes. Desta forma, esta pesquisa teve como objetivo desenvolver um método prático para ensaio de resistência de aderência ao cisalhamento das argamassas colantes assim como analisar a necessidade de sua normatização.

A NBR 13755 – Revestimentos cerâmicos de fachada e paredes externas com utilização de argamassa colante – Projeto, execução, inspeção, e aceitação – Procedimento (ABNT, 2017), descreve que existe a exceção para utilização de argamassa tipo ACII em edifícios com até 15m de altura entretanto deve ser indicado em projeto. Apesar da indicação na NBR 13755, observa-se que revestimento assentados com argamassa do tipo ACIII, a qual possui maiores teores de polímeros e éteres de celulose, conferindo maior elasticidade e aderência, não tem suportado as deformações sofridas

pela exposição aos ciclos climáticos. Assim, pretende analisar e comparar a resistência de aderência ao cisalhamento das argamassas colantes tipo ACII e tipo ACIII.

1.3 Objetivo geral

O objetivo desta dissertação é analisar a resistência de aderência ao cisalhamento do sistema de revestimento. Para isso, tem-se os seguintes objetivos específicos:

- Propor a adaptação de um método de ensaio para a resistência de aderência ao cisalhamento das argamassas colantes.
- Analisar e comparar a influência da argamassa tipo ACII e do tipo ACIII no desempenho do sistema de revestimento quanto a resistência de aderência ao cisalhamento utilizando revestimento do tipo cerâmico;

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A revisão da literatura para esta pesquisa foi focada na argamassa colante, como se dão as tensões de cisalhamento no sistema de revestimento de fachada e o apontamento dos métodos de ensaio existentes e aqueles desenvolvidos por pesquisas anteriores.

2.1 Sistema de revestimento

Os registros das primeiras utilizações de revestimentos cerâmicos foram datados 2700A.C. utilizadas no Egito para decorar os túmulos dos faraós. Porém somente em 2700A.C. é que se obteve registros da utilização de cerâmica em revestimentos de muros. Na Alemanha, há uma réplica do portão de Ishtar construído na Babilônia em 575A.C. com a escultura do dragão de Marduk, no qual foram utilizados com tijolos cerâmicos revestidos com esmalte azul. No século 13, era estabelecido que os muros de construções importantes deveriam ser revestidos com azulejos. A influência da arquitetura islâmica se estendeu até a Espanha e Itália no século 16, onde revestimentos cerâmicos era utilizados para revestir as construções públicas. (GOLDBERG, 1998)

Pode-se chamar de sistema de revestimento o conjunto de camadas que dão efeito estético e protegem a estrutura do edifício de ataques químicos e umidade. O sistema de revestimento que consiste em base ou substrato, chapisco, emboço, argamassa colante, peça cerâmica e as juntas de dilatação. Já Chew (1999), divide as camadas de revestimento em três principais partes: base ou substrato, argamassa colante e revestimento cerâmico.

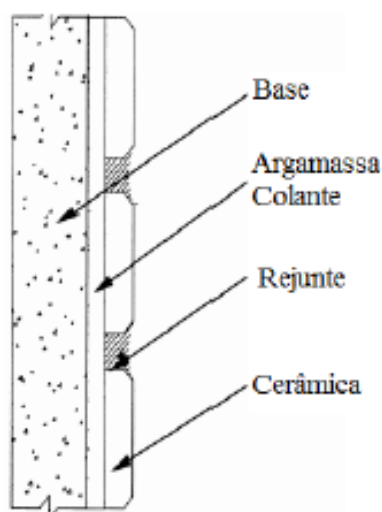
Figura 1- O Dragão de Marduk



Fonte: GOLDBERG (1998)

O substrato é a camada suporte a receber o revestimento cerâmico sendo ele o conjunto, no método convencional, da alvenaria, do chapisco e do emboço. A alvenaria pode variar entre blocos cerâmicos, blocos sílico calcários, blocos de concreto convencional, bloco de concreto autoclavado, tijolos maciços, paredes de concreto que podem apresentar diferentes características que influenciam diretamente na durabilidade do sistema. O chapisco é a etapa de acabamento áspero e irregular com o objetivo de aumentar a rugosidade da superfície, aumentando assim a aderência mecânica da camada posterior. O emboço é uma camada de argamassa que varia entre 2 a 5cm com a finalidade de ser uma camada de regularização e aderência para receber a peça cerâmica e também de proteção para a estrutura.

Figura 2- Camadas do sistema de revestimento



Fonte: Adaptado de Chew (1999)

Fiorito (2009) e Chew (1992) afirmam que as camadas do sistema estão intimamente ligadas podendo haver maior ou menor grau de ligação entre elas dependendo do cuidado da mão de obra na execução e dos materiais. Assim sendo, uma deformação imposta a qualquer camada resultará em tensões em todo sistema.

2.1.1 Argamassa colante

De acordo com a ABNT NBR 14081-1:2012 a argamassa colante é definida como produto industrial, no estado seco, composto de cimento Portland, agregados minerais e aditivos químicos, que, quando misturado com a água, forma uma massa viscosa, plástica e aderente, empregada no assentamento de placas cerâmicas para revestimento.

A norma brasileira ainda divide as classes de argamassa em I, II e III quanto a suas solicitações no estado endurecido e seu local de aplicação. Elas são divididas em:

- argamassa colante industrializada tipo I – AC I: argamassa colante industrializada com características de resistência as solicitações mecânicas e termo-higrométricas típicas de revestimentos internos, com exceção daqueles aplicados em saunas churrasqueiras, estufas e outros revestimentos especiais.

- argamassa colante industrializada tipo II – AC II: argamassa colante industrializada com características de adesividade que permitem absorver os esforços existentes em revestimentos de piso e paredes internos e externos sujeitos a ciclos de variação termo-higrométrica e a ação do vento.

- argamassa colante industrializada tipo III – AC III: argamassa colante industrializada que apresenta aderência superior em relação as argamassas dos tipos I e II.

- argamassa colante industrializada com tempo em aberto estendido (E): argamassa colante industrializada dos tipos I, II, III, com tempo em aberto estendido.

- argamassa colante industrializada com deslizamento reduzido (D): argamassa colante industrializada dos tipos I, II, III, com deslizamento reduzido.

Deve-se ressaltar que, segundo NBR 13755 – Revestimentos cerâmicos de fachada e paredes externas com utilização de argamassa colante – Projeto, execução, inspeção, e aceitação – Procedimento (ABNT, 2017), em paredes externas e fachadas a argamassa colante deve ser no mínimo do tipo III. Exceções são aceitas apenas em edifícios com até 15m de altura total, sendo permitido a utilização apenas de argamassas tipo ACII com indicação em projeto.

As argamassas também podem ser diferenciadas quanto ao teor de polímeros e éteres de celulose. A argamassa do tipo ACIII possui maior teor destes componentes o que confere a ela aderência superior em relação as outras argamassas. Silva (2018) relata que a principal dos éteres de celulose é reter água na argamassa colante. Esta retenção de água é extremamente importante considerando que os cordões de argamassa possuem aproximadamente 8mm e podem perder água por evaporação rapidamente. O componente celulósico atua mantendo esta água na argamassa mantendo-a fresca e permitindo o correto rompimentos destes cordões e o total preenchimento do tardo da peça cerâmica com a argamassa, garantindo melhor aderência ao sistema. Os polímeros possuem a função de promover a aderência da argamassa e quando combinado com o material celulósico, oferecer melhor trabalhabilidade a mistura

2.1.1.1 Sistema de aderência da argamassa colante

A NBR 13528 define aderência como sendo “a propriedade do revestimento de resistir tensões atuantes na interface do substrato”. O mecanismo de aderências das argamassas pode ser dividido entre químicos e mecânicos.

Carasek *et al.* (2001) afirmam que a aderência da argamassa endurecida ao substrato é um fenômeno essencialmente mecânico e que tal afirmação é um consenso entre diversos autores. O sistema mecânico de aderência se dá pela penetração de parte da água de amassamento nos poros e cavidades do substrato carregando componentes dos

aglomerantes. Em seu interior, ocorre o fenômeno da precipitação dos produtos de hidratação do cimento que com a cura, estabelece a ancoragem entre a argamassa e o substrato. Esta ancoragem é dada principalmente pela formação e intertravamento da etringita (trissulfoaluminato de cálcio hidratado) nos poros do substrato.

A aderência química advém das forças covalentes ou força de van Der Waals entre a alvenaria e a pasta de cimento hidratada e a aderência mecânica no interior do substrato. O sistema de aderência químico pode ser melhorado utilizando aditivos adesivos principalmente em substratos pouco porosos. (CARVALHO JÚNIOR, 2006)

2.1.1.2 *Parâmetros de resistência de aderência da argamassa*

Não há no Brasil, normatização quanto a resistência de aderência ao cisalhamento das argamassa colantes porém pode-se tomar como referência normas internacionais amplamente utilizadas. Na Tabela 1 pode-se identificar as resistências de aderência a tração especificada na ABNT NBR 14081. Para as argamassas indicadas para uso em fachada, ACIII, é determinada a resistência mínima a tração de 1,0 Mpa independentemente do tipo de cura.

Tabela 1- Parâmetros de resistência de aderência da argamassa

Característica		Tipo de Argamassa		
		ACI	ACII	ACIII
Resistência de aderência à tração aos 28 dias	Cura normal	≥ 0,5 MPa	≥ 0,5 MPa	≥ 1,0 MPa
	Cura submersa	≥ 0,5 MPa	≥ 0,5 MPa	≥ 1,0 MPa
	Cura em estufa	≥ 0,5 MPa	≥ 0,5 MPa	≥ 1,0 MPa

Fonte: Adaptado da NBR 14081 (ABNT, 2012)

A norma americana ANSI 118 (TCNA, 2017) determina os parâmetros de resistência da argamassa colante tanto à tração quanto ao cisalhamento. Como demonstrado na Tabela 2, tal norma também especifica o tipo de cerâmica e cura a ser utilizada.

Tabela 2 – Parâmetros de resistência da argamassa colante

Propriedade	Requisitos	
Argamassas colantes comuns		
Tempo em aberto	20 min	Resistência à tração $\geq 0,5$ MPa (28 dias)
Cerâmicas esmaltada (parede) – Resistência ao cisalhamento	7 dias	$> 1,38$ MPa
	7 dias - imerso em água	$> 1,03$ MPa
Porcelanatos – Resistência de cisalhamento	1 dia	$> 0,34$ MPa
	7 dias	$> 1,03$ MPa
	7 dias – imerso em água	$> 0,69$ MPa
	28 dias	$> 1,03$ MPa
	12 semanas	$> 1,03$ MPa
Argamassas colantes modificadas		
Tempo em aberto	20 min	Resistência à tração $\geq 0,5$ MPa (28 dias)
Cerâmicas esmaltada (parede) – Resistência ao cisalhamento	7 dias	$> 2,07$ MPa
	7 dias - imerso em água	$> 1,38$ MPa
Porcelanatos – Resistência de cisalhamento	1 dia	$> 0,5$ MPa
	7 dias	$> 1,38$ MPa
	7 dias – imerso em água	$> 1,03$ MPa
	28 dias	$> 1,38$ MPa
	28 dias submetido a ciclos de congelamento	$> 1,21$ MPa
	12 semanas	$> 1,38$ MPa
Cerâmicas sem esmalte – Resistência ao cisalhamento	28 dias	$> 1,03$ MPa
	28 dias submetido a ciclos de congelamento	$> 0,69$ MPa
Argamassas colantes modificadas de secagem rápida (as propriedades aqui não listadas se mantêm)		
Porcelanatos – Resistência de cisalhamento	4 horas	$> 0,34$ MPa

Fonte: Adaptado de ANSI 118 (TCNA, 2018)

A norma europeia, EN 12.004 (EUROPEAN STANDARDS, 2017) – ou ISO 13.007 estabelece os requisitos mínimos de desempenho da argamassa colante. Nelas as argamassa são divididas de duas formas: considerando os requisitos de resistência a tração e ao cisalhamento. Quanto a resistência à tração as argamassa são divididas em tipo C1 e C2. Como demonstrado na Tabela 3, é estabelecido a resistência mínima a tração de $0,5$ N/mm² (MPa) para as argamassa de tipo C1 e a resistência mínima de 1 N/mm² (MPa)

para as de tipo C2. Os testes de aderência à tração para as classificações C1 e C2 são realizados para quatro condições de ensaio diferentes.

Tabela 3 - Propriedade das argamassas colantes comuns segundo a normatização europeia

Tipo de argamassa		C1	C2
Especificação Técnica		Requisitos mínimos	
Resistência de aderência à tração	28 dias em condições normais	≥ 0,5 MPa	≥ 1,0 MPa
	Envelhecimento acelerado a +70°C por 14 dias	≥ 0,5 MPa	≥ 1,0 MPa
	Imersão em água por 21 dias	≥ 0,5 MPa	≥ 1,0 MPa
	Após 25 ciclos de congelamento/ descongelamento	≥ 0,5 MPa	≥ 1,0 MPa

Fonte: Adaptado de EN 12.004 (EUROPEAN STANDARDS, 2017)

Para a resistência de aderência ao cisalhamento as argamassas são classificadas como D1 e D2 quando estas são avaliadas em relação à resistência ao cisalhamento. Segundo esta norma todas as argamassas com polímeros redispersíveis devem atingir aos requisitos da Classe D1, a qual determina a resistência mínima de 1 N/mm² (MPa) de resistência ao cisalhamento após armazenamento a seco e temperatura elevada. Para a classificação D2 é requisitado uma resistência ao cisalhamento mínima de 0,5 N/mm² (MPa) após imersão em água e resistência ao cisalhamento ≥ 1 N/mm² (MPa) após submetido a temperaturas elevadas.

Tabela 4 - Propriedade das argamassas colantes com polímeros redispersíveis segundo a normatização europeia

Tipo de argamassa		Argamassa colante com polímeros redispersíveis	
		D1: Normal	D2: Melhorada
Especificação Técnica		Requisito mínimo	
Resistência ao cisalhamento inicial após 28 dias em condições normais*		≥ 1,0 MPa	≥ 1,0 MPa
Resistência a ao cisalhamento após:	Envelhecimento térmico a +70°C por 14 dias	≥ 1,0 MPa	≥ 1,0 MPa
	Imersão em água após 14 dias	-	≥ 0,5 MPa
	Teste de tensão sob alta temperatura	-	≥ 1,0 MPa
	Choques térmicos	-	-
Tempo em aberto para assentamento cerâmico		≥ 20 min	≥ 20 min

Fonte: Adaptado de EN 12.004 (EUROPEAN STANDARDS, 2017)

2.1.2 Desempenho do sistema de revestimento

O bom desempenho do sistema de revestimento não se restringi apenas a aderência da argamassa colante. A camada de revestimento externa também tem o objetivo de proteger a estrutura das intempéries, oferecer uma arquitetura diferenciada com conforto térmico e acústico para os moradores. Porém, tais objetivos não poderão ser atingidos se os materiais aplicados não forem suficientes para suportar as tensões neles impostos.

A falha de adesão é uma combinação e influência de vários fatores e dificilmente será ocasionado por apenas um mecanismo. Variações na mistura da argamassa, variações de temperatura, o uso inadequado ou de materiais de baixa qualidade, assentamento de forma equivocada pela mão-de-obra são alguns dos fatores que interferem diretamente na resistência de aderência do sistema. (GOLDBERG, 1998)

Figura 3 – Desplacamentos de cerâmica em Belo Horizonte



Zhao e Zhang (1997) avaliaram a influência da mão de obra na resistência de aderência da argamassa utilizando três métodos. Foram utilizados diferentes pressões sobre as cerâmicas assentadas simulando a força dispendida pelo assentador no momento de nivelamento e rompimentos dos cordões da argamassa. Foi retirado parte da argamassa no centro da peça cerâmica, simulando a falha na extensão da argamassa no tardo da peça cerâmica. Também expuseram a argamassa a diferentes tempos em aberto simulando o cotidiano de obra onde, inicialmente, é estendido panos grandes e depois colocado a peça cerâmica. Os autores concluíram que ao diminuir a pressão sobre a peça cerâmica assentada, a resistência de aderência a tração sofre uma redução. Também concluíram

que a redução da extensão da argamassa no tardo da peça cerâmica é proporcional a redução da aderência e que ao se aumentar o tempo em aberto da argamassa a aderência também é reduzida de forma significativa.

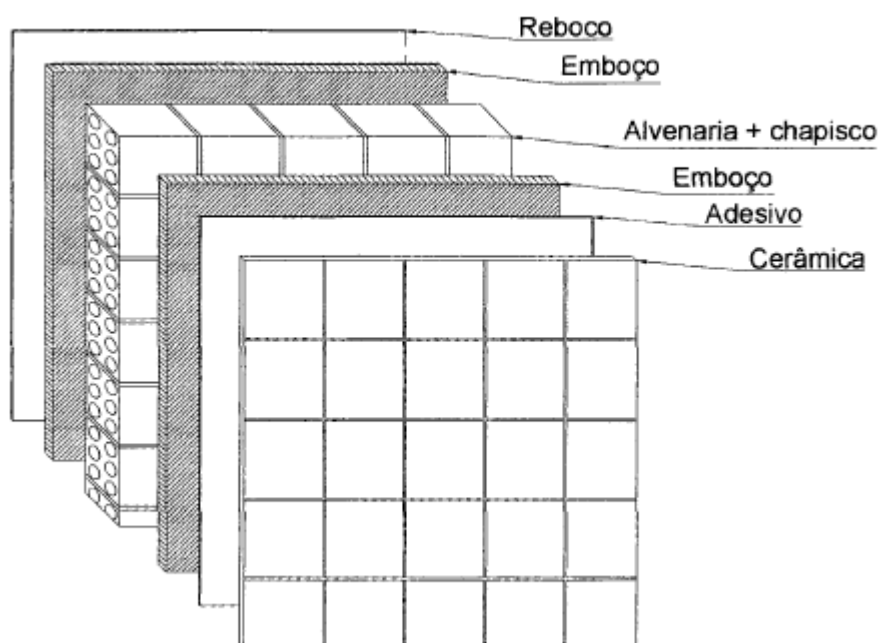
Segundo Carasek, Cascudo e Scartezini (2001), esta perda de aderência dos revestimentos de argamassa causam diversos prejuízos econômicos importantes e podem impactar na vida útil de patrimônios importantes. Entre os problemas gerados pelos deslocamentos de cerâmica de fachada, são aqueles que afetam diretamente o morador que representam a maior parte das preocupações como permissão de infiltração de água, geração de mofos.

Garbacz *et al.* (2006) afirmam que a rugosidade da superfície é essencial para a aderência da argamassa. Os autores complementam que a quantidade de placas cerâmicas e o tamanho das fissuras dependem do tratamento dado a superfície e que a resistência a tração da argamassa aumenta consideravelmente quando há uma alta rugosidade na base.

2.2 Tensões no sistema de revestimento

As fachadas de revestimentos cerâmicos são submetidas a diferentes esforços que podem causar tensões de compressão, tração ou cisalhamento em seus materiais componentes. Fiorito (2009) afirma que por estarem intimamente ligadas, as tensões atuantes em uma das camadas dos revestimentos atuam em todo sistema. Conforme ilustrado na Figura 4, os revestimentos externos são compostos por camadas de espessuras e materiais diferentes. Como observado por Sagave (2001), os materiais do sistema poderão sofrer maior ou menor influência das causas climáticas, dependendo da posição em que se encontram. Como por exemplo, a camada mais externa, em um período de baixas temperaturas, tende a retrair mais rápido do que as camadas mais internas pois recebe diretamente em sua superfície esse resfriamento e serve de proteção para as demais camadas, que terão uma retração mais lenta.

Figura 4- Camadas do sistema de revestimento



Fonte: Sagave (2001)

Entre as deformações destacadas pelo autor pode-se citar retração da argamassa, deformação lenta do concreto, deformação da argamassa no estado endurecido devido a variação da umidade relativa do ar, recalque das fundações, variação da temperatura e dilatação higroscópica dos materiais cerâmicos.

Mansur (2007) fez um levantamento do descolamento de placas cerâmicas de fachada e observou que 84% destas manifestações patológicas se dão na ruptura adesiva na interface da placa cerâmica/argamassa colante. Silvestre e Brito (2010) em uma inspeção criteriosa das patologias em sistemas de revestimento de fachada identificaram que há uma maior frequência do destacamento do revestimento cerâmico principalmente devido pelas condições climáticas a ele imposto. Os efeitos da expansão térmica e dilatação higroscópica são exatamente tensões de cisalhamento na interface cerâmica/argamassa. (ABREU *et al.*, 2004)

2.2.1 Variações térmicas

O sol é a fonte de aquecimento mais incisiva no revestimento de fachada. O efeito da temperatura nestes materiais depende do alcance da temperatura, a constância de tempo em que ela se mantém em cada grau e a quantidade e duração do tempo de

aquecimento. (GUAN *et al.*, 1997). Segundo Uchôa *et al.* (2016) o aquecimento da fachada pela incidência do sol e o resfriamento durante a noite causa deformações sequenciais no revestimento de fachada.

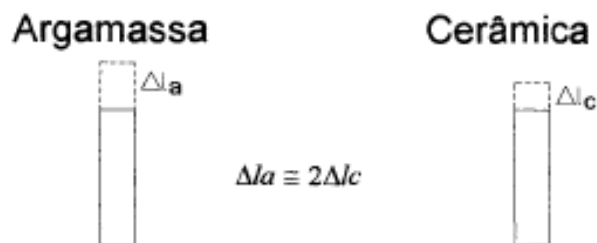
Estudo realizado por Mahaboonpachai, Kuromiya e Matsumoto (2007) observaram que as expansões diferenciais dos materiais do sistema de revestimento é um dos principais fatores que deterioram a fachada de um edifício. O autores identificaram a propagação de trincas nas interfaces dos materiais quando a temperatura atingiu 100°C. Conseqüentemente, isto implica que as fissuras internas iniciaram anteriormente o aparecimento da trinca entre os materiais. Os autores presumiram que em torno de 70°C a 80°C as primeiras fissuras já surgem nestas interfaces apresentando que as tensões existentes nestas interfaces são superiores às resistências ao cisalhamento dos materiais.

O resfriamento mecânico do ambiente interno por ar condicionado ou ventilação natural mantém a temperatura interna diferente da temperatura externa, o que implica também em deformações diferenciais dos materiais. Sob a ação constante de aquecimento e do sistema, os materiais são submetidos a dilatações e retrações que podem causar fissuras.

Guan *et al.* (1997) afirma que estas variações térmicas podem se agravadas quando as temperaturas mudam rapidamente. Tal mudança brusca pode causar um choque térmico que enquanto a superfície submetida ao resfriamento retrai rapidamente, as camadas internas sofrem uma retração mais lenta ocasionando em tensões de cisalhamento nas interfaces. Tais mudanças podem acontecer de duas formas: locais onde há um período muito frio á noite seguidos de uma forte incidência solar ou de dias de forte aquecimento dos materiais seguidos de um rápido resfriamento devido à chuva.

Os revestimentos cerâmicos possuem coeficiente de dilatação térmica linear da ordem de 0,000005 a 0,000006/°C enquanto as argamassas colantes possuem dilatação térmica da ordem de 0,00001/°C (FIORITO, 2009). Ou seja, as argamassas possuem coeficientes duas vezes maiores aos dos materiais cerâmicos conforme demonstrado na Figura 3. Esta diferença entre os coeficientes dos materiais de um mesmo sistema de revestimento, podem causar variações de volume diferenciais principalmente em locais onde há mudanças repentinas de temperatura.

Figura 5- Variação volumétrica da argamassa x cerâmica



Fonte: Sagave (2001)

Durante o aquecimento do material, há um aumento de volume do mesmo. Conforme identificado na Figura 5, a argamassa terá uma maior dilatação quando comparado com o material cerâmico. Considerando a interação destes materiais seja pela aderência química ou mecânica, são impostas restrições a essa dilatação que geram tensões de cisalhamento.

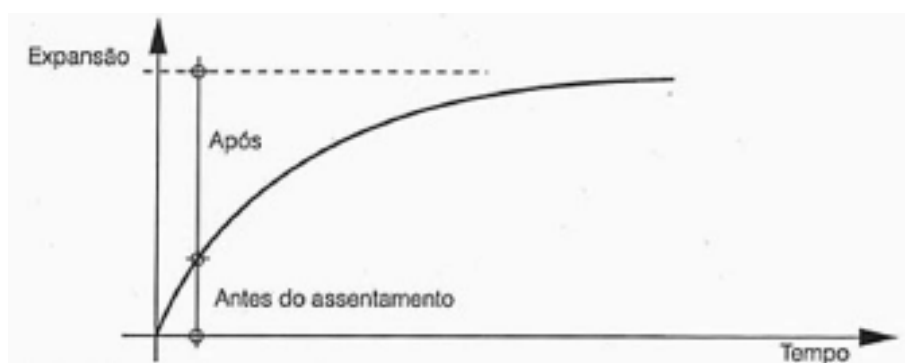
Pode-se também ressaltar que materiais de diferentes cores poderão sofrer dilatações térmicas diferentes. Peças com cores mais escuras, não refletem a luz solar, por isso tendem a reter mais calor do que peças mais claras.

2.2.2 Dilatação higroscópica

Também nomeada como Expansão por Umidade (EPU), a dilatação higroscópica se dá principalmente no materiais argilosos e é identificado pelo aumento ou diminuição da dimensão desde a saída do forno até seu destino final de aplicação. Após o assentamento da peça cerâmica, aproximadamente 10% desta expansão já ocorreu e o restante será após o revestimento já assentado. (FIORITO, 2009)

O aumento da peça cerâmica gera tensões de cisalhamento na interface com argamassa pois a mesma tende a impedir a sua expansão. O problema pode ser agravado quando os revestimentos são instalados com ausência de junta (junta seca).

Figura 6- Gráfico representativo da EPU x tempo (sem escala)



Fonte: Fiorito (2009)

As variações volumétricas referentes a absorção de água também dependem do grau de absorção das cerâmicas. Conforme demonstrado na Tabela 5 Tabela 1, as cerâmicas são classificadas quanto a sua capacidade de absorção. Cerâmicas com uma alta porcentagem de absorção de água implicam em uma maior variação volumétrica no material.

Tabela 5- Classe de absorção das cerâmicas

Classificação das cerâmica por grupo de absorção		
Absorção de água (%)	Produto	Grupo de Absorção
$Abs \leq 0,5$	Porcelanato	B Ia - Quase Nula
$0,5 < Abs \leq 3,0$	Grês	B Ib - Baixa
$3,0 < Abs \leq 6,0$	Semi-grês	B IIa - Média
$6,0 < Abs \leq 10,0$	Semi-poroso	B IIb - Média Alta
$Abs > 10,0$	Poroso	B III - Alta

Fonte: Adaptado da NBR 13.817 (1997)

Valentini e Kazmierczak (2016) avaliaram a aderência de diferentes placas cerâmicas como revestimentos de fachada. Nos ensaios realizados puderam observar que, tanto para argamassas do tipo ACII e ACIII e com diferentes condições de cura, as cerâmicas de BIIa tiveram aderência superior aos das placas BIIb, as quais também foram superiores às do tipo BIII. Os resultados encontrados demonstraram que há uma relação direta entre a absorção de água das placas cerâmicas, indicando que há perda de aderência da argamassa com o excesso de absorção de água.

2.2.3 Retração hidráulica da argamassa

Na execução da alvenaria, do chapisco, do emboço é feito o uso de argamassa de cimento e areia e em muitos casos com a adição de cal. Após o início da aplicação do material, há uma diminuição do volume da argamassa devido as reações de hidratação do cimento e a evaporação da água. Após a secagem ainda é possível notar variações dimensionais durante 04 meses na argamassa. Esta diminuição de volume é denominada retração hidráulica. (FIORITO, 2009)

Fiorito (2009), afirma que a colagem de revestimentos cerâmicos, tanto para pisos quanto para alvenarias, é necessários aguardar tempo necessário para que argamassa utilizada como substrato atinja um alto grau de retração para diminuir as tensões cisalhantes entre os materiais. O mesmo autor em seus estudos a respeito da retração nas argamassa, conclui que:

- aos 07 dias, ocorreu 35% a 45% da retração total da argamassa;
- aos 28 dias, ocorreu 50% a 60% da retração da argamassa;
- aos 120 dias em ar ambiente, a retração passa a ser de 80% a 95% do total.

Os resultados encontrados por Fiorito (2009) permitem afirmar que na maioria das obras os revestimentos são instalados antes de se obter a retração quase total da argamassa. Isto implica em um série de tensões impostas tanto no revestimento quanto na argamassa colante.

A argamassa colante também está sujeita a retrações porém como sua espessura é muito inferior em relação as demais camadas do sistema, conseqüentemente os valores de retração também serão menores. Porém deve-se ter o cuidado na espessura da camada da argamassa colante pois valores superiores a 5mm, além de um consumo maior de argamassa, também confere em maiores retrações.

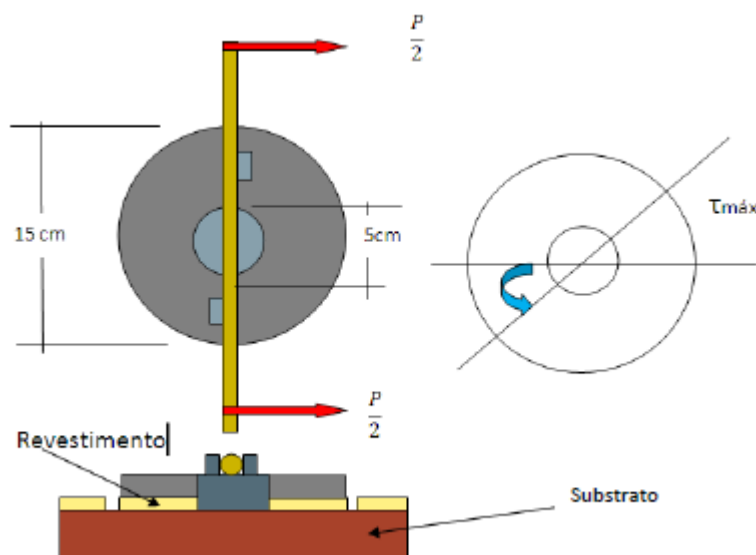
2.3 Ensaio de resistência de aderência ao cisalhamento

2.3.1 RILEM MR-20 – Determinação da resistência de aderência dos revestimentos pelo método de cisalhamento por torção

Esta norma é determinada pela RILEM – Réunion Internationale des Laboratoires d'Essais et de Recherches sur les Matériaux e les Constructions, para a determinação da resistência de aderência ao cisalhamento por torção. A norma determina a execução de

corpos de provas com seção circular vazada com diâmetros externos e internos conforme demonstrado na Figura 7. Na face do corpo de prova é colada uma placa metálica, similar ao ensaio de resistência de aderência por tração, criando o suporte necessário para aplicação da carga.

Figura 7 – Sistema de ensaio por torção



O revestimento é submetido há um esforço de torção por meio de um torque aplicado por torquímetro, torcionando o revestimento. A tensão de cisalhamento será determinada pela fórmula:

$$\tau = \frac{1/2Px2a}{A \times r} \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

Sendo,

P = carga aplicada (N)

a = comprimento do braço de alavanca (mm)

A = área do anel (mm²)

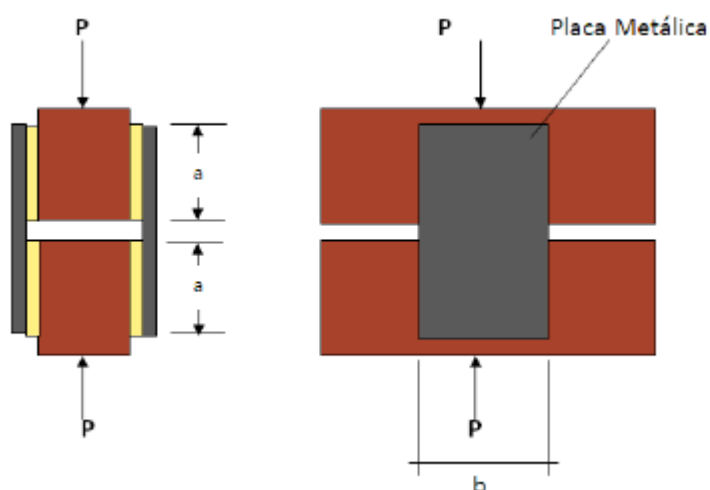
r = raio do anel (mm)

Como já observado por Sagave (2001), este é um ensaio de difícil execução devido ao tamanho da peça a ser utilizada. Outra dificuldade também apontada pelo autor se dá na metodologia de aplicação da carga. Como é apresentado na figura, se a carga aplicada for diferente de P/2 em uma das hastes, teremos esforços cortantes gerando o arraste do corpo de prova, gerando resultados equivocados.

2.3.2 RILEM MR-14 – Determinação da resistência de aderência dos revestimentos pelo método de cisalhamento

Esta norma determina que seja utilizada duas placas metálicas na face externa do dispositivo mas que podem ser substituídas pelas placas cerâmicas. As cargas são aplicadas igualmente no substrato fazendo com que o corpo de prova seja rompido por cisalhamento. As cargas devem ser aplicadas centradas no substrato.

Figura 8 – Método de ensaio preconizado pela MR-14



Fonte: Sagave (2001)

A tensão de cisalhamento será calculada por:

$$S = \frac{F}{2b}$$

$$\tau = \frac{S}{2a}$$

Sendo:

S= carga linear aplicada em cada face do substrato

F= carga aplicada no ensaio

b = aresta inferior da peça cerâmica em mm;

a = aresta lateral da peça cerâmica em mm;

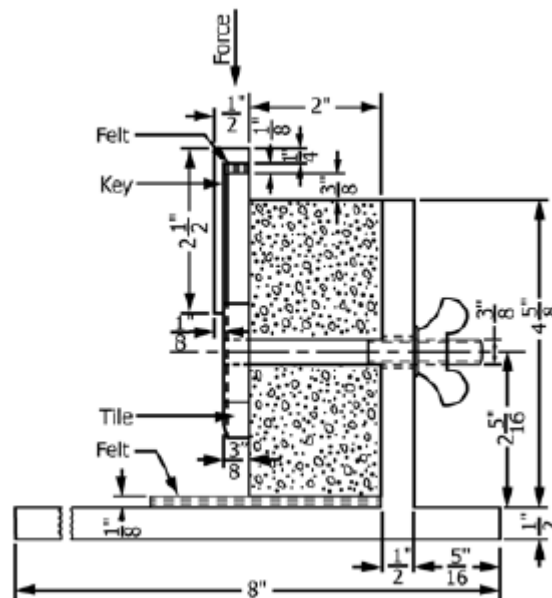
τ = resistência ao cisalhamento em N/mm²

Porém como também observado por Sagave (2001), a dificuldade do ensaio está no alinhamento da peça cerâmica com o substrato. O tardo do revestimento deve estar com os quatro lados paralelos ao do substrato pois do contrário, será obtido falsos resultados.

2.3.3 ASTM C482 – Método de ensaio para a determinação da tensão de aderência de argamassas de cimento Portland para revestimentos cerâmicos

A norma americana preconiza a execução de um corpo de prova formado por uma substrato com a peça cerâmica colada. O substrato é demonstrado na Figura 9 como deve ser realizada a aplicação da carga e o dispositivo a ser executado para a fixação do susbrato.

Figura 9 – Método preconizado pela ASTM C482 (2014)



Fonte: ASTM C482 (2014)

Este método é de difícil execução pois a carga deve ser centralizada no eixo da peça cerâmica (SAGAVE, 2001). Na prática dificilmente é obtida tal precisão pois as peças utilizadas para ensaio possuem entre 5mm a 20mm o que dificulta a exata posição no eixo da peça. Erros no posicionamento da aplicação da carga geram esforços de momento que alteram o resultado esperado

2.3.4 Método desenvolvido por Sagave (2001)

Em estudo realizado por Sagave (2001) foi proposto desenvolver um aparelho para ensaios de resistência de aderência ao cisalhamento, validá-lo e comparar os resultados com os ensaios de resistência á tração.

Figura 10 – Método desenvolvido por Sagave



Fonte: Sagave (2001)

Foi executado um dispositivo metálico demonstrado na Figura 10 bem similar ao preconizado pela ASTM C482. Porém para a realização dos ensaios foi utilizado o aderímetro, mesmo dispositivo utilizado para ensaios de resistência a tração. O aderímetro é posicionado encima do dispositivo metálico onde é fixado o corpo de prova e assim é realizado o arrancamento da peça cerâmica no sentido paralelo (de baixo para cima) ao substrato como indicado na Figura 11.

Figura 11 – Exemplificação do sentido de arrancamento



Fonte: Sagave (2001)

Os corpos de prova foram confeccionados com argamassa ACII. Nos ensaios realizados, após a confecção e cura dos corpos de prova, os mesmo foram submetidos a

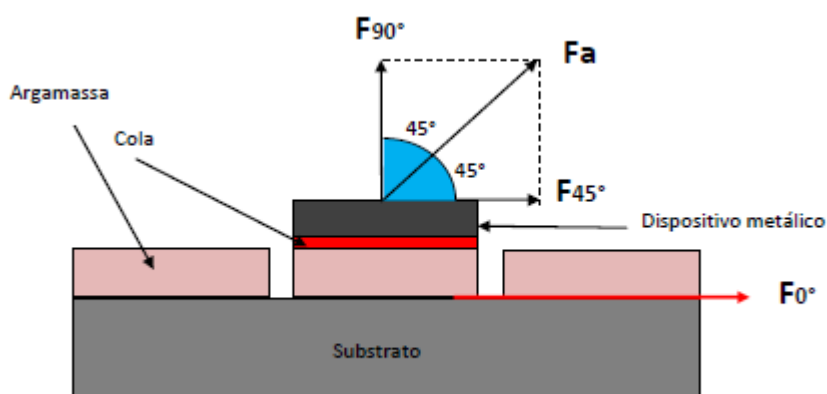
câmara de intemperismo para “envelhecimento” dos corpos de prova em 15, 30 e 45 dias. Após o envelhecimento e os ensaios de arrancamento tanto por cisalhamento quanto à tração, foi constatado que com o aumento do tempo que os corpos de prova se mantiveram em câmara climática, as resistências de aderência aumentaram e também concluído que o método se apresentou válido e satisfatório.

Apesar de se obter bons resultados, a montagem do sistema se mostra bastante complexa. O suporte de fixação do substrato deve ser rígido o suficiente para não se movimentar durante a realização dos arrancamentos causando desníveis no equipamento que podem interferir nos resultados obtidos.

2.3.5 Método desenvolvido por Santana (2010)

Santana (2010) propôs um método para analisar a resistência de aderência ao cisalhamento para revestimentos argamassados. Assim, o autor adaptou o aderímetro para fazer o arrancamentos a 45° que desta forma, que calculando as componentes, pôde-se obter resultados tanto para tração quanto para a resistência de aderência ao cisalhamento.

Figura 12- Método desenvolvido por Santana (2010)



Fonte: Santana (2010)

O ensaio foi realizado em argamassa de emboço porém o sistema pode ser adaptado para ensaios de revestimentos cerâmicos. O sistema proposto foi validado e obteve resultados satisfatórios. Entretanto, com a ruptura do corpo de prova é possível calcular os esforços dispendidos em F_{0° e F_{90° porém não é possível afirmar se o rompimento foi causado pela carga na vertical, na carga horizontal ou a porcentagem de carga necessária em cada eixo para o arrancamento.

Figura 13 – Corpo de prova para ensaio de arrancamento a 45°



Fonte: Santana (2010)

Figura 14 – Dispositivo de arrancamento a 45°



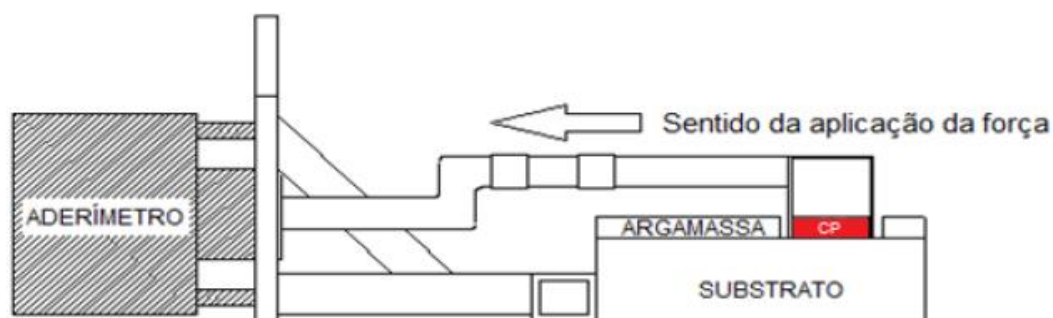
Fonte: Santana (2010)

2.3.6 Método desenvolvido por Stolz *et al.* (2016)

Stolz *et al.* (2016) também propuseram um ensaio para resistência de aderência ao cisalhamento. O método consiste na execução de um aparelho acoplado no aderímetro onde o mesmo trabalha de forma horizontal. O ensaio foi realizado para analisar a resistência de aderência ao cisalhamento de revestimento argamassados porém o mesmo pode ser adaptado para revestimentos cerâmicos. Devido ao peso do dispositivo a ser acoplado, os ensaios devem ser feitos apenas na horizontal.

Para os ensaios em revestimentos argamassados, o dispositivo se mostrou válido e satisfatório. Para a adaptação para ensaios em revestimentos cerâmicos, deve-se tomar cuidado na altura dos dispositivo a ser construído pois havendo um desnível entre o dispositivo a ser utilizado e o revestimento cerâmico, no momento do arrancamento podem ser gerados esforços de momento, os quais são indesejáveis para a análise de resistência de aderência ao cisalhamento.

Figura 15 – Projeto do dispositivo desenvolvido por Stolz *et al.* (2016)



Fonte: Stolz *et al.* (2016)

Figura 16 - Dispositivo desenvolvido por Stolz (2016)

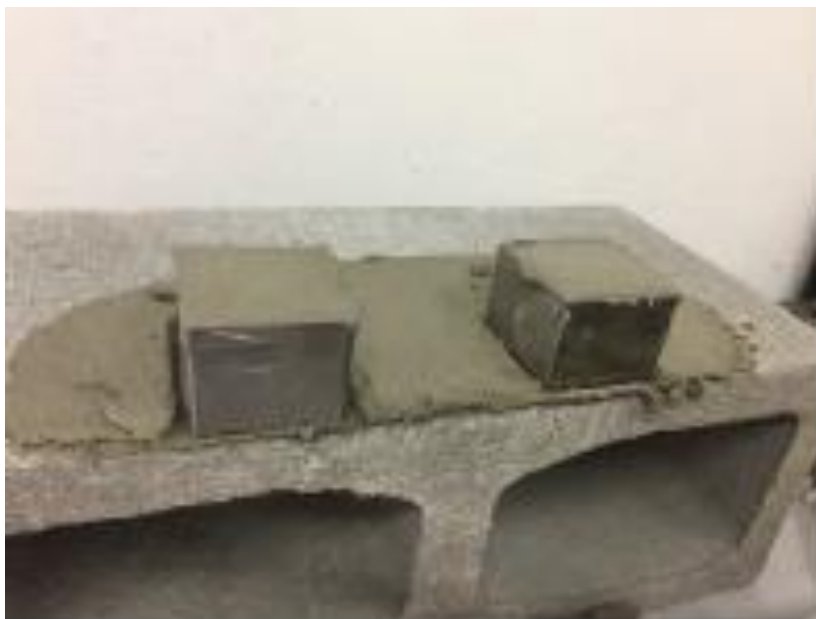


Fonte: Stolz *et al.* (2016)

2.3.7 Método desenvolvido por Alves (2018)

Alves (2018) em sua dissertação de mestrado, analisa a argamassa de assentamento em blocos de concreto. Para a análise da resistência de aderência ao cisalhamento da argamassa, foi proposto um método de ensaio simples e prático. O corpo de prova é executado com o substrato e a massa de emboço é aplicada com um molde, no caso, uma camisa metálica disposta de uma haste lateral. Adaptando a posição do aderímetro e o acoplado na haste da camisa metálica que envolve o corpo a ser ensaiado, é possível averiguar a resistência de aderência ao cisalhamento da argamassa. A autora conclui que o dispositivo apresentou resultados satisfatórios e enfatiza a importância do estudo da resistência de aderência ao cisalhamento.

Figura 17 – Corpo de prova produzido por Alves (2018)



Fonte: Alves (2018)

Figura 18 – Método de arrancamento desenvolvido por Alves (2018)



Fonte: Alves (2018)

O método proposto por Alves (2018) se assemelha ao método proposto por Sagave (2001) porém de maior praticidade e facilidade no manuseio. O método pode ser adaptado para determinação da resistência de aderência ao cisalhamento da argamassa colante, considerando uma menor espessura da camisa metálica capaz de envolver o conjunto placa cerâmica/argamassa colante.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

A presente pesquisa se consistirá em desenvolver um método para análise da resistência de aderência ao cisalhamento, bem como analisar a influência dos fatores climáticos na resistência de aderência da argamassa colante.

3.1 Materiais

3.1.1 Argamassa colante

Para a execução dos corpos de prova foram utilizadas argamassas do tipo AC II e ACIII, de um mesmo fabricante largamente utilizado no mercado de Belo Horizonte/MG. Os corpos de prova não foram moldados simulando uma fachada conforme orientado pela NBR 13755 – Revestimentos cerâmicos de fachada e paredes externas com utilização de argamassa colante – Projeto, execução, inspeção, e aceitação – Procedimento.

3.1.2 Revestimentos

Os revestimentos a serem utilizados serão os comumente utilizados em projetos de fachada como por exemplo peças cerâmicas. Os tipos de peças a serem utilizadas e suas características são apresentadas na Tabela 6.

Tabela 6 - Características da peça cerâmica

Caraterísticas da peça cerâmica	
Altura	100 mm
Largura	100 mm
Espessura	6,8 (± 10) mm
Cor	Branca
Absorção d'água	3 a 6%
Classificação (NBR 13.818)	BIIa
Módulo de resistência a flexão	22 MPa
Expansão por umidade	$\leq 0,6$ mm/m

3.2 Métodos

3.2.1 Dispositivo de ensaio para cisalhamento

O dispositivo para ensaio ao cisalhamento foi adaptado pelo método proposto por Alves (2018) para ser utilizado em revestimentos cerâmicos. Como explicado anteriormente Alves (2018) realizou o arrancamento por cisalhamento a fim de obter a resistência de aderência por cisalhamento na argamassa de revestimento. A adaptação do método para esta pesquisa consiste em realizar o arrancamento da peça cerâmica no sentido paralelo ao plano de aderência com o objetivo de identificar a resistência de aderência ao cisalhamento da argamassa colante. Para isso, será utilizado o aderímetro disponibilizado pela UFMG conforme Figura 19. O aderímetro possui medidor mecânico e apoios ajustáveis.

Figura 19 - Aderímetro utilizado para o ensaio



Inicialmente, para a execução do ensaio foram projetadas e elaboradas camisas metálicas dispostas de uma haste para acoplamento do aderímetro. As camisas metálicas foram executadas com chapas metálicas cortadas com alturas que permitam o ensaio de peças cerâmicas de revestimento cerâmico, ou seja, 10mm. As camisas metálicas foram fabricadas com 102x102mm de cada lado, de modo a permitir o encaixe em peças de 100x100mm. Também foram produzidos corpos de prova em bloco de concreto sem emboço para validação do dispositivo. O aderímetro utilizado possui encaixe para barras roscada, por isso, o encaixe soldado na camisa metálica é apropriado para acoplamento do próprio aderímetro na peça fabricada. A camisa metálica é apresentada na Figura 20.

As camisas metálicas são colocadas em volta da peça cerâmica a ser ensaiada com a haste direcionada para cima, de forma a permitir o acoplamento do aderímetro para procedimento do arrancamento.

Figura 20 - Placa metálica adaptada elaborada para ensaio



Figura 21- Disposição da peça metálica no corpo de prova



Como demonstrado na Figura 21, o aderímetro é apoiado em cima do próprio corpo de prova e de um bloco auxiliar para acoplamento na placa metálica. Desta forma, quando o aderímetro é acionado, o arrancamento se dá de baixo para cima, fazendo com que a interface peça cerâmica/argamassa colante seja rompida por cisalhamento. Após a preparação do dispositivo no bloco, o mesmo é nivelado pelos apoios ajustáveis sendo conferidos através de nível de mão.

Figura 22- Disposição do aderímetro para realização do ensaio



3.2.2 Montagem do substrato

Para execução dos corpos de prova, não foi levado em consideração simular um sistema de revestimento de fachada com as camadas bloco/chapisco/emboço/argamassa colante/peça cerâmica pois procura-se analisar primeiramente o desempenho do dispositivo de ensaio de cisalhamento elaborado.

3.2.2.1 *Preparação do corpo de prova*

Na montagem dos corpos de prova, no processo de assentamento da peça cerâmica no bloco de concreto e cerâmico, foram observadas as indicações sugeridas pelo fabricante. Conforme manual do fabricante, é recomendado 26,5% com uma variação de $\pm 5\%$, de água por saco de argamassa de 20kg, ou seja, deverá ser adicionado de 4,3L até 6,3L para preparo da argamassa. A mistura deverá ser realizada até obter uma consistência pastosa e sem material seco. A peça cerâmica foi assentada diretamente sobre o bloco conforme apresentado na Figura 23. O interior do bloco vazado foi preenchido de concreto para viabilizar o apoio do aderímetro.

Para os ensaios, foram executados 05 blocos de concreto com 04 peças cerâmicas em cada bloco assentadas com argamassa ACII e ACIII e também 04 blocos cerâmicos com 04 peças cerâmicas também assentadas com ACII e ACIII. No total, serão 20 placas cerâmicas assentadas com argamassa ACII em bloco de concreto e 20 placas assentadas com argamassa ACIII. Mais 16 placas cerâmicas assentadas com argamassa ACII em bloco cerâmico e 16 placas assentadas com argamassa ACIII.

Figura 23 - Corpo de prova executado



Figura 24 – Corpos de prova moldados



3.2.3 Caracterização da argamassa colante

3.2.3.1 Consistência da argamassa colante

Inicialmente a argamassa colante foi preparada e misturada seguindo os parâmetros da NBR 16541. A preparação da argamassa foi realizada seguindo os seguintes passos:

- pesar 1,0 kg de argamassa colante;
- medir a quantidade de água necessária a ser adicionada conforme indicação do fabricante;
- colocar a argamassa colante ainda no estado seco na cuba do misturador;
- misturar a argamassa colante na velocidade baixa durante 30 segundos sendo que nos 10 segundos iniciais deve ser adicionada 75% da água indicada pelo fabricante;
- aumentar a velocidade do misturador para alta e misturar por mais 60s;
- interromper o misturador por 90 segundos e realizar a limpeza da pá do misturador;
- acionar novamente o misturador em velocidade baixa e adicionar o restante de 25% de água em 10s e misturar durante 60 segundos;
- interromper novamente a mistura e deixar a argamassa em repouso durante 15mi coberta por um pano úmido;
- acionar novamente o misturador e misturar na velocidade baixa por 15 segundos, finalizando assim a mistura.

A caracterização da argamassa quanto a sua consistência foi realizada seguindo a norma ABNT NBR 13276:2016. Logo após a mistura da argamassa e respeitando seu tempo de maturação, a mesma foi introduzida em um tronco de cone sobre a *flow table test*. O molde tronco cônico é posicionado de forma centralizada na mesa o qual é preenchido com a argamassa em três camadas sucessivas e com altura iguais, aplicando em cada uma delas 15, 10 e 5 golpes respectivamente. Posteriormente é feito o rasamento da argamassa com uma régua metálica, retirado o molde verticalmente e aciona-se a manivela da mesa permitindo que a mesa suba e caia 30 vezes em 30 segundos. Ao final dos impactos aplicados na argamassa, é realizada a medida de 03 diâmetros em diferentes pontos.

Figura 25- (a) Misturador utilizado na execução da argamassa e (b) Flow table

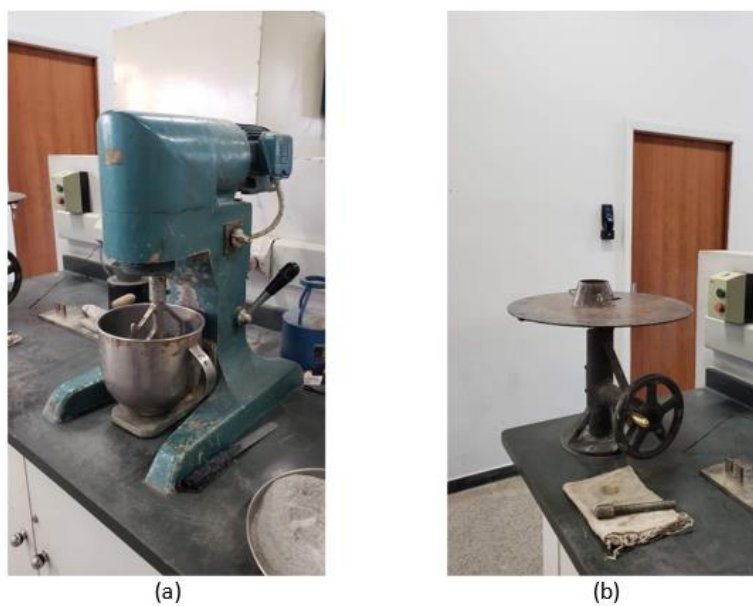
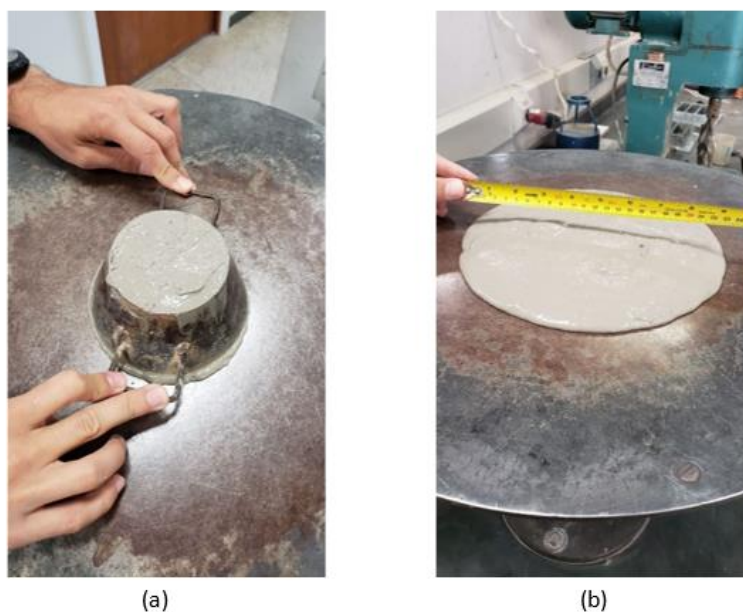


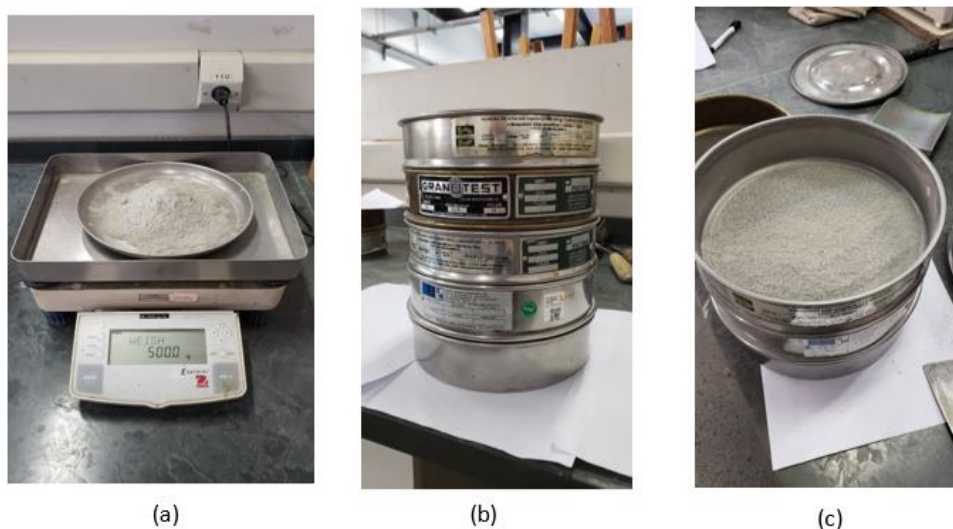
Figura 26 - (a) Preenchimento do tronco cônico e (b) medição do espalhamento da argamassa



3.2.3.2 Granulometria

Os ensaios de granulometria foram realizados no Laboratório de Concreto e Argamassa da Escola de Engenharia na UFMG. O peneiramento foi realizado conforme NBR NM 248 (ABNT, 2003) que indica a realização do ensaio até a peneira de nº 200. A argamassa colante possui apenas agregados miúdos, sendo assim, iniciou-se o peneiramento a partir da peneira nº16 e assim procedendo com nº20, nº30, nº50, nº100, nº140 e nº200.

Figura 27 – Preparação dos materiais para ensaio de peneiramento



Inicialmente, foi pesado 500g de argamassa para peneiramento em balança com resolução de 0,1% e em seguida peneirado manualmente utilizando peneiras normais e intermediárias com tampa e fundo. As peneiras foram orientadas segundo as aberturas de 1,18mm, 850 μ m, 590 μ m, 300 μ m, 150 μ m, 105 μ m, 74 μ m. A limpeza das peneiras foi realizada com escovas de cerdas metálicas.

Após o peneiramento, o material retido em cada fundo é separado e pesado individualmente para se obter o percentual passante e retido de cada peneira. Com os quantitativos, é traçado a curva granulométrica da argamassa.

3.2.4 Caracterização do substrato quanto a absorção de água

Sugerido por PROCEQ (2001) citado por Flores-Colen (2009), para definição da absorção de água do substrato foi utilizado o tubo de Karsten (cachimbo). Neste método, o tubo é colocado na superfície do material a ser ensaiado e suas bordas vedadas. O tubo é preenchido com água e é realizado as medidas do nível da água no tubo com 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 60, 75, 90 e 120 minutos. O método deve ser empregado em três pontos diferentes do substrato.

O coeficiente de absorção pode ser calculado através da fórmula abaixo:

$$C_{\text{absorção}} = \frac{X \times 10^{-3}}{d^2 \times \left(\frac{\pi}{4} \times 10^{-6} \times \sqrt{t}\right)}$$

Sendo:

$C_{\text{absorção}}$ - coeficiente de absorção de água da camada superficial (kg/m².min^{0,5});

X - água absorvida em ml;

d - diâmetro da superfície em que é feita a penetração de água em mm

t - duração da leitura em horas.

4 RESULTADOS

4.1 Ensaio de resistência de aderência ao cisalhamento

4.1.1 Primeiro teste realizado

Inicialmente, as camisas metálicas foram produzidas conforme a Figura 29. No intuito da validação do dispositivo para ensaio de resistência ao cisalhamento, as peças cerâmicas foram assentadas diretamente sobre o bloco cerâmico e bloco de concreto sem as camadas de chapisco/reboco.

Figura 28 - Planta da camisa metálica inicial

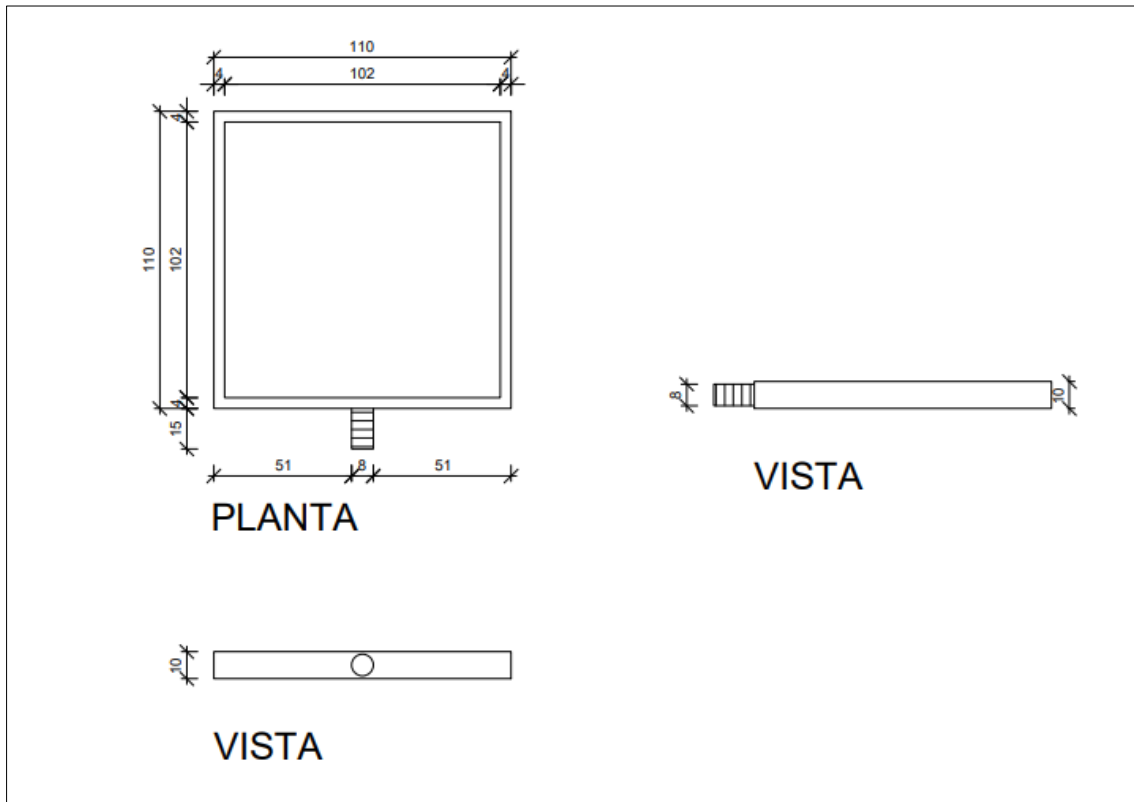
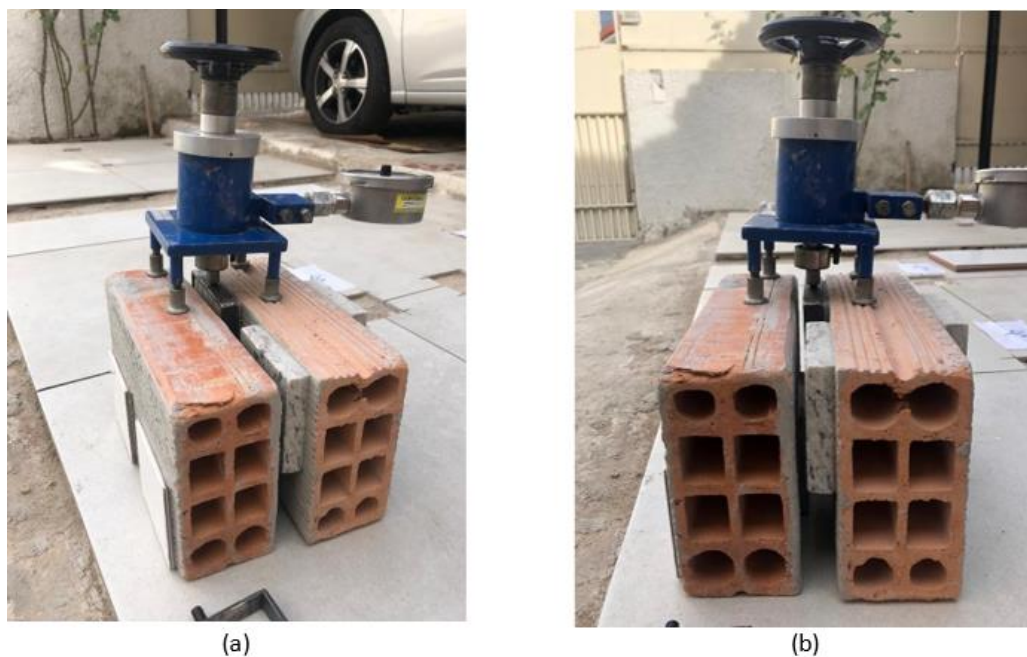


Figura 29 - Camisas metálicas e corpos de prova produzidos



Figura 30 - 1º ensaio realizado



Porém foi verificado que na execução do esforço de arrancamento pelo aderímetro a camisa metálica deslizava parcialmente na peça cerâmica conforme apresentada na Figura 31. Tal deslize acontecia pois o bloco onde a peça cerâmica foi aplicada suspensia na aplicação da carga. Isto impede a análise de resistência de aderência por cisalhamento já que são geradas cargas momentos indesejadas.

Figura 31 - Deslize da camisa metálica no ensaio de arrancamento





4.1.2 Segundo teste realizado

Desta forma procedeu-se fixando o bloco no chão de forma que não houvesse esta movimentação conforme Figura 32. O bloco foi assentado com argamassa ACIII.

Figura 32 - Corpos de prova assentados no piso com ACIII



Com os blocos fixados no piso, procedeu-se novamente com os ensaios de arrancamento podendo observar que as dificuldades encontradas no ensaio realizado anteriormente foram corrigidas. Entretanto, foi possível verificar que:

- o bloco cerâmico rompeu antes do arrancamento da peça cerâmica e peça conforme Figura 33;
- as camisas metálicas produzidas deformavam com o esforço aplicado conforme Figura 33.

A camisa metálica iniciou a deformação após o esforço de aproximadamente 0,15 MPa e antes da mesma romper totalmente, o substrato de bloco cerâmico sem emboço rompeu com o esforço de aproximadamente 0,2 MPa conforme identificado na Figura 30.

Figura 33- (a) rompimento do bloco cerâmico antes do arrancamento da peça de granito e (b) deformação da camisa metálica



(a)



(b)

4.1.3 Terceiro teste realizado

Para a correção do rompimento das camisas metálicas, foi proposto soldar duas chapas paralelas ligando os lados das camisas fazendo com que na aplicação da carga, o lado onde é acoplado o aderímetro caso tenda a deformar, seja reforçado pela outra lateral conforme Figura 35.

Figura 34 - Planta da camisa metálica com o reforço

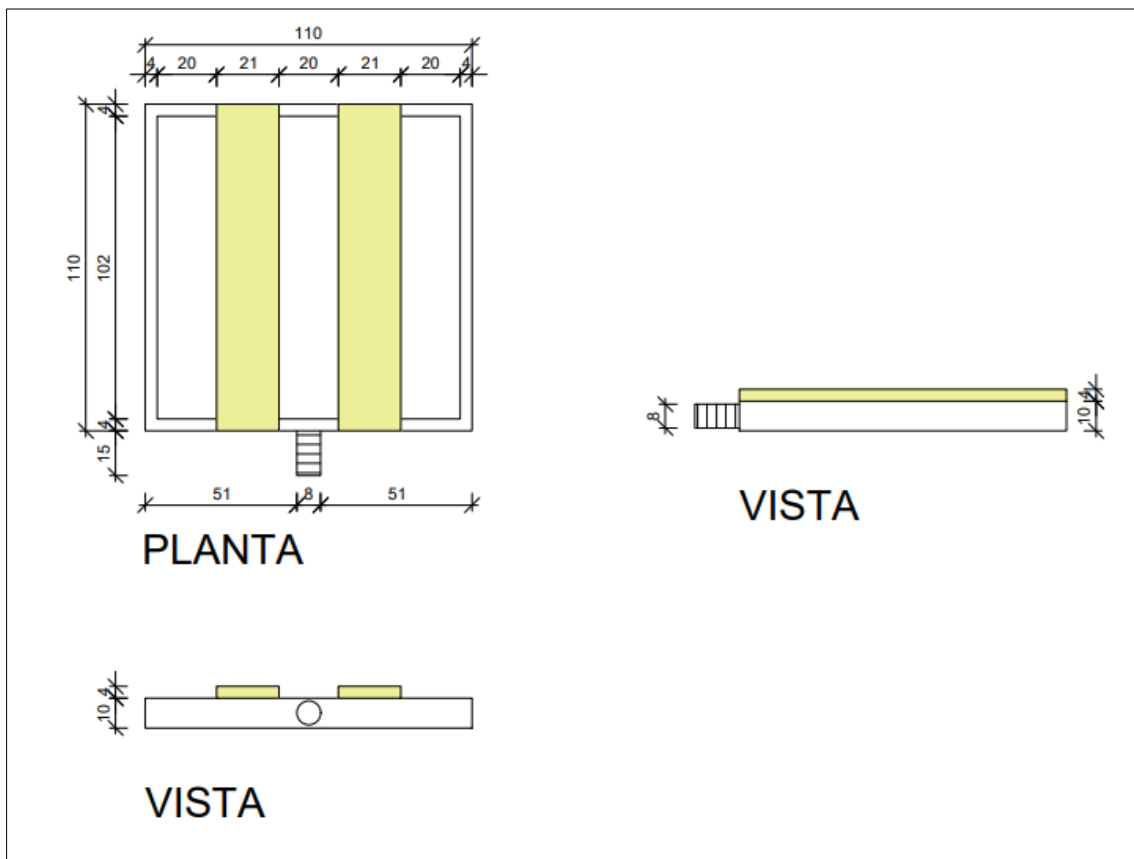


Figura 35 - Camisa metálica reforçada com duas chapas



Realizando os ensaios novamente com as camisas metálicas agora reforçadas, inicialmente foi obtido resultados satisfatórios no desempenho do arrancamento, porém com a aplicação de cargas contínuas, a camisa metálica novamente começou a deformar

no mesmo local. Foi possível verificar que o reforço executado na camisa aumentou a resistência da peça, porém não foi o suficiente. As camisas metálicas iniciaram o rompimento com 0,3MPa e a ruptura da mesma com 0,4MPa. Pôde-se verificar que a deformação anteriormente observada se manteve, porém em menor escala e a área de solda na barra roscada para acoplamento do aderímetro não resistiu à carga aplicada

Alguns blocos assentados no piso com ACIII, descolaram com cargas aproximadas de 0,4MPa, não sendo possível concluir o ensaio.

Figura 36 - Deformação da camisa metálica com reforço de chapas



Figura 37 - Camisa metálica com a ruptura barra roscada



4.1.4 Quarto teste realizado

Diante dos problemas anteriores verificados na camisa metálica decidiu-se reforçar a placa metálica das seguintes formas:

- aumentar a espessura da placa;
- aumentar a área de solda da barra roscada para acoplamento do aderímetro;
- aumentar as áreas de aplicação da carga pelo aderímetro e de reação da cerâmica ante ao contato com a camisa metálica fabricada.

Com a nova camisa metálica fabricada foi possível realizar os ensaios e não foram identificados problemas durante a execução.

Figura 38 - Planta da camisa metálica final

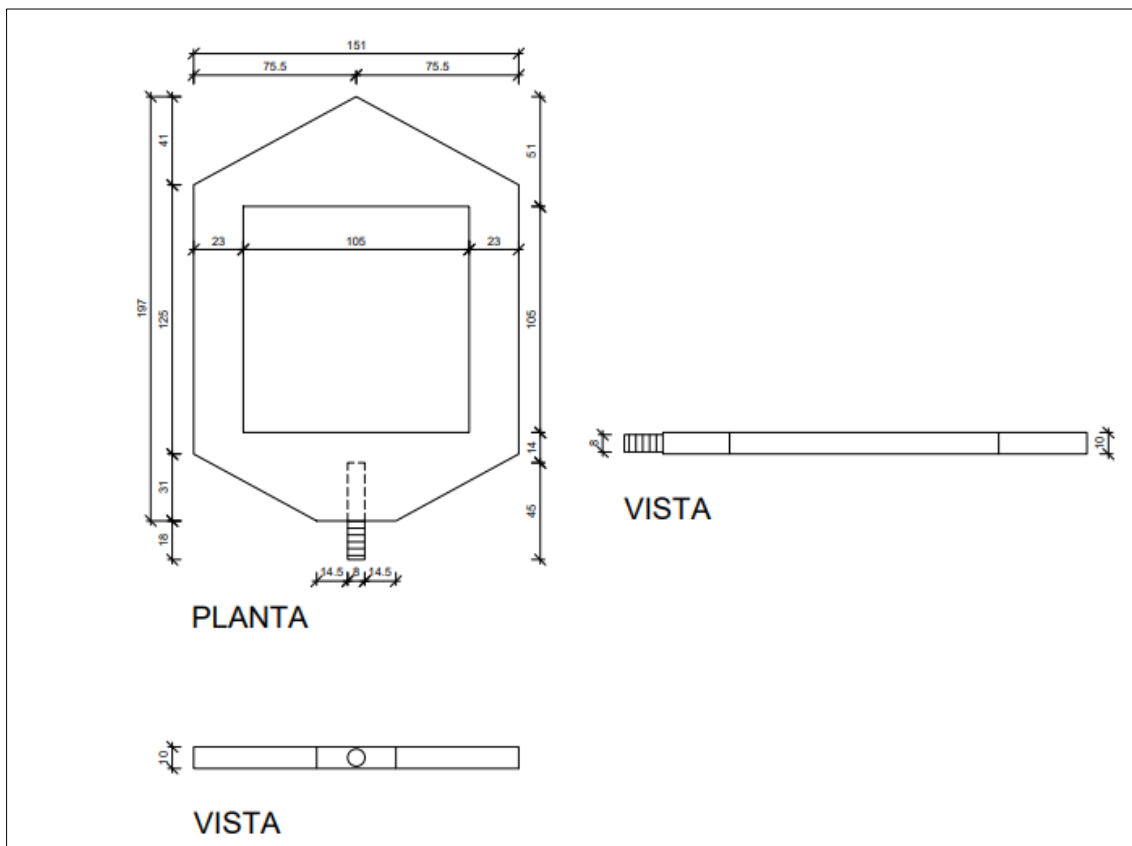


Figura 39 - Camisa metálica reforçada



Figura 40 - Camisa metálica disposta no corpo de prova



Diante do problema de descolamento dos blocos de concreto elaborados, procedeu-se com a fixação através de adesivo epóxi.

4.1.5 Análise do método utilizado

Para apoio do aderímetro utilizado foi necessário, como já dito anteriormente, concretar os blocos pois o equipamento necessita de 04 pontos de apoio. Apesar do método se apresentar de forma satisfatória, a forma de apoio não se apresenta simples e prática. No método desenvolvido por Alves (2018), foi utilizado aderímetro com apoio estruturado, permitindo uma melhor distribuição de carga de reação e possivelmente um melhor nivelamento diante dos corpos de prova. A necessidade do bloco de apoio ao lado do bloco a ser ensaiado para servir como base de apoio do aderímetro dificulta o ajuste da camisa metálica.

Figura 41 - Detalhe do apoio utilizado por Alves (2018)



O método apresentado por Sagave (2001), onde o aderímetro é apoiado acima do gabarito é uma possível solução, porém encontra-se a dificuldade de ter uma haste maior para acoplamento do aderímetro, o que foi solucionado pelo mesmo autor com uma cordoalha de aço.

A fixação dos blocos no piso foi também uma dificuldade encontrada durante o desenvolvimento da pesquisa. A aderência da peça cerâmica/argamassa colante/substrato foi em maior parte superior a aderência substrato/argamassa colante/piso. No método desenvolvido por Sagave (2001), o gabarito para apoio do aderímetro mantém o bloco imóvel assim como no método exposto por Santana (2010). Entende-se, porém, que o descolamento dos blocos do piso nos ensaios iniciais deve-se a alta resistência da argamassa colante assentada diretamente sobre o substrato.

A primeira camisa metálica produzida inicialmente não foi suficiente para resistir a carga aplicada pelo aderímetro que rompeu com 0,2 MPa. Já a segunda camisa metálica elaborada com o reforço de chapas aumentou consideravelmente resistindo a 0,4 MPa com uma leve deformação como demonstrado anteriormente. Já a última camisa metálica elaborada se apresentou muito satisfatória não apresentando deformações até cargas acima de 1,0 MPa.

No rompimento dos blocos durante os ensaios, pôde-se observar uma tipicidade nas trincas. As mesmas surgiram na parte inferior da cerâmica ensaiada em todo o bloco

ou também na parte inferior da cerâmica, porém a partir do vértice da cerâmica e formando ângulos aproximados de 45°.

Figura 42 – Trincas que surgiram na ruptura do bloco



Figura 43 – Trincas que surgiram na ruptura do bloco com ângulos aproximados de 45°



Enfim, diante das 24 amostras ensaiadas, apenas em duas as peças cerâmicas quebraram ou lascaram por motivos de desalinhamento. Pode-se afirmar assim que o método apresentou resultado satisfatório em relação a assertividade.

4.2 Características da argamassa colante e substrato

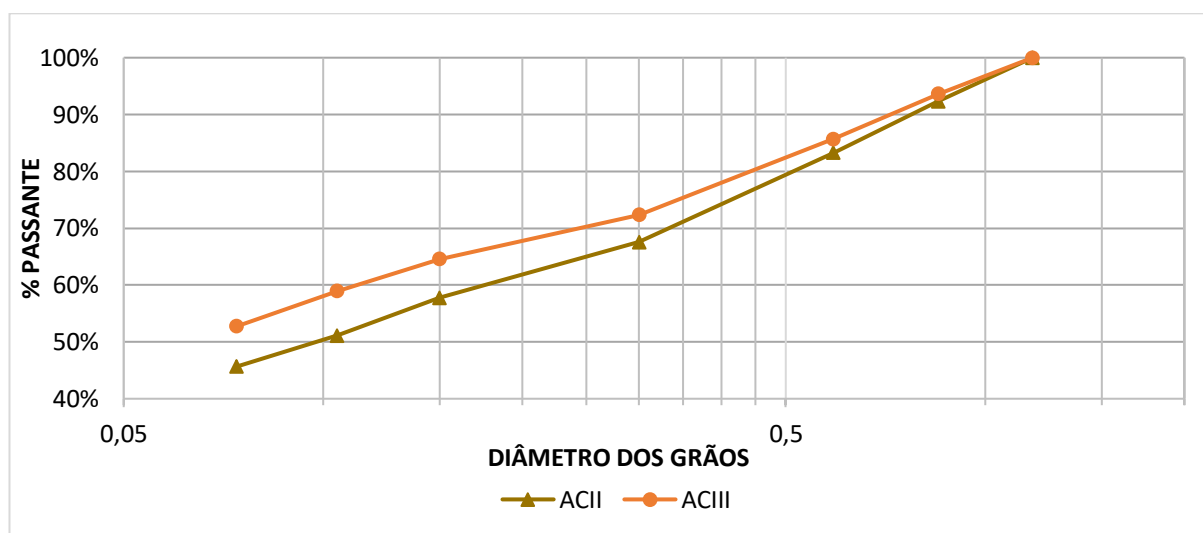
4.2.1 Granulometria

No ensaio de granulometria por peneiramento executado neste estudo foi analisado os percentuais retidos em cada peneira utilizada. Para a análise das argamassas foram utilizadas as peneiras de nº16, nº20, nº30, nº50, nº100, nº140 e nº200. Como

esperado, na peneira de nº16 houve 100% de material seco passante por se tratar de argamassa que possui apenas agregados miúdos. Como observado no Gráfico 1, nas argamassas do tipo ACIII houve maior quantidade de material retido no fundo do que a argamassa do tipo ACII. Isto confere a ACIII maior quantidade de finos e consequentemente maior plasticidade e consumo de água.

A curva granulométrica apresentada no Gráfico 1, demonstra que as argamassas possuem uma curva contínua sem patamares. Assim, pode-se afirmar que haverá um bom empacotamento das partículas conferindo a mistura final menor quantidade de vazios.

Gráfico 1 - Curva granulométrica



4.2.2 Índice de consistência

Nos ensaios realizados na flow table foi obtido os resultados descritos na Tabela 8. Foi observado que o índice de consistência da ACIII, 204mm, ficou abaixo dos valores usuais exposto por Carvalho Júnior (2017). O autor indica que para argamassa industrializadas para assentamento de cerâmicas e azulejos é recomendável o índice de consistência entre 330 e 350mm.

Tabela 7- Resultados obtidos na flow table test

Amostra	Massa (g)	Volume Água (ml)	Relação água/material seco	Diâmetro 01 (mm)	Diâmetro 02 (mm)	Diâmetro 03 (mm)	Índice de consistência (mm)
ACII	1000,1	260	0,2600	290	300	300	297
ACIII	1000,0	260	0,2600	205	200	205	204

Já no estudo realizado por Oliveira (2004) foi analisado diversas características das argamassas variando polímero hidroxietil celulose – HEC e copolímero acetato de vinila/etileno – EVA, componentes das argamassas colantes. A partir dos resultados obtidos, foi verificado que conforme aumenta o teor de HEC da argamassa, menor é o espalhamento da mistura. Este efeito pode ser justificado pela ação do polímero que torna a mistura mais coesa e pegajosa.

Como demonstrado na Tabela 7, foi verificado que a argamassa ACII teve maior índice de consistência do que a argamassa do tipo ACIII que pode ser explicado pela menor quantidade de polímeros e celulósico presentes na mistura.

Entende-se também que por possuir maior quantidade de finos a argamassa tipo ACIII deveria apresentar um maior índice de consistência. Entretanto, como a ACIII demanda maior quantidade água e esta foi fixada conforme especificação do fabricante da argamassa (260mL a cada 1000g de argamassa), o maior percentual de finos atua desfavoravelmente à plasticidade da mistura, diminuindo assim o índice de consistência.

4.2.3 Coeficiente de absorção do substrato

Os blocos de concreto apresentaram coeficientes de absorção bem superiores aos dos blocos cerâmicos. Nos blocos de concreto o coeficiente de absorção médio foi de 61,68% enquanto nos blocos cerâmicos foi de apenas 6,59%. Como observado no Gráfico 2, entre 45 segundos e 1min15seg de ensaio, toda a água foi absorvida pelo bloco de concreto enquanto a mesma quantidade de água demorou quase 01 hora para ser absorvida pelo bloco cerâmico, conforme representado no Gráfico 3. Por isso, espera-se que revestimentos assentados diretamente sobre o substrato de bloco de concreto, tenham maior resistência devido a maior absorção da pasta de cimento pelo bloco ocasionando uma maior ancoragem pela aderência mecânica.

Figura 44- Ensaio de coeficiente de absorção



Gráfico 2 - Gráfico de absorção de água x tempo do bloco de concreto

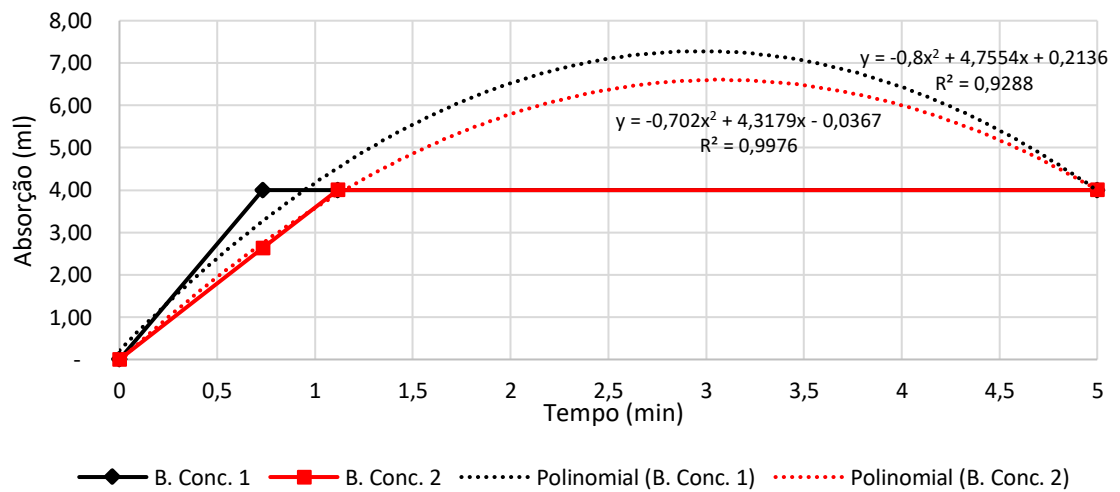
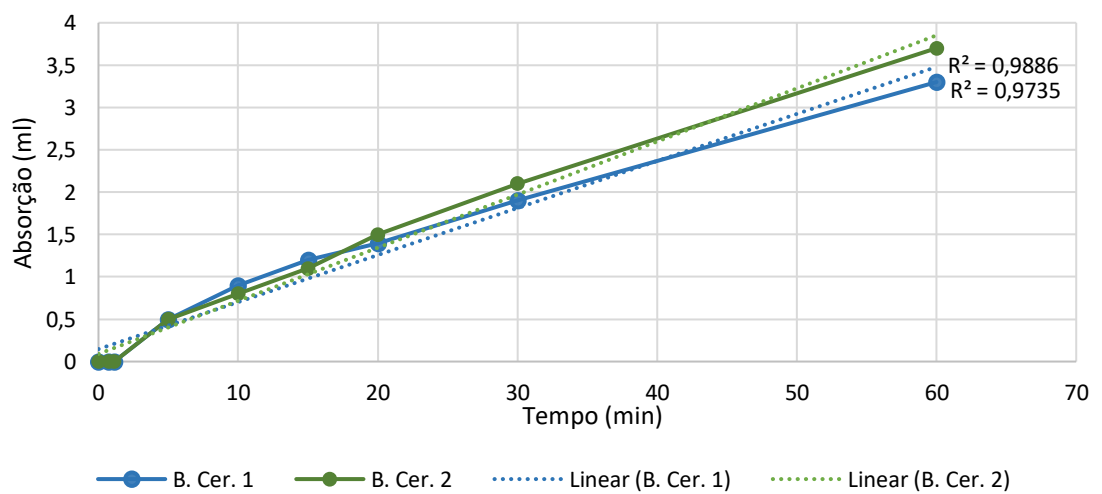


Gráfico 3 - Gráfico de absorção de água x tempo do bloco cerâmico



4.3 Análise da resistência de aderência ao cisalhamento da argamassa colante

A montagem dos corpos de prova para o ensaio de resistência de aderência ao cisalhamento, como já dito anteriormente, foi executada com 04 peças cerâmicas em cada substrato. Durante a realização dos ensaios, na aplicação da carga alguns substratos quebraram conforme Figura 45 (da mesma forma como observado e relatado no item 4.1.2) impedindo a coleta de resultados de um maior número de amostras. Como indicado na Tabela 8 e

Tabela 9, quando na execução do ensaio na 1ª cerâmica, o bloco quebrou, impediu-se então que as outras cerâmicas assentadas no mesmo bloco fossem ensaiadas.

Figura 45 - Detalhe do bloco quebrados durante o ensaio



Tabela 8 – Resultados dos ensaios de resistência de aderência ao cisalhamento da argamassa colante tipo ACII em bloco cerâmico

ACII em bloco cerâmico			
Bloco	CP	MPa	Observações
1º Bloco cerâmico	1º cerâmica	0,269847	Bloco quebrou
	2º cerâmica	-	Não foi possível realizar ensaio
	3º cerâmica	-	Não foi possível realizar ensaio
	4º cerâmica	-	Não foi possível realizar ensaio
2º Bloco cerâmico	1º cerâmica	0,604457	Bloco quebrou
	2º cerâmica	-	Não foi possível realizar ensaio
	3º cerâmica	-	Não foi possível realizar ensaio
	4º cerâmica	-	Não foi possível realizar ensaio
3º Bloco cerâmico	1º cerâmica	1,050604	Bloco quebrou
	2º cerâmica	-	Não foi possível realizar ensaio
	3º cerâmica	-	Não foi possível realizar ensaio
	4º cerâmica	-	Não foi possível realizar ensaio
4º Bloco cerâmico	1º cerâmica	0,395776	Bloco quebrou
	2º cerâmica	-	Não foi possível realizar ensaio
	3º cerâmica	-	Não foi possível realizar ensaio
	4º cerâmica	-	Não foi possível realizar ensaio

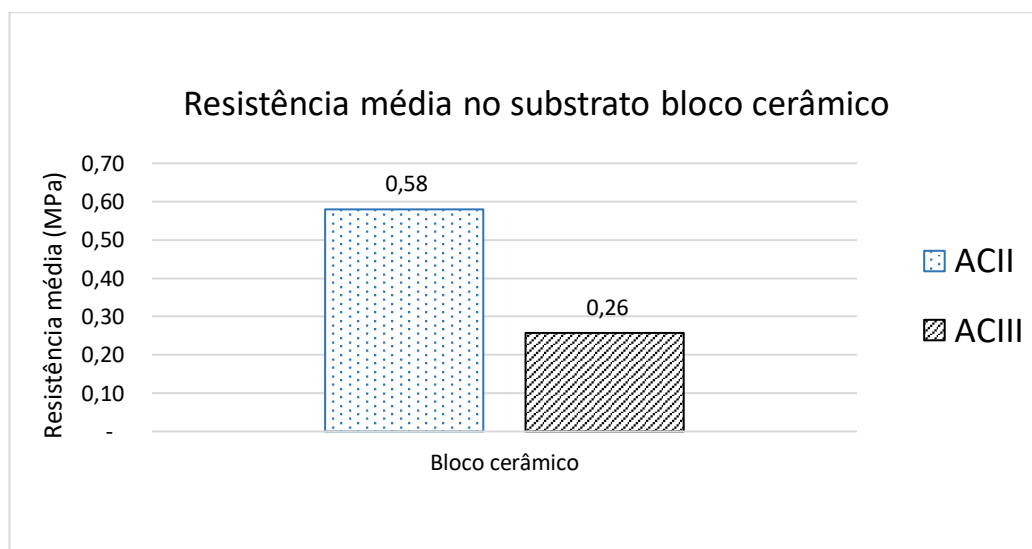
Tabela 9 - Resultados do ensaio de resistência de aderência ao cisalhamento da argamassa colante tipo ACIII no bloco cerâmico

ACIII em bloco cerâmico			
Bloco	CP	MPa	Observações
1º Bloco cerâmico	1º cerâmica	0,323816	Bloco quebrou
	2º cerâmica	-	Não foi possível realizar ensaio
	3º cerâmica	-	Não foi possível realizar ensaio
	4º cerâmica	-	Não foi possível realizar ensaio
2º Bloco cerâmico	1º cerâmica	0,197888	Bloco quebrou
	2º cerâmica	-	Não foi possível realizar ensaio
	3º cerâmica	-	Não foi possível realizar ensaio
	4º cerâmica	-	Não foi possível realizar ensaio
3º Bloco cerâmico	1º cerâmica	0,251857	Bloco quebrou
	2º cerâmica	-	Não foi possível realizar ensaio
	3º cerâmica	-	Não foi possível realizar ensaio
	4º cerâmica	-	Não foi possível realizar ensaio
4º Bloco cerâmico	1º cerâmica	0,251857	Bloco quebrou
	2º cerâmica	-	Não foi possível realizar ensaio
	3º cerâmica	-	Não foi possível realizar ensaio
	4º cerâmica	-	Não foi possível realizar ensaio

Contudo, nos ensaios realizados com o substrato de bloco cerâmico foi possível verificar que os corpos de prova tiveram resistência média de 0,58MPa para a argamassa tipo ACII e 0,26MPa para a argamassa tipo ACIII. No entanto, como o substrato rompeu antes mesmo da argamassa colante, pode-se concluir que a resistência de aderência da argamassa colante ao cisalhamento assentada diretamente sobre o bloco cerâmico é maior que o resultado obtido diretamente no medidor pois este é interrompido quando há o rompimento do substrato. Ou seja, a resistência de aderência ao cisalhamento da argamassa é superior a 0,58MPa na argamassa ACII e 0,26 MPa na argamassa ACIII quando coladas diretamente sobre o bloco cerâmico.

Infere-se que os resultados encontrados tenderiam a ser menores se os blocos fossem moldados com a camada de chapisco/emboço, devido ao fato da argamassa de emboço apresentar menor condição de absorção de pasta de aglomerante que os blocos, entretanto, isso não pode ser afirmado de forma categórica porque tais ensaios não foram realizados.

Gráfico 4 - Resultado da resistência média de aderência no bloco cerâmico



Nos ensaios realizados nos blocos de concreto, também houve uma perda de amostras devido o rompimento do substrato. Estão indicados nas Tabela 10 e Tabela 11 os resultados obtidos. Como já esperado, mesmo rompendo durante alguns ensaios, o bloco de concreto resistiu melhor ao ensaio. Em algumas cerâmicas ensaiadas obteve-se

resultados superiores a 1,0 MPa. Deve-se ressaltar que os ensaios interrompidos são devidos a limitação do aderímetro utilizado.

Tabela 10 - Resultados dos ensaios de resistência de aderência ao cisalhamento com argamassa tipo ACII no bloco de concreto

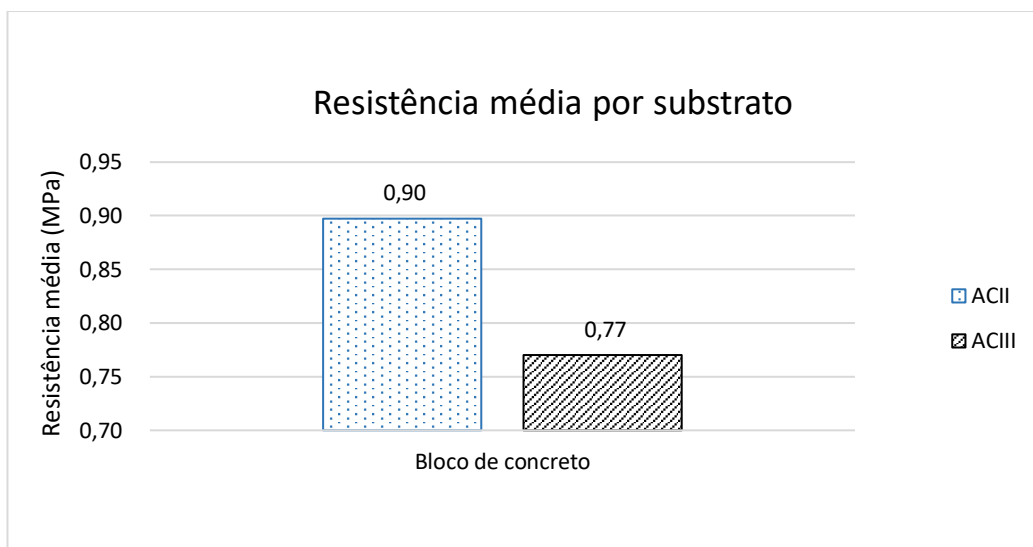
ACII em bloco de concreto			
Bloco	CP	MPa	Observações
1º Bloco de concreto	1º cerâmica	1,079388	Ensaio interrompido
	2º cerâmica	0,3526	Pastilha quebrou por possível desalinhamento da camisa metálica
	3º cerâmica	0,834727	Bloco quebrou
	4º cerâmica	-	Não foi possível realizar ensaio
2º Bloco de concreto	1º cerâmica	1,079388	Ensaio interrompido
	2º cerâmica	1,079388	Ensaio interrompido
	3º cerâmica	1,079388	Ensaio interrompido
	4º cerâmica	1,007429	Cerâmica lascou
3º Bloco de concreto	1º cerâmica	0,827531	Bloco descolou do piso
	2º cerâmica	-	Não foi possível realizar ensaio
	3º cerâmica	-	Não foi possível realizar ensaio
	4º cerâmica	-	Não foi possível realizar ensaio
4º Bloco de concreto	1º cerâmica	0,737582	Bloco quebrou
	2º cerâmica	-	Não foi possível realizar ensaio
	3º cerâmica	-	Não foi possível realizar ensaio
	4º cerâmica	-	Não foi possível realizar ensaio
5º Bloco de concreto	1º cerâmica	0,971449	Bloco quebrou
	2º cerâmica	-	Não foi possível realizar ensaio
	3º cerâmica	-	Não foi possível realizar ensaio
	4º cerâmica	-	Não foi possível realizar ensaio

Tabela 11- Resultados dos ensaios de resistência de aderência ao cisalhamento com argamassa tipo ACIII no bloco de concreto

ACIII em bloco de concreto			
Bloco	CP	MPa	Observações
1º Bloco de concreto	1º cerâmica	0,719592	Bloco quebrou
	2º cerâmica	-	Não foi possível realizar ensaio
	3º cerâmica	-	Não foi possível realizar ensaio
	4º cerâmica	-	Não foi possível realizar ensaio
2º Bloco de concreto	1º cerâmica	0,604457	Bloco quebrou
	2º cerâmica	-	Não foi possível realizar ensaio
	3º cerâmica	-	Não foi possível realizar ensaio
	4º cerâmica	-	Não foi possível realizar ensaio
3º Bloco de concreto	1º cerâmica	1,050604	Bloco quebrou
	2º cerâmica	-	Não foi possível realizar ensaio
	3º cerâmica	-	Não foi possível realizar ensaio
	4º cerâmica	-	Não foi possível realizar ensaio
4º Bloco de concreto	1º cerâmica	0,395776	Cerâmica quebrou
	2º cerâmica	1,079388	Bloco quebrou
	3º cerâmica	-	Não foi possível realizar ensaio
	4º cerâmica	-	Não foi possível realizar ensaio
5º Bloco de concreto	1º cerâmica	1,007429	Bloco quebrou
	2º cerâmica	-	Não foi possível realizar ensaio
	3º cerâmica	-	Não foi possível realizar ensaio
	4º cerâmica	-	Não foi possível realizar ensaio

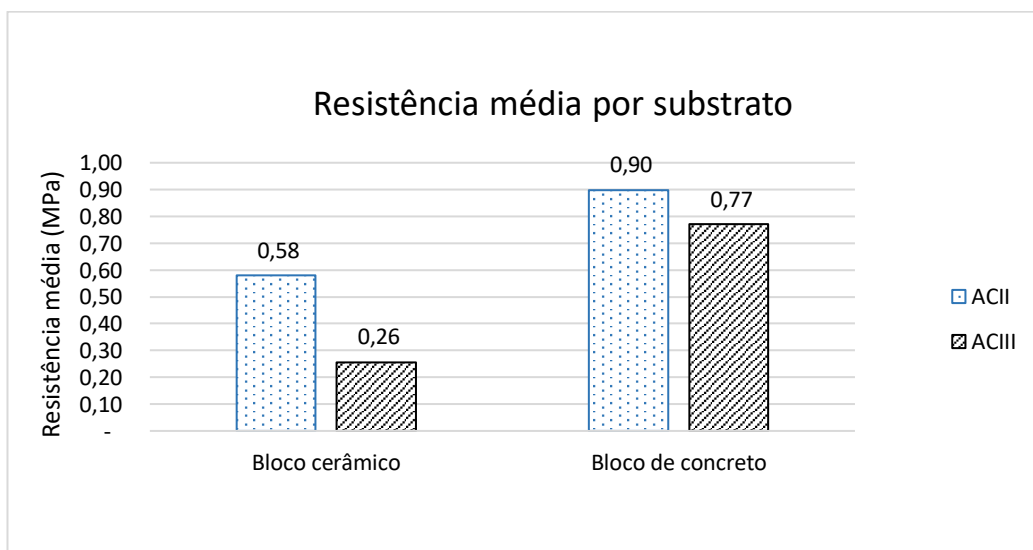
Conforme já dito anteriormente, nos ensaios onde o substrato rompeu antes da argamassa colante, podemos concluir que a resistência de aderência ao cisalhamento da argamassa colante no bloco foi superior ao lido no medidor. Ou seja, a resistência de aderência ao cisalhamento da argamassa colante é superior a 0,90MPa na argamassa tipo ACII e a 0,77MPa para a argamassa tipo ACIII conforme apresentado no Gráfico 5. Espera-se que, pelo maior teor de aditivos poliméricos presentes na argamassa ACIII, sua resistência seja maior do que a argamassa tipo ACII porém pelo rompimento precoce do substrato não foi possível verificar tal condição comparativa.

Gráfico 5 - Gráfico da resistência média das argamassas tipo ACII e ACIII no substrato de bloco de concreto



Conforme observou Casarek *et al.* (2001), a aderência da argamassa no substrato ocorre principalmente pela penetração da pasta de argamassa nos poros da base, colando o revestimento através da adesão mecânica (BAÍÁ e SABBATINI, 2000). Isto pode ser verificado pela maior resistência de aderência ao cisalhamento da argamassa no bloco de concreto que possui um coeficiente de absorção bem mais elevado do que no bloco cerâmico. Conforme demonstrando no Gráfico 6, enquanto a resistência média de aderência ao cisalhamento da argamassa no bloco cerâmico pode ser considerada maior do que 0,26MPa e 0,58Mpa, no bloco de concreto conclui-se que a resistência média é superior a 0,77 e 0,90.

Gráfico 6 - Resistência de aderência ao cisalhamento no bloco de concreto x bloco cerâmico



5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A resistência de aderência ao cisalhamento da argamassa colante deve ser objeto de estudos mais profundos assim como a forma como essas tensões se dão no sistema de revestimento de fachada. Não somente o desempenho da argamassa colante em relação as tensões cisalhantes, mas também a metodologia de ensaio para se verificar a resistência de aderência ao cisalhamento.

A metodologia proposta neste trabalho apresentou resultados satisfatórios em relação ao seu desempenho para arrancamento das cerâmicas. A camisa metálica elaborada apresentou ótimo desempenho, de fácil aplicação e que pode ser utilizada para a adaptação em demais ensaios. Para ensaios laboratoriais e no próprio canteiro de obras, é possível realizar o ensaio. A praticidade do ensaio também envolve o modelo do aderímetro utilizado para o arrancamento para determinação da resistência de aderência a tração que possuindo outra forma de apoio ao utilizado neste trabalho, torna o ensaio mais prático.

Um fator importante que influencia diretamente no desempenho do sistema de revestimento de fachada é o substrato. Os corpos de prova executados sem emboço para validação do dispositivo, permitiram verificar que no substrato que possui maior absorção de água, no caso no bloco de concreto, a resistência média de aderência ao cisalhamento da argamassa colante foi superior ao substrato de menor absorção, o bloco cerâmico. Infere-se que, com a camada de chapisco/emboço a absorção da pasta de argamassa tenderia a ser inferior a do sistema avaliado o que provavelmente conduziria a uma menor resistência de aderência ao cisalhamento da argamassa colante, entretanto, isso não pode ser afirmado categoricamente devido a não realização deste ensaio.

Apesar de não poder obter a resistência de aderência da argamassa colante diretamente, podemos obtê-la diretamente definindo-a como superior aos resultados obtidos nos ensaios. Os resultados encontrados se mostraram satisfatórios sendo próximos quando não possivelmente superiores ao informado por Fiorito (2009) como sendo da ordem de 1,2MPa.

6 SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS

Durante a elaboração do trabalho, o mundo foi acometido pelo COVID-19 que limitou em diversas formas a exploração deste trabalho. Para melhor análise da resistência de aderência ao cisalhamento, sugere-se realizar os mesmos ensaios, mas com os corpos de prova simulando o real sistema de fachada de bloco/chapisco/emboço/argamassa colante/revestimento.

Também como sugestão para possíveis estudos, aprimorar o método proposto para ser realizado na própria fachada, sendo possível inclusive analisar a resistência de aderência da argamassa colante ao longo do tempo.

Outras sugestões:

- Comparar os resultados obtidos com ensaios de resistência ao cisalhamento com ensaios de resistência a tração;
- Comparar resistência de aderência ao cisalhamento da argamassa colante com peças cerâmicas de diferentes classes de absorção;
- Comparar a resistência de aderência ao cisalhamento da argamassa colante em acabamentos assentados diretamente sobre o substrato como o inovador sistema de paredes de concreto.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14081-Argamassa Colante Industrializada para assentamento de placas cerâmicas - Parte 1 – Requisitos.** Rio de Janeiro, 2012.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13755-Revestimentos cerâmicos de fachada e paredes externas com utilização de argamassa colante – Projeto, execução, inspeção, e aceitação – Procedimento.** Rio de Janeiro, 2017.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13528 - Revestimento de Paredes e Tetos de Argamassas Inorgânicas - Determinação da Resistência de Aderência à Tração - Método de Ensaio**Rio de Janeiro, 2010.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14081 – Argamassa colante industrializada para assentamento de placas de cerâmica – especificação.** Rio de Janeiro, 2004.

AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE. **ANSI A118.1, .3 - American National Specifications For The Installation Of Ceramic Tile.** The Council of North America, 2017.

ABREU, M., LEITÃO, V., LUCAS, J.C. **Modelling the Behaviour of Ceramic Tiles Coverings.** Qualicer, p. 3-17, 2004.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **C482 -02 - Standard Test Method for Bond Strength of Ceramic Tile to Portland Cement Paste.** 2014

BAÍA, L. L. M.; SABBATINI, F. H. **Projeto e Execução de Revestimentos de Argamassa.** São Paulo: O Nome da Rosa, 2000.

CAMPANTE, E. F. **Metodologia de diagnóstico, recuperação e prevenção de manifestações patológicas em revestimentos cerâmicos de fachadas.** São Paulo, 2001. 407p. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

CARASEK, H., CASCUDO, O., SCARTEZINI, L. M. **Importância dos materiais na aderência dos revestimentos de argamassa.** IV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, p.43-67, Brasília, 2001.

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

CARVALHO JÚNIOR, Antônio Neves de. **Avaliação da aderência dos revestimentos argamassados: uma contribuição à identificação do sistema de aderência mecânico.** 2005. 331 f. Tese de Doutorado apresentado ao curso de Pós graduação em Engenharia Metalúrgica e de Minas - Universidade Federal de Minas Gerais, Minas Gerais, 2005.

CHEW, M.Y.L. The Study of Adhesion Failure of wall tiles. **Building and Environment**, v.27, n.04, 9.493-499, 1992.

CHEW, M.Y.L. Factors affecting ceramic tile adhesion for external cladding. **Construction and Building Materials**, v.13, p.293-296, 1999.

EUROPEAN STANDARDS. DIN EN 12 004 - European Standards European standards, 2017.

FIORITO, Antônio J. S. I. **Manual de Argamassas e Revestimentos**. 2ª Ed. São Paulo, PINI, 2009.

FLORES-COLEN, I. Metodologia de avaliação do desempenho em serviço defachadas rebocadas na óptica da manutenção predictiva. Dissertação de Doutorado em Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico, Lisboa, 2009.

GARBACZ, A., COURARD, L., KOSTANA, K. Characterization of concrete surface roughness and its relation to adhesion in repair systems. **Materials Characterization**, v.56, p.281-289, 2006.

GOLDBERG, R.P. **Direct adhered ceramic tile, stone and thin brick facades: technical design manual**. Laticrete International Inc, 1998.

GUAN, W.L., ALUM, J., LIU, Z.J., YANG, T. Performance of External Tiled-Wall Systems Under Tropical Weathering. **Journal of Performance of Constructed Facilities**, v.11, n.1, p.24-34, 1997.

MAHANOONPACHAI, T., KUROMIYA, Y., MATSUMOTO, T. Experimental investigation of adhesion failure of the interface between concrete and polymer-cement mortar in na external wall tile structure under a termal load. **Construction and Building Materials**, v.22, p.2001-2006, 2008.

MANSUR, A.A.P. **Mecanismos Físico-Químicos de Aderência na Interface Argamassa Modificada com Polímeros/Cerâmica de Revestimento**. Tese de Doutorado apresentada ao curso de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica e Minas da Universidade Federal de Minas Gerais. Universidade Feral de Minas Gerais, Minas Gerais, 2007.

MARANHÃO, F.L., JOHN, V.M. Bond strength and transversal deformation aging on cement-polymer adhesive mortar. **Construction and Building Materials**, v.23, p.1022-1027, 2009.

REUNION INTERNATIONALE DES LABORATOIRES D'ESSAIS ET MATERIAUX – RILEM – **Recommendation MR14 - Determination of the bond of renderings by shear test**, 1994.

REUNION INTERNATIONALE DES LABORATOIRES D'ESSAIS ET MATERIAUX – RILEM – **Recommendation MR20. Determination of the bond strength of renderings by torsion test**, 1994.

SAGAVE, A.M. **Desenvolvimento de método de ensaio de aderência ao cisalhamento de peças cerâmicas de revestimento**. Dissertação submetida à Universidade Federal de Santa Catarina, 2001.

SANTANA, C.R.B. **Estudo da resistência de aderência ao cisalhamento em revestimentos argamassados**. Dissertação de mestrado apresentado ao Departamento de Engenharia Civil da Universidade Católica de Pernambuco, Pernambuco 2010.

SILVA, Anne Caroline Melo da. Contribuição ao estudo da influência da área de contato na aderência da argamassa colante e cerâmica. 2018. Dissertação (Mestrado em Engenharia da Construção) – Universidade Católica de Pernambuco, Recife, 2018.

SILVESTRE, J.D., BRITO, J. Ceramic tiling in building facades: Inspection and pathological characterization using a expert system. **Construction and Building Materials**, v.25, p.1560-1571, 2011.

STOLZ, C.M., MASUERO, A.B., KIRCHHEIM, A.P. Dispositivo para ensaio de resistência de dispositivo para ensaio de resistência de aderência ao cisalhamento em revestimentos: desenvolvimento e validação. **Ambiente Construído**, v.16, n.4, p.185-196, Porto Alegre, 2016.

UCHÔA, J.C.B., BEZERRA, L.M., BRITO, M.A.N., MONTANDON JÚNIOR, A.C., SILVA, W.T.M. **Análise de Tensões Internas em Sistemas de Revestimentos Cerâmicos de Fachadas no Distrito Federal devido a Carregamentos Térmicos Utilizando Modelagem MEF 3D**. XXXVII Iberian Latin-American Congress on Computational Methods in Engineering. Brasília, 2016

VALENTINI, P., KAZMIERCZAK, C.S. **Avaliação da aderência de placas cerâmicas aplicadas como revestimento de fachada**. Revista ALCONPAT, v.6, n.2, p. 116-128, 2016.

ZHAO, Z.Y., ZHANG, W.L. Influence of Workmanship on the bonding strength of tiles to external walls. **Adhesion and Adhesives**, v.17, p.47-53, 1997