

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

**AVALIAÇÃO DO TEMPO DE CONSOLIDAÇÃO
DE ARGAMASSAS COLANTES ATRAVÉS
DE MÉTODOS REOLÓGICOS**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Marcelo de Jesus Dias de Oliveira

Santa Maria, RS, Brasil

2015

**AVALIAÇÃO DO TEMPO DE CONSOLIDAÇÃO
DE ARGAMASSAS COLANTES ATRAVÉS
DE MÉTODOS REOLÓGICOS**

Marcelo de Jesus Dias de Oliveira

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, do Centro de Tecnologia da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Engenharia Civil.**

Orientador: Prof. Dr. Gihad Mohamad
Coorientadora: Prof^a. Dr^a. Larissa Kirchhof

Santa Maria, RS, Brasil

2015

Ficha catalográfica elaborada através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Central da UFSM, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Oliveira, Marcelo de Jesus Dias de
Avaliação do tempo de consolidação de argamassas colantes através de métodos reológicos. / Marcelo de Jesus Dias de Oliveira.-2015.
99 f.; 30cm

Orientador: Gihad Mohamad
Coorientadora: Larissa Kirchhof
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, RS, 2015

1. Argamassa colante 2. Squeeze flow 3. Tempo de consolidação 4. Pull out flow I. Mohamad, Gihad II. Kirchhof, Larissa III. Título.

© 2015

Todos os direitos autorais reservados a Marcelo de Jesus Dias de Oliveira. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser feita mediante a citação da fonte.

E-mail: marcelod.oliveira@gmail.com

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova a Dissertação de Mestrado

**AVALIAÇÃO DO TEMPO DE CONSOLIDAÇÃO DE
ARGAMASSAS COLANTES ATRAVÉS DE MÉTODOS
REOLÓGICOS**

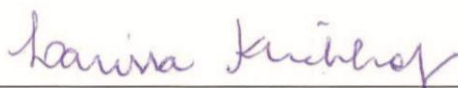
elaborado por
Marcelo de Jesus Dias de Oliveira

como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Engenharia Civil

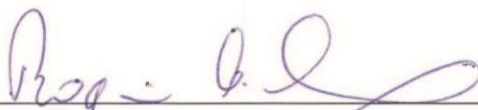
COMISSÃO EXAMINADORA:



Gihad Mohamad, Dr. (UFSM)
(Presidente/Orientador)



Larissa Kirchhof, Dr^a. (UFSM)
(Coorientadora)



Rogério Catellan Antochaves de Lima, Dr. (UFSM)



Ederli Marangon, Dr. (UNIPAMPA)

Santa Maria, 21 de agosto de 2015.

*Dedico esse trabalho aos meus pais, que nunca mediram esforços, na minha
formação pessoal e profissional.*

AGRADECIMENTO

Em primeiro lugar gostaria de agradecer ao meu orientador Prof. Gihad Mohamad pela confiança depositada em mim, muitas vezes perguntei-me se era merecedor dela.

Aos meus colegas de mestrado Rodrigo e Wagner pelo companheirismo nas longas viagens de Alegrete a Santa Maria, as quais sempre realizadas com bom humor e companheirismo.

Aos Colegas do Grupo de Pesquisa, GPDAE, Aldo, Juliana, Modler, em especial Ana Cláudia e Poliana, que muito me ajudaram na realização dos ensaios em Santa Maria e na troca de experiências adquiridas durante o mestrado.

À Unipampa pela liberação parcial de minha carga horária para a realização do mestrado, e também por disponibilizar a infraestrutura do laboratório de materiais de construção civil para a realização de alguns ensaios da pesquisa, e também a liberação, por parte do programa de pós-graduação da unipampa, da utilização da prensa universal Shimatzu.

Gostaria de agradecer ao meu irmão João por estar sempre disponível para ajudar na formatação dos gráficos dos resultados e sempre pronto para uma conversa amigável e incentivadora, quando me encontrava em frente à algum obstáculo.

Em especial a minha esposa Dariane, por compreender os momentos em que estive ausente, por sempre me incentivar na realização do trabalho, e ainda pelo auxílio na revisão do texto do trabalho.

RESUMO

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil
Universidade Federal de Santa Maria

AVALIAÇÃO DO TEMPO DE CONSOLIDAÇÃO DE ARGAMASSAS COLANTES ATRAVÉS DE MÉTODOS REOLÓGICOS

AUTOR: MARCELO DE JESUS DIAS DE OLIVEIRA

ORIENTADOR: GIHAD MOHAMAD

Data e Local da Defesa: Santa Maria, 21 de agosto de 2015.

O tempo de consolidação é o período disponível para a aplicação da argamassa colante no substrato. A NBR 14081-1 não especifica um método de ensaio para a determinação do tempo de consolidação, já as normas de procedimento de execução de revestimento de pisos e paredes com placas cerâmicas (NBR 13755 e NBR 13754) estabelecem 2 h e 30 min como tempo mínimo. Considerando as diferenças significativas entre as formulações, a presença de aditivos poliméricos, além da evolução dos cimentos e das adições, faz-se necessário um estudo sobre como e quando se dá a consolidação da argamassa colante. Em virtude disso, procurou-se avaliar e determinar o tempo de consolidação das argamassas colantes dos tipos ACI, ACII e ACIII por meio dos ensaios de *Squeeze flow* e *Pull out flow*, em diferentes intervalos de tempo (30, 60, 120, 180, 240 e 300 min) no estado fresco. Os métodos de ensaio mostraram-se sensíveis para a determinação do tempo de consolidação das argamassas colantes, indicando o aumento da viscosidade e da adesão da argamassa com o passar do tempo. Para as argamassas em que o tempo de consolidação ocorreu durante o período estudado, este tempo deu-se aos 180 minutos após a mistura. A partir deste período as argamassas colantes sofreram perdas nas suas características reológicas o que poderá causar dificuldades nas etapas de assentamento das placas cerâmicas e posteriormente, problemas no seu desempenho e durabilidade. Já os ensaios de resistência de aderência à tração apresentaram grande variabilidade prejudicando uma correlação com os ensaios reológicos.

Palavras-chave: Argamassa colante. *Squeeze flow*. Tempo de consolidação. *Pull out flow*.

ABSTRACT

Master's Dissertation
Civil Environmental Post-Graduation Program
Federal University of Santa Maria

EVALUATION OF MORTAR CONSOLIDATION THROUGH TIME TIGHTS METHODS RHEOLOGICAL

AUTHOR: MARCELO DE JESUS DIAS DE OLIVEIRA

ADVISOR: GIHAD MOHAMAD

Date and Location of Defense: Santa Maria, August 21th, 2015.

The consolidation time is the time available for the application of adhesive mortar on the substrate. The NBR 14081-1 does not specify a method of test to determining the consolidation time, however, the standard of enforcement procedures of covering floors and walls with ceramic tiles (NBR 13755 and NBR 13754) establish 2 h and 30 min as the minimum time. By considering the significant differences between the formulations, the presence of polymeric additives, besides the evolution of cement and additions, a study about how and when the consolidation of adhesive mortar happens is needed. Then, it was looked for to evaluate and determine the time of consolidation of adhesive mortars of the types ACI, ACII and ACIII by *Squeeze flow* and *Pull out flow* tests in different time intervals (30, 60, 120, 180, 240 and 300 min) in fresh state. The test methods shown to be sensitive for the determination of consolidation time of adhesive mortars, indicating the increase of the viscosity and of the adhesion of the mortar over time. For mortars in which the consolidation occurred during the time period studied, this time made up to 180 minutes after mixing. From this period the adhesive mortars suffered losses in their rheological characteristics, which would cause difficulties in the settlement stages of ceramic plates and later problems in its performance and durability. On the other hand, the tensile bond strength tests showed great variability impairing a correlation with the rheological tests.

Keywords: Adhesive mortar. *Squeeze flow*. Consolidation time. *Pull out flow*.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Produção brasileira de revestimentos cerâmicos	15
Figura 2 – Variação da retenção de água para diferentes argamassas	22
Figura 3 – Funil de Büchner modificado	23
Figura 4 – Forças atuantes no deslizamento de argamassas colantes.....	25
Figura 5 – Aparato para o ensaio de deslizamento	26
Figura 6 – <i>Squeeze flow</i> : tempo de consolidação (A) (B) (C) ACI; (D) (E) (F) ACIII, diferentes taxas de deslocamento 0,1, 1 e 3 mm/s, ensaios realizados nos tempos de 25 e 240 minutos, molde restritivo de 4 polegadas e punção de 2 polegadas, deslocamento do punção de 9 mm na amostra	29
Figura 7 – Força de cisalhamento aplicada em um fluido.....	31
Figura 8 – Tensão de cisalhamento em função da taxa de cisalhamento para alguns materiais	33
Figura 9 – Representação da microestrutura da argamassa colante.....	35
Figura 10 – Representação esquemática do ensaio de <i>Squeeze flow</i>	37
Figura 11 – Diagrama esquemático ensaio de <i>Squeeze flow</i> com molde restritivo ..	39
Figura 12 – Perfil típico de uma curva carga compressão versus deslocamento de um ensaio de <i>Squeeze flow</i> com controle de deslocamento	40
Figura 13 – Curva de carga tração versus tempo obtido nos ensaios de <i>Squeeze flow</i> e <i>Pull out flow</i>	42
Figura 14 – Curva de tração versus tempo obtido no ensaio de <i>Pull out flow</i>	43
Figura 15 – Ensaio propostos.....	44
Figura 16 – Funil de Büchner, equipamento utilizado no ensaio de retenção de água	49
Figura 17 – Configurações utilizadas no ensaio	50
Figura 18 – Ensaio reológicos: a) <i>Squeeze flow</i> – compressão da amostra. b) <i>Pull out flow</i> – estrição da argamassa	51
Figura 19 – Modos de ruptura	53
Figura 20 – Substrato padrão com as placas cerâmicas	54
Figura 21 – Finos passantes na peneira #0,075 mm.....	56
Figura 22 – Porcentagens retidas em cada peneira	57
Figura 23 – Retenção de água das argamassas colantes ACI	59
Figura 24 – Retenção de água das argamassas colantes ACII	59
Figura 25 – Retenção de água das argamassas colantes ACIII	60
Figura 26 – Retenção de água das argamassas colantes	61
Figura 27 – Ensaio de <i>Squeeze flow</i> e <i>Pull out flow</i> argamassas colantes ACI.....	62
Figura 28 – Ensaio de <i>Squeeze flow</i> e <i>pull-out-flow</i> argamassas colantes ACII.....	62
Figura 29 – Ensaio de <i>Squeeze flow</i> e <i>Pull out flow</i> das argamassas colantes ACIII.....	63
Figura 30 – Ensaio de <i>Squeeze flow</i> e <i>Pull out flow</i> das argamassas colantes separadas por fabricante.....	64
Figura 31 – Ensaio de <i>Squeeze flow</i> e <i>Pull out flow</i> em função do tempo de consolidação, argamassa ACI – A.....	66
Figura 32 – Ensaio <i>Pull out flow</i> nos tempos de: a) 30 minutos b) 60 minutos c) 120 minutos d) 180 minutos e) 240 minutos e f) 300 minutos.....	67
Figura 33 – Ensaio de <i>Squeeze flow</i> e <i>Pull out flow</i> em função do tempo de consolidação, argamassa ACI – B.....	68

Figura 34 – Ensaio de <i>Squeeze flow</i> e <i>Pull out flow</i> em função do tempo de consolidação, argamassa ACI – C	69
Figura 35 – Ensaio de <i>Squeeze flow</i> e <i>Pull out flow</i> em função do tempo de consolidação, argamassa ACII – A.....	70
Figura 36 – Ensaio de <i>Squeeze flow</i> e <i>Pull out flow</i> em função do tempo de consolidação, argamassa ACII – B.....	71
Figura 37 – Ensaio de <i>Squeeze flow</i> e <i>Pull out flow</i> em função do tempo de consolidação, argamassa ACII – C	72
Figura 38 – Ensaio de <i>Squeeze flow</i> e <i>Pull out flow</i> em função do tempo de consolidação, argamassa ACIII – A.....	73
Figura 39 – Ensaio de <i>Pull out flow</i> argamassa colante ACIII – A, a) 30 min; b) 60 min; c) 120 min; d) 180 min; e) 240 min e f) 300 min.....	74
Figura 40 – Ensaio de <i>Squeeze flow</i> e <i>Pull out flow</i> em função do tempo de consolidação, argamassa ACIII – B.....	75
Figura 41 – Ensaio de <i>Squeeze flow</i> e <i>Pull out flow</i> em função do tempo de consolidação, argamassa ACIII – C	76
Figura 42 – Comparação dos ensaios de <i>Squeeze flow</i> em função do tempo e fabricante	77
Figura 43 – Comparação dos ensaios de <i>Pull out flow</i> em função do tempo e fabricante	77
Figura 44 – <i>Squeeze flow</i> ACI – A cálculo área de cada região	78
Figura 45 – Comparativo das áreas – Fabricante A	80
Figura 46 – Comparativo das áreas – Fabricante B	81
Figura 47 – Comparativo das áreas – Fabricante C	82
Figura 48 – Ensaio de aderência.....	83
Figura 49 – Resultados de aderência para os tempos de 30, 180 e 300 min	85
Figura 50 – Cordões ensaio de aderência ACIII-A 300 min.....	86

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Propriedades fundamentais para as argamassas colantes	20
Quadro 2 – Propriedades opcionais para as argamassas colantes	20
Quadro 3 – Parâmetros reológicos e exemplos de fluidos não-newtonianos	34
Quadro 4 – Finalidade das técnicas de caracterização reológica de argamassas frescas	36
Quadro 5 – Informações da relação água/argamassa contidas na embalagem	47
Quadro 6 – Resultados encontrados para os ensaios de massa específica, aparente e teor de finos	55
Quadro 7 – Resultados de densidade real e teor de ar incorporado	58
Quadro 8 – Resultados ensaio de aderência	83
Quadro 9 – Resultados de aderência para os tempos de 30, 180 e 300 minutos.....	84

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1	$\tau = FA = \eta dudy = \eta\gamma$	31
Equação 2	$\tau = \tau_0 + \eta\gamma$	33
Equação 3	$\rho = mV$	45
Equação 4	$E = \rho Vg$	41
Equação 5	$A = 100(1 - ddt)$	48
Equação 6	$d_t = \frac{m_s + m_{\acute{a}gua}}{\gamma_s + m_{\acute{a}gua}}$	49

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	– Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACI	– Argamassa Colante do Tipo I
ACII	– Argamassa Colante do Tipo II
ACIII	– Argamassa Colante do Tipo III
ANFACER	– Associação Nacional dos Fabricantes de Cerâmica
EVA	– Poli acetato de vinila-etileno
HEC	– Ésteres de celulose
#	– Peneira ou mash

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	Objetivos	17
1.1.1	Objetivo geral	17
1.1.2	Objetivos específicos	17
1.2	Justificativas	18
2	REVISÃO DA LITERATURA	19
2.1	Argamassas colantes	19
2.1.1	Retenção de água	21
2.1.2	Adesão inicial	23
2.1.3	Deslizamento	24
2.1.4	Tempo em aberto	26
2.1.5	Tempo de consolidação	27
2.2	Reologia das argamassas colantes	30
2.2.1	Noções de reologia	30
2.2.2	Comportamento reológico das argamassas colantes	34
2.2.3	Ensaio de Squeeze flow e Pull out flow	37
2.2.3.1	Squeeze flow	37
2.2.3.2	Pull out flow	41
3	METODOLOGIA	44
3.1	Caracterização da argamassa no estado Anidro	45
3.1.1	Massa específica	45
3.1.2	Determinação da densidade de massa aparente	45
3.1.3	Teor de finos	46
3.1.4	Granulometria	46
3.2	Ensaio no estado fresco	47
3.2.1	Densidade de massa fresca e teor de ar incorporado	48
3.2.2	Retenção de água	49
3.2.3	Procedimentos dos ensaios de Squeeze flow e Pull out flow	50
3.3	Ensaio no estado endurecido	51
3.3.1	Resistência de aderência à tração	51
4	RESULTADOS E DISCUSÕES	55
4.1	Caracterização das argamassas no estado anidro	55
4.1.1	Massa específica, aparente e teor de finos	55
4.1.2	Análise granulométrica	56
4.2	Ensaio no estado fresco	57
4.2.1	Retenção de água	58
4.2.2	Ensaio de Squeeze flow e Pull out flow	61
4.2.3	Análise do tempo de consolidação através dos ensaios de Squeeze flow e Pull out flow	65
4.2.3.1	Argamassas ACI	65

4.2.3.2	Argamassas ACII.....	69
4.2.3.3	Argamassas ACIII.....	72
4.3	Resultados das argamassas no estado endurecido	82
5	CONCLUSÕES	87
5.1	Sugestões para trabalhos futuros.....	88
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	89
	ANEXOS	95

1 INTRODUÇÃO

No Brasil, durante a última década, registrou-se um aumento significativo na construção civil causado por investimentos em eventos esportivos, como a copa do mundo e as olimpíadas, ou ainda, por ações governamentais na área habitacional, como o programa “Minha casa, minha vida”, o que motivou um grande crescimento na indústria cerâmica, transformando o país, hoje, no segundo maior produtor e consumidor de revestimentos cerâmicos, atrás somente da China (ANFACER, 2014).

Segundo a Anfacer (Associação Nacional dos fabricantes de cerâmica), o Brasil, no ano de 2014, produziu 903,30 milhões de metros quadrados de cerâmicas para uma capacidade instalada de 1.084,10 milhões de metros quadrados. As vendas para o mercado interno chegaram a 853,20 milhões de metros quadrados. A evolução desse crescimento e a previsão para 2015 são mostradas na Figura 1.

Vendas de revestimentos cerâmicos no mercado interno		Produção brasileira de revestimento cerâmicos	
2015*	861,7	2015*	916,8
2014	853,2	2014	903,3
2013	837,5	2013	871,1
2012	803,3	2012	865,9
2011	774,4	2011	844,3
2010	699,6	2010	753,5
2009	644,5	2009	714,9
2008	605,4	2008	713,4
ano	milhões de m ²	ano	milhões de m ²

Figura 1 – Produção brasileira de revestimentos cerâmicos

Fonte: ANFACER. Disponível em: <http://www.anfacer.org.br>. Acesso em jul. 2015.

Juntamente com o crescimento da indústria de revestimento cerâmico, foi impulsionada a indústria da argamassa colante industrializada, na qual foram

introduzidos um maior controle de qualidade e um grande desenvolvimento tecnológico.

As argamassas colantes são produtos que devem fixar a cerâmica ao substrato e absorver as deformações naturais que o sistema de revestimento cerâmico estiver sujeito, tendo como principais requisitos para isso a trabalhabilidade, a aderência e a flexibilidade (CARASEK, 2007).

A trabalhabilidade é a propriedade da argamassa no estado fresco, que determina a sua facilidade em ser misturada, aplicada, consolidada e acabada. Uma argamassa é considerada trabalhável quando permite ao aplicador executar bem o seu trabalho, ou seja, que ele tenha um bom rendimento e garanta que a argamassa fique adequadamente aderida ao substrato e à cerâmica. A trabalhabilidade é resultado de outras características presentes na argamassa. No caso das argamassas colantes, destacam-se: retenção de água, adesão inicial, deslizamento, tempo em aberto e tempo de consolidação (CARAZEK, 2007; SILVA, 2003).

Segundo Kudo (2012) a avaliação sobre a mistura e a aplicabilidade do produto é feita em campo, de forma empírica pelo aplicador, que determina, por meio de aspectos sensoriais, a facilidade ou dificuldade de mistura da argamassa, classificando-a como: pesada, leve, macia, áspera, com liga, etc. Essas descrições são subjetivas e não qualificam a aplicabilidade do produto, além de induzirem a erros de avaliação, pois cada aplicador tem sua própria percepção sobre ele.

Esses aspectos subjetivos de julgamento da trabalhabilidade podem levar ao surgimento de manifestações patológicas nos revestimentos cerâmicos. A patologia mais comum é o deslocamento por perda de aderência entre a cerâmica e a argamassa colante ou entre essa e o substrato, a qual, além de ser a mais encontrada, é também a mais perigosa, devido aos riscos que pode trazer a seus usuários. Um exemplo disso é a queda de uma peça cerâmica, de uma altura de 3, 4 ou 50 metros, que pode causar enormes danos materiais e principalmente, colocar em risco a segurança das pessoas.

A perda de aderência pode ser causada por falhas ou rupturas na interface da cerâmica com a argamassa colante, ou mesmo com o substrato, devido ao surgimento de tensões que ultrapassam a capacidade resistente das ligações (JUST; FRANCO, 2001).

Usualmente, a origem dos descolamentos pode ser atribuída a uma deficiência de produção do material, ou a aplicação feita pelo operário, devido ao preparo, mistura, de uma grande quantidade de argamassa colante que não foi

aplicada no período desejado, não respeitando o seu tempo de consolidação, o que causa uma capacidade aderente.

O tempo de consolidação ou tempo útil é o tempo disponível para a aplicação da argamassa no substrato, sem a perda de suas propriedades no estado fresco e conseqüentemente prejuízo das propriedades no estado endurecido. O tempo de consolidação pode ser influenciado pela sucção do substrato ou pelas condições ambientais de aplicação, como: velocidade do vento, umidade e temperatura (SILVA, 2003).

Nesse contexto, o trabalho propõe a utilização de métodos de caracterização reológicos para a avaliação de argamassas colantes. A Reologia é o estudo da deformação e escoamento da matéria. É o campo da ciência que procura descrever as deformações dos materiais dependentes do tempo, quando os mesmos são expostos a ações mecânicas. Os métodos de *Squeeze flow* e *Pull out flow* foram escolhidos para a avaliação das condições de aplicação do potencial, da adesão inicial das argamassas no estado fresco, visto que esses ensaios avaliarem o espalhamento por meio da compressão da argamassa, o qual induz ao escoamento radial, representando assim, a sua real condição de aplicação, e também se mostram ser uma ferramenta adequada para o desenvolvimento e controle de qualidade de argamassas.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

Determinar o tempo de consolidação das argamassas colantes através de métodos reológicos.

1.1.2 Objetivos específicos

- Avaliar a retenção de água ao longo dos períodos estudados;

- Verificar as diferenças reológicas dos diferentes tipos de argamassa colante;
- Avaliar a resistência de aderência das argamassas colantes estudadas.

1.2 Justificativas

No Brasil não há normas que especificam um método de ensaio exclusivo para a determinação do tempo de consolidação da argamassa colante, entretanto a NBR 13755 (ABNT, 1996), que trata do procedimento de execução de revestimentos de pisos e paredes com placas cerâmicas, estabelece apenas que o tempo útil seja de no mínimo 2h e 30 min.

Ainda são poucos os estudos do comportamento reológico da argamassa colante, sendo está uma lacuna que precisa ser preenchida, uma vez que, as argamassas são aplicadas no seu estado fluido, o seu desempenho reológico é importante na aplicação e na formação dos cordões na execução de revestimentos cerâmicos e este entendimento evitará problemas futuros, como descolamentos no estado endurecido.

Sendo assim, o estudo do tempo de consolidação faz-se necessário, ao considerar-se as diferenças significativas de formulação entre as argamassas, a presença de aditivos poliméricos e a evolução dos cimentos e das adições minerais, que alteram o início das reações de hidratação dos aglomerantes. Isso permite a realização de ajustes nas formulações e nas aplicações das argamassas colantes e previne possíveis manifestações patológicas.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Argamassas colantes

As argamassas colantes são materiais que servem de adesivo para o assentamento de revestimentos em pisos e paredes, como cerâmicas, porcelanatos, granitos e mármore, sendo, geralmente, aplicados sobre qualquer tipo de substrato, como, concreto, cerâmica, drywall (KUDO, 2012). São constituídas basicamente de agregados (areia), aglomerantes (cimento), água e, eventualmente, aditivos no estado fresco. Essas composições são suspensões concentradas de partículas sólidas (agregados) imersas em um líquido viscoso (pasta ou matriz), causando um comportamento reológico complexo, não só devido aos materiais constituintes da mistura, mas também às várias solicitações a que são submetidas durante seu preparo e aplicação (COSTA, 2006).

As argamassas colantes diferem das argamassas tradicionais, principalmente devido à presença de aditivos em sua composição, a fim de modificar e melhorar suas propriedades, sendo aditivos de destaque os de base látex poliméricos de poli acetato de vinila-etileno (EVA) e os ésteres de celulose (HEC). O EVA é responsável pelo aumento da adesividade ao revestimento cerâmico e também pelo aumento da capacidade de deformação da argamassa no estado endurecido, já o HEC é responsável pelo aumento da trabalhabilidade e da retenção de água (FERRARI, 2011).

A NBR 14081-1 (2012) classifica as argamassas colantes em ACI, ACII e ACIII. A argamassa do tipo ACI é recomendada para o uso em ambientes internos, para a aplicação e exposição em ambientes sem a ação das intempéries, nem solicitações de alto desempenho ou altas temperaturas. É aplicada para aderir peças com absorção superior a 0,5% e possui um menor teor de aditivos, comparada aos outros tipos. A do tipo ACII é utilizada em ambientes externos, locais sujeitos a ciclos de variação termo higrométricos e as ações do vento. Já a argamassa do tipo ACIII é, também utilizada em ambientes externos, mas apresenta aderência superior. É utilizada para aderir peças de baixa absorção <0,5% e que demandam um alto

desempenho de adesão e flexibilidade, exigindo na sua formulação a adição de polímeros vinílicos, acrílicos, entre outros, que auxiliam na melhoria do seu desempenho.

Existem ainda, duas subcategorias que podem ser adicionadas às argamassas colantes: argamassa colante industrializada do tipo E, em função da obtenção do tempo em aberto estendido, que é aquele tempo disponível para o operário assentar a placa cerâmica sobre a argamassa colante já estendida sobre o substrato; e a argamassa colante industrializada do tipo D, em função da obtenção de um deslizamento reduzido.

As argamassas colantes industrializadas devem atender as propriedades fundamentais estabelecidas no Quadro 1, e são opcionais às propriedades do Quadro 2.

Requisito		Método de ensaio	Unidade	Critério		
				ACI	ACII	ACIII
Tempo em Aberto		ABNT NBR 14081-3 (2012)	min	≥15	≥20	≥20
Resistência de aderência a tração aos 28 dias, em função do tipo da cura	Cura normal	ABNT NBR 14081-4 (2012)	MPa	≥0,5	≥0,5	≥1,0
	Cura Submersa			≥0,5	≥0,5	≥1,0
	Cura em Estufa			≥0,5	≥0,5	≥1,0

Quadro 1 – Propriedades fundamentais para as argamassas colantes

Fonte: NBR 14081-1 (2012) adaptada.

Requisito	Método de ensaio	Critério
Tempo em Aberto estendido (E)	ABNT NBR 14081-3 (2012)	Argamassa do Tipo I, II e III, com tempo em aberto estendido, no mínimo, 10 min além do especificado como propriedade fundamental.
Deslizamento reduzido (D)	ABNT NBR 14081-5 (2012)	Argamassa do Tipo I, II e III, com deslizamento menor ou igual a 2mm
As siglas “E” e “D” relativas respectivamente às propriedades opcionais de “tempo em aberto estendido” e “deslizamento reduzido”, devem estar marcadas nas embalagens das argamassas colantes destinadas a atender a tais propriedades, conforme seção 6.		

Quadro 2 – Propriedades opcionais para as argamassas colantes

Fonte: NBR 1401-1 (2012) adaptada.

As propriedades da argamassa no estado fresco são muito importantes, pois elas influenciam na execução do revestimento e podem beneficiar ou prejudicar o acabamento e a durabilidade do revestimento final. Conhecer o comportamento das argamassas no estado fresco possibilita uma aplicação adequada, além de permitir a redução da ocorrência de manifestações patológicas após o endurecimento dos revestimentos, como fissuração, deslocamento e eflorescências (CARDOSO; PILEGGI; JHON, 2005).

2.1.1 Retenção de água

A retenção de água é a capacidade da argamassa, em seu estado fresco, de manter a sua trabalhabilidade e consistência, mesmo em situações que provocam perda de água de amassamento, seja pela absorção do substrato ou pela evaporação (CINCOTTO et al., 1995; CARASEK, 2007). A capacidade de retenção de água é um dos mais importantes requisitos da argamassa colante, já que possibilita a sua aplicação em uma camada fina, sem a necessidade de molhagem das placas cerâmicas ou o substrato.

A água tem uma relevante importância no comportamento reológico das argamassas, pois ela afeta diretamente a trabalhabilidade e a viscosidade, além de promover as reações de hidratação dos aglomerantes e também influencia a resistência de aderência entre a argamassa e o substrato (PEREIRA, 2012).

Segundo Carasek (2007), a retenção de água é alterada em função da composição da argamassa. A Figura 2 ilustra o aumento da retenção de água para diferentes tipos de argamassas.

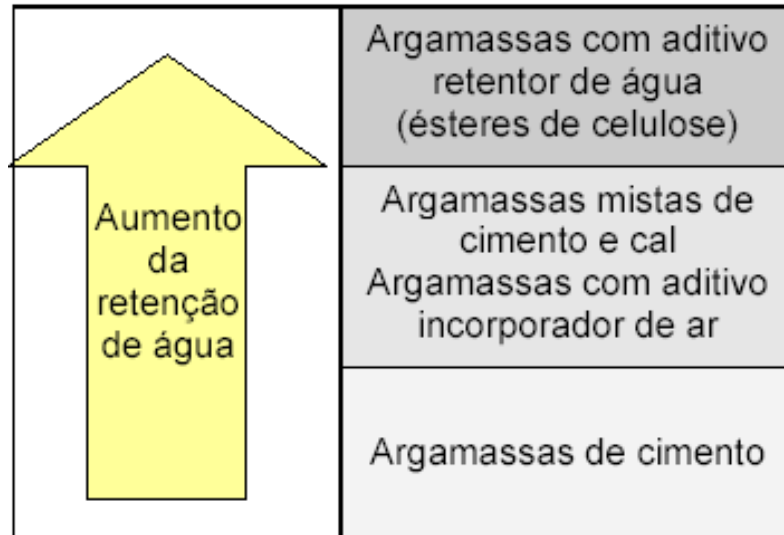


Figura 2 – Variação da retenção de água para diferentes argamassas

Fonte: Carasek, (2007).

A retenção de água também é influenciada pela presença de aditivos em sua composição. Esse comportamento pode ser explicado por diversos fatores que podem atuar conjuntamente na mistura: em argamassas aditivadas ocorre um aumento da viscosidade da mistura; a água presente na mistura tem sua saída inibida pela formação do filme polimérico que produz um efeito selante sobre os poros da argamassa, influenciando diretamente na aderência dos revestimentos no estado endurecido (MANSUR, 2007; OHAMA, 1995).

A formação de cordões da argamassa colante torna-se difícil sem a adição de, pelo menos um polímero com capacidade de reter água e que assegure a coesão e o espaço para a movimentação dos agregados, garantindo a lubrificação do sistema (COSTA, 2006).

A retenção de água em argamassas convencionais pode ser avaliada através do método proposto pela NBR 13277 (ABNT, 2005), e consiste em determinar a quantidade de água retirada de uma porção de argamassa contida em um funil de filtragem (funil de Büchner modificado), após uma sucção realizada por meio de uma bomba de vácuo a baixa pressão. A Figura 03 demonstra o equipamento utilizado para este ensaio.

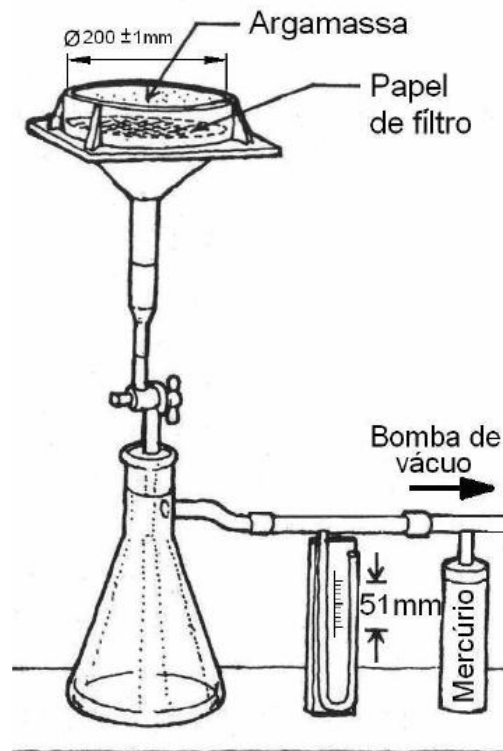


Figura 3 – Funil de Büchner modificado

Fonte: Carasek, (2007).

2.1.2 Adesão inicial

Recebe o nome de adesão inicial, à propriedade da argamassa, no seu estado fresco, que a faz permanecer unida ao substrato após o seu lançamento, seja ele manual ou mecânico. A adesão inicial é a soma de interações intermoleculares que ocorrem nas superfícies de contato, que resultam em forças de atração entre moléculas distintas, são elas: força capilar, de Wan der Waals e eletrostática (CARASEK, 2007; PÓVOAS et al., 2005; PEREIRA, 2012).

Segundo Carasek (2007), a adesão inicial, também denominada “pegajosidade”, é a capacidade de união inicial da argamassa no estado fresco a uma base. Ela está diretamente relacionada com as características reológicas da pasta aglomerante, especificamente a sua tensão superficial. A redução da tensão superficial da pasta favorece a “molhagem” do substrato, reduzindo o ângulo de contato entre as superfícies e a implementação da adesão. Esse fenômeno promove

um maior contato físico da pasta com os grãos de agregado e também com sua base, melhorando, a adesão.

O desenvolvimento da aderência ocorre em dois momentos distintos, consecutivos e relacionados: a adesão inicial e a aderência. A primeira ocorre no lançamento da argamassa fresca sobre o substrato poroso e a segunda é aderência propriamente dita, ocorre durante o processo de hidratação dos aglomerantes presentes na argamassa (SELMO, 1991).

Para Recena (2008), a aderência instantânea (adesão) é obtida pelo vácuo formado no processo de deformação que a argamassa experimenta quando projetada sobre a superfície que compõe o substrato. Essa aderência instantânea dependerá fundamentalmente da coesão e da plasticidade da argamassa.

Segundo Pretto (2007), é necessário um maior estudo com base científica para se compreender a adesão e a relação dessa com a rugosidade da superfície. Assim, é importante estudar aspectos relacionados ao ângulo de contato das argamassas com a superfície e associá-los com o comportamento das tensões superficiais e da energia de superfície dos materiais.

As argamassas colantes devem apresentar trabalhabilidade e plasticidade adequadas para que o espalhamento na superfície tenha um ângulo de contato próximo de zero, havendo então, um contato perfeito entre os constituintes da argamassa colante e a placa (ALMEIDA, 2005). Cobrimentos ineficientes das interfaces resultarão em descolamentos do revestimento no estado endurecido (COSTA, 2006).

Se a adesão ocorrer de forma inadequada, a aderência entre a argamassa e o substrato será prejudicada, podendo resultar no surgimento de defeitos e descolamentos do revestimento.

2.1.3 Deslizamento

Na NBR 14081-1 (ABNT, 2012), o deslizamento é a medida do deslocamento vertical sofrido por uma placa cerâmica aplicada sobre a argamassa colante ainda no estado fresco, sob ação do seu próprio peso.

Segundo Costa (2007), o deslizamento da argamassa ocorrerá quando a tensão de escoamento for inferior à tensão resultante dos pesos próprios da argamassa e da placa cerâmica, ou seja, a tensão de escoamento da argamassa é que define se ocorrerá ou não o deslizamento, já a viscosidade da argamassa influenciará na velocidade com que essa escoará. As forças atuantes no deslizamento da argamassa podem ser observadas na Figura 04.

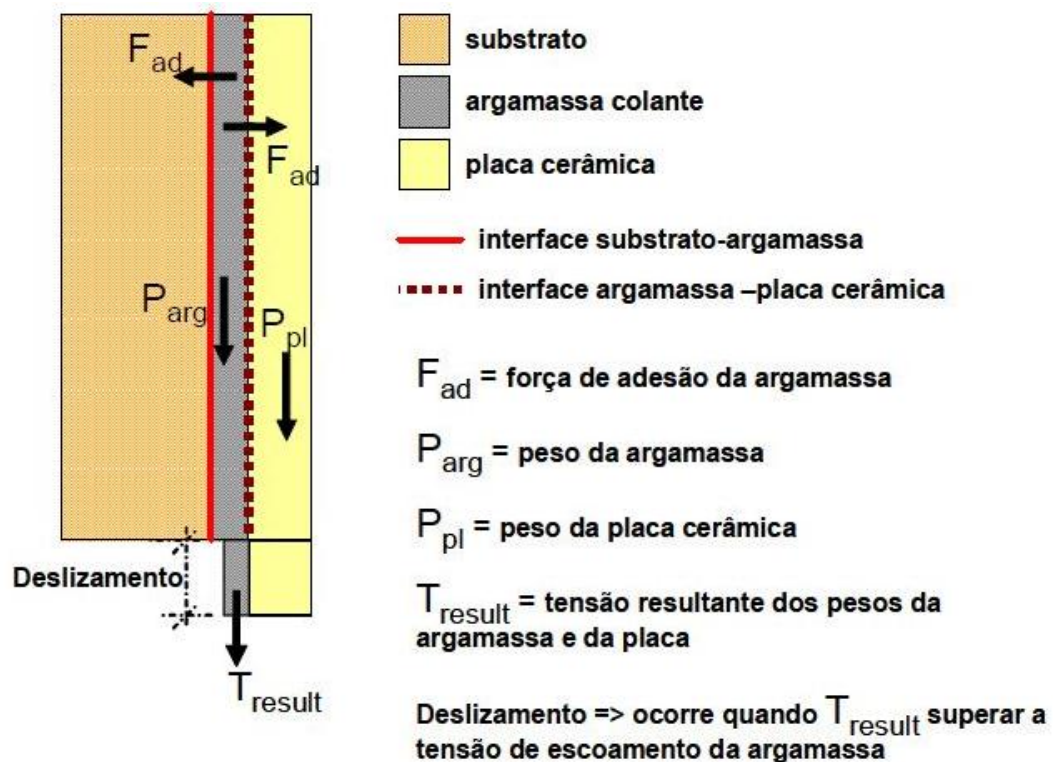


Figura 4 – Forças atuantes no deslizamento de argamassas colantes

Fonte: Costa (2007).

O ensaio de deslizamento, estabelecido pela NBR 14081-5 (2012), é realizado como mostrado na Figura 5, sendo a argamassa aplicada sobre um substrato padrão de formato retangular e os cordões formados no sentido transversal do substrato. As placas cerâmicas são posicionadas sobre os cordões e o conjunto substrato/placas assentadas é colocado logo em seguida na posição vertical para que seja observado o seu deslizamento. A placa cerâmica empregada no ensaio apresenta dimensões 10cm x 10cm x 8,9mm e pesa 195 g. O

deslizamento máximo especificado é de 0,7 mm para todas as classes de argamassa colante.

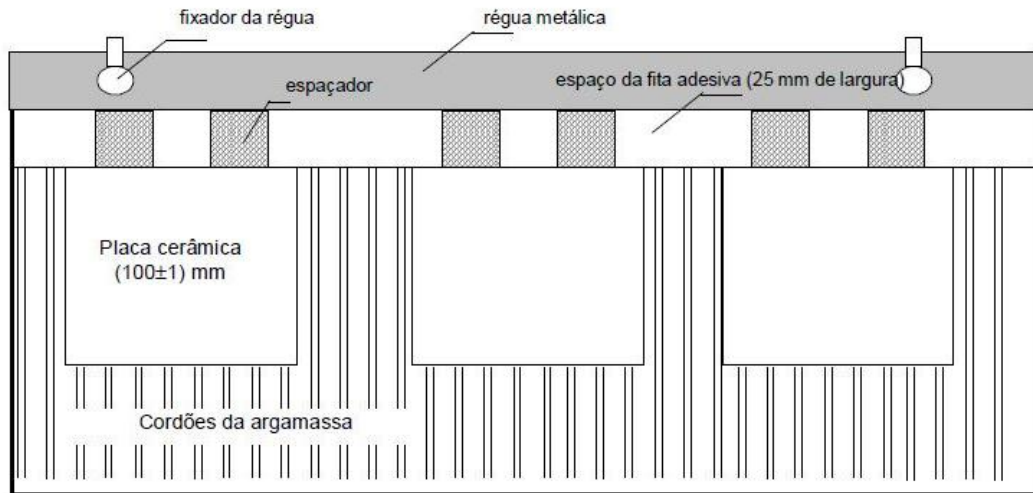


Figura 5 – Aparato para o ensaio de deslizamento

Fonte: NBR 14081-5 (ABNT, 2012).

A capacidade da argamassa resistir ao deslizamento deve ser controlada na sua fabricação dentro dos limites da NBR 14081-1 (ABNT, 2012). O conhecimento e o domínio das características reológicas destas argamassas contribuem para um maior controle desse fenômeno.

Pesquisas, tais como de Costa (2007) apresentavam bons resultados com a utilização da técnica de caracterização da argamassa colante através do ensaio *Squeeze flow*, introduzindo assim conceitos reológicos no entendimento do deslizamento.

2.1.4 Tempo em aberto

O tempo em aberto é uma das principais propriedades de uma argamassa colante. Ele compreende o maior intervalo entre a aplicação da argamassa colante

sobre o substrato e o assentamento da placa cerâmica, desde que se obtenha uma resistência de aderência adequada ao seu uso (NBR 14081-1, ABNT, 2012).

A perda de aderência das placas assentadas após o tempo em aberto está relacionada com a formação de uma película que interfere na adesão inicial da argamassa colante, diminuindo a sua aderência com o substrato e podendo levar ao descolamento da placa. Segundo Póvoas (1999) essa película é resultado da dissecação superficial causada pela evaporação e sucção da água da argamassa.

A velocidade de formação dessa película e, conseqüentemente, o tempo em aberto, dependem, dentre outros fatores, da quantidade de água e da quantidade de polímeros adicionados à argamassa colante, além de condições ambientais como velocidade do vento, temperatura, umidade relativa do ar e radiação (PÓVOAS et al., 2005). Um tempo em aberto adequado permite ao assentador trabalhar mesmo em condições ambientais adversas ou em substratos muito porosos. Caso o tempo em aberto seja excedido, a argamassa colante deve ser descartada.

A NBR 14081-1 (2012) estabelece diferentes tempos em aberto de acordo com a classificação da argamassa colante, por ela estabelecidos.

As normas de procedimento de execução de revestimentos de pisos e paredes com placas cerâmicas NBR 13753, 13754, 13755 (ABNT, 1996), especificam que a placa cerâmica deve ser assentada ligeiramente, fora da posição correta e arrastada perpendicularmente sobre os cordões de argamassa até a posição desejada, para que com isso ocorra o rompimento da película na argamassa fresca e assim seja garantida a aderência especificada.

Os métodos de ensaio para determinação do tempo em aberto regulado pela norma brasileira (NBR 14081-3, 2012) não estabelece nenhum procedimento de rompimento da película superficial. Esse fato pode decorrer da preocupação desses métodos em estabelecer uma situação mais desfavorável do que aquela encontrada na prática, em que nem sempre o rompimento da película é executado. Pela metodologia utilizada nessa norma, deve-se esperar 28 dias pela cura da argamassa para obter-se um valor de resistência de aderência.

2.1.5 Tempo de consolidação

O tempo de consolidação ou tempo útil é o tempo disponível para a aplicação da argamassa no substrato, sem a perda de suas propriedades no estado fresco ou

prejuízo das suas propriedades no estado endurecido. É o intervalo de tempo decorrido entre o contato da argamassa anidra com a água de amassamento, ou com o aditivo, no caso dos bi componentes, até o momento em que a argamassa pode ainda ser utilizada (SILVA, 2003).

O tempo de consolidação depende das condições ambientais de exposição da argamassa durante o preparo até a aplicação, e também de sua formulação. Para Silva (2003) o tempo útil da argamassa colante pode estar relacionado com o seu tempo de pega, podendo-se dizer que argamassas com tempo de pega rápido tem menor tempo de utilização.

A hidratação do cimento da argamassa é retardada pela presença de aditivos a base de ésteres de celulose (HEC). Eles causam atraso na precipitação da portlandita (POURCHES et al., 2006), o retardo é tanto maior quanto maior for a dosagem de aditivo. Segundo Oliveira (2004), o efeito do retardo da hidratação do cimento pode ser causado por diferentes aspectos, tais como a adsorção de partículas poliméricas na superfície dos grãos de cimento em hidratação, reduzindo a taxa de dissolução e, em consequência, a taxa de formação dos produtos hidratados; a formação de filme polimérico com o curso da hidratação, envolvendo os grãos de cimento e interrompendo as reações (BEELDENS, 2001; SILVA, 2001).

Devido à elevada retenção de água e ao retardo do tempo de pega, o HEC proporciona um aumento no tempo em aberto das argamassas, constatado por Póvoas (1999). A autora verificou também que, em argamassas modificadas com aditivos (HEC e EVA), apresentam um incremento na capacidade de retenção de água, tanto em relação à evaporação quanto à sucção da base. A perda de água por sucção é influenciada pelo volume de poros do substrato e pela força capilar, que depende do diâmetro dos mesmos (MORENO JÚNIOR; SELMO, 2007).

Kudo (2012) estudou o tempo de consolidação de argamassas colantes do tipo ACI e ACIII, através do *Squeeze flow*, variando a taxa de deslocamento do punção (0,1; 1 e 3mm/s) para o intervalo de 25 a 240 minutos, utilizando molde restritivo de 101,6 mm e punção de 50,8mm. Os resultados são mostrados na Figura 6.

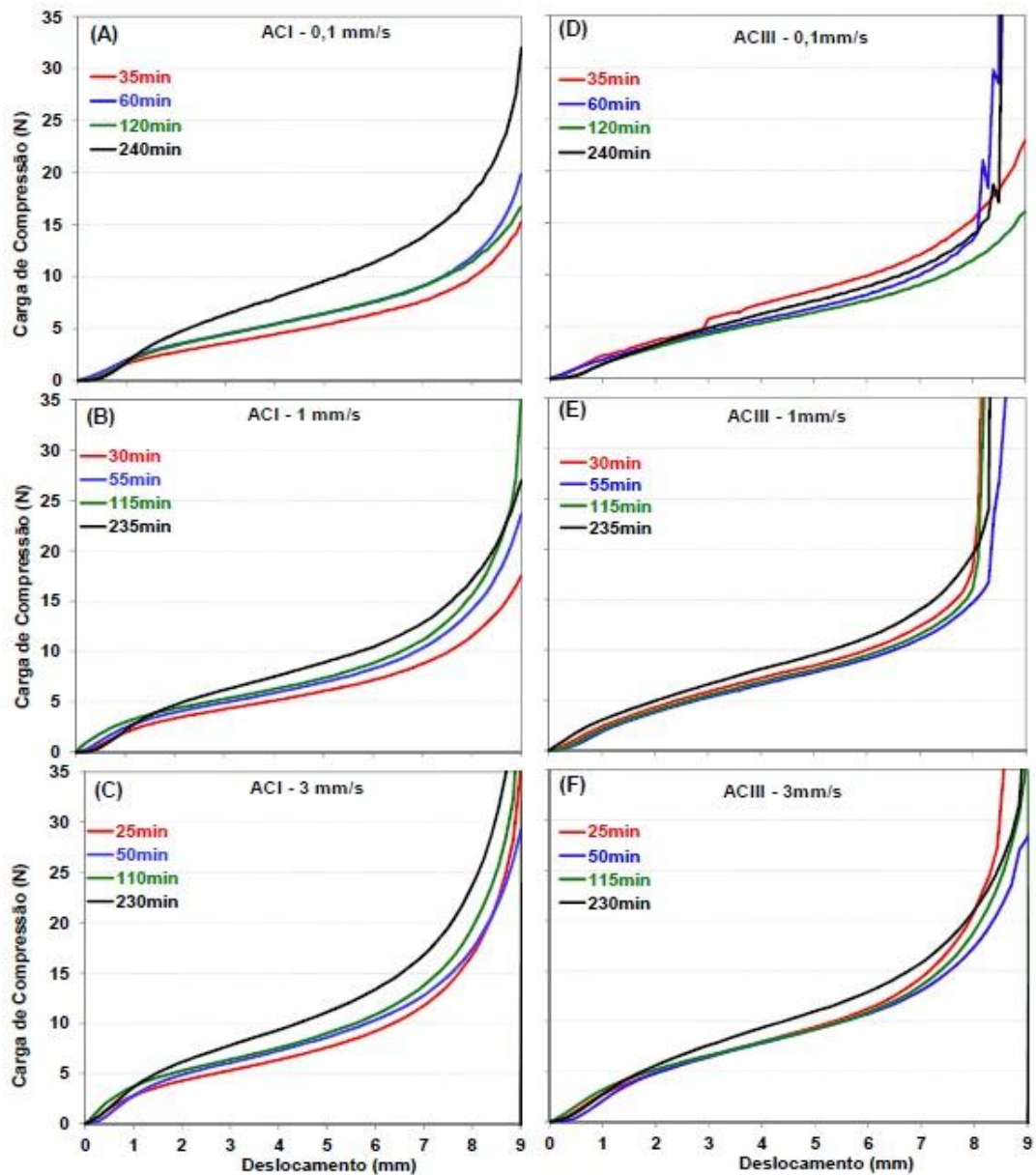


Figura 6 – *Squeeze flow*: tempo de consolidação (A) (B) (C) ACI; (D) (E) (F) ACIII, diferentes taxas de deslocamento 0,1, 1 e 3 mm/s, ensaios realizados nos tempos de 25 e 240 minutos, molde restritivo de 4 polegadas e punção de 2 polegadas, deslocamento do punção de 9 mm na amostra

Fonte: Kudo, (2012).

Os resultados mostraram que o ensaio de *Squeeze flow* apresenta sensibilidade para a análise do tempo de consolidação. A argamassa ACI mostrou como tendência o aumento da carga de compressão com o acréscimo do tempo, enquanto que para a argamassa ACIII não se pode afirmar que o produto apresentou consolidação no período utilizado no ensaio.

2.2 Reologia das argamassas colantes

2.2.1 Noções de reologia

Reologia é o estudo da deformação do fluxo do material, com ênfase no fluxo e sua relação entre tensão, deformação, taxa de deformação e o tempo (BANFIL, 2003). O material, nesse contexto, pode ser sólido, líquido ou gasoso.

Os sólidos ideais deformam-se elasticamente. A energia requerida para a deformação é completamente recuperada quando o esforço externo é removido. Os fluidos ideais, líquidos e gases, deformam-se irreversivelmente, eles fluem. A energia requerida para a deformação é dissipada sob forma de calor e não pode ser recuperada pela remoção da tensão (SCHRAMM, 2006).

Os corpos reais não são nem sólidos ideais e nem fluidos ideais. Os sólidos reais também podem deformar-se irreversivelmente quando colocados sob a influência de forças de magnitude suficiente (MACHADO, 2002). A grande maioria dos líquidos apresenta comportamento reológico que os classifica entre os líquidos e os sólidos: eles são elásticos e viscosos e, por isso, podem ser chamados de viscoelásticos (ANDRADE, 2007).

Segundo Machado (2002), antigamente, a reologia estava relacionada apenas com a deformação dos corpos coesos, mas atualmente, a teoria tem sido estendida para o estudo e a compreensão da fricção entre os sólidos e o escoamento de substâncias pulverizadas e particuladas, e de sistemas coloidais. As argamassas colantes e as pastas enquadram-se no grupo das suspensões de partículas.

Em reologia, o cisalhamento é um conceito de fundamental importância, pois um sólido elástico sofre uma deformação proporcional à tensão aplicada, já um fluido sofre cisalhamento contínuo, suas camadas escoam com velocidades que variam com a distância entre elas (SCHRAMM, 2006). Para Andrade (2007), uma forma de exemplificar essa propriedade seria admitir que há um determinado fluido contido entre duas placas planas e paralelas com área A e separadas por uma distância y . Uma força F é aplicada na placa superior, movimentando a placa a uma velocidade u em relação à inferior, mantida fixa, conforme a Figura 7.

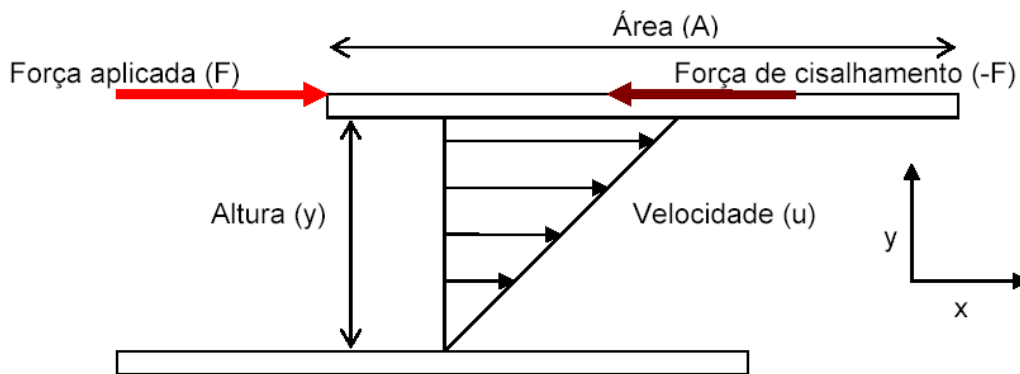


Figura 7 – Força de cisalhamento aplicada em um fluido

Fonte: Andrade (2007).

Para a força F aplicada será gerada uma força de mesma intensidade, mas com sentido contrário ($-F$), que corresponde a força de cisalhamento que existe devido ao atrito causado pela coesão do fluido com as paredes da placa. Essa força de cisalhamento origina um gradiente de velocidade ou taxa de cisalhamento (du/dy) entre as placas.

Um fluido ou material Newtoniano é aquele que obedece a relação linear existente entre a tensão de cisalhamento na direção x e o gradiente de velocidade através da equação:

Equação 1
$$\tau = \frac{F}{A} = \eta \frac{du}{dy} = \eta \gamma$$

onde:

η é o coeficiente de viscosidade do material (Pa.s)

τ é a tensão de cisalhamento (Pa=N/m²)

γ é o gradiente de velocidade ou a taxa de cisalhamento (s⁻¹)

A relação entre a tensão e a taxa de cisalhamento define o comportamento reológico dos materiais viscosos. Essa relação é obtida através de ensaios experimentais empregando-se viscosímetros e, ou, reômetros.

Os materiais newtonianos, como gases e líquidos não poliméricos e homogêneos possuem um único coeficiente de viscosidade a uma dada temperatura, independente da taxa de cisalhamento.

Os materiais não newtonianos são aqueles em que a taxa de cisalhamento não é proporcional à taxa de deformação, e a sua viscosidade não é constante para uma dada situação.

De acordo com Andrade (2007), os fluidos não Newtonianos podem ser divididos em dependentes e independentes do tempo. Para os dependentes do tempo, as suas propriedades variam com a tensão de cisalhamento e no tempo de aplicação dessa tensão. Nesse grupo encontram-se os materiais tixotrópicos que apresentam uma diminuição da viscosidade com o tempo de aplicação da tensão de cisalhamento, havendo um aumento da viscosidade com o final da tensão, um exemplo de material desse grupo é o petróleo cru (MACHADO, 2002).

Os fluidos não dependentes do tempo são aqueles em que a taxa de deformação em qualquer ponto é somente função da tensão naquele ponto, são separados em grupos:

- Fluidos binghamianos (plásticos): o retículo estrutural tem que ser rompido (tensão de escoamento) para permitir algum fluxo, ou seja, comporta-se como sólido quando submetido a tensões menores do que a tensão de escoamento ($\tau < \tau_0$). Quando a tensão sobre o fluido excede a tensão de escoamento ($\tau > \tau_0$), inicia-se o fluxo, com relação linear entre a tensão de cisalhamento e a taxa de cisalhamento (PILEGGI, 2001; BANFILL, 2005);
- Fluidos pseudoplásticos: a viscosidade decresce com o aumento da taxa de deformação ou tensão cisalhante. O efeito da taxa de cisalhamento pode ser reversível para a maioria dos pseudoplásticos (SCHRAMM, 2006). Para suspensões cimentícias e argamassas, o aumento na taxa de cisalhamento pode propiciar a quebra de partículas aglomeradas, diminuindo a turbulência das linhas de fluxo devido à redução do diâmetro das partículas. Outro fator é a forma de aplicação da taxa de cisalhamento, a qual pode promover alinhamento das partículas, orientando o deslocamento na direção das linhas de fluxo. Com menor resistência ao fluxo, a viscosidade aparente diminui;
- Fluidos dilatantes: a viscosidade aparente cresce com o aumento da tensão ou da taxa de cisalhamento, sendo esse comportamento observado em suspensões com elevada concentração de sólidos ou distribuições granulométricas estreitas. Ambas características reduzem a distância média entre as partículas (OLIVEIRA, 2000).

Na figura 8 estão representadas as curvas de fluxo, na qual se pode observar o comportamento ao escoamento dos materiais newtonianos e não newtonianos.

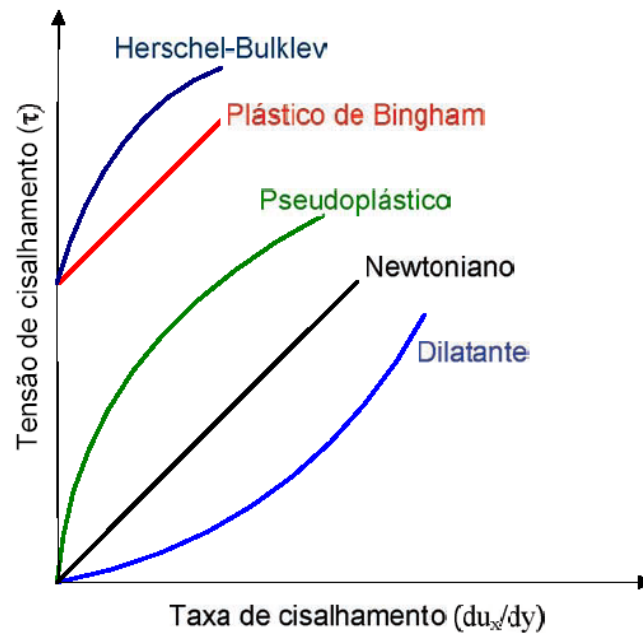


Figura 8 – Tensão de cisalhamento em função da taxa de cisalhamento para alguns materiais

Fonte: Andrade (2007).

Muitos pesquisadores (FERRARIS, 1998; NEHDI; RHAMAN, 2004) mostram que o concreto no estado fresco apresenta comportamento reológico de um fluido de Bingham e necessita de dois parâmetros para definir suas propriedades reológicas: tensão de escoamento e viscosidade. Os fluidos de Bingham obedecem à seguinte equação:

Equação 2

$$\tau = \tau_0 + \eta\gamma$$

Onde:

τ = tensão de cisalhamento (Pa)

τ_0 = tensão de escoamento (Pa)

η = viscosidade do material (Pa.s)

γ = taxa de cisalhamento (s^{-1})

A tensão de escoamento dos fluídos de Bingham equivale à tensão aplicada em condições muito próximas a taxas nulas de cisalhamento.

Machado (2012) fornece na Quadro 03, um quadro resumido com equações de estado, parâmetros reológicos, números de determinações experimentais necessárias para a determinação desses aspectos e exemplos para os modelos de fluxo.

Modelo	Equação	NDE*	Parâmetros	Exemplos
Newton	$\tau = \tau_0 + \gamma$	01	Viscosidade Dinâmica absoluta	Água, soluções, mel
Bingham	$\tau = \tau_0 + \eta\gamma$	02	Viscosidade plástica e limite de escoamento	Dispersões coloidais concentradas
Ostwald	$\tau = K\gamma^n$	02	Índice de consistência e índice de fluxo	Dispersões de polímeros e emulsões
Hershel-Buckley	$\tau = K\gamma^n + \tau_0$	03	K, n e τ_0	Dispersão de polímeros e/ou argilas
Robertson-Stiff	$\tau = a(\gamma + \gamma_0)^b$	03	a,b e γ_0	
Casson	$\tau^{1/2} = (\mu_\infty\gamma)^{1/2} + \tau_0^{1/2}$	02	μ_∞ e τ_0	Dispersões coloidias

Quadro 3 – Parâmetros reológicos e exemplos de fluidos não-newtonianos

*NDE = número mínimo de determinações experimentais.

Fonte: Adaptado de Machado (2002).

2.2.2 Comportamento reológico das argamassas colantes

Para Cardoso (2005), “O comportamento reológico das argamassas é complexo, já que, elas apresentam uma natureza bifásica (agregados e pasta) e reativa, que são características variáveis dependendo da finalidade (revestimento ou colante) e, ainda são submetidas a diversas solicitações nas etapas de mistura, aplicação e acabamento”.

Cardoso (2005) e Costa (2006) descrevem a argamassa colante como suspensões bifásicas concentradas compostas por uma fração grossa e inerte, os

agregados minerais, que são envolvidos por uma pasta fina e reativa, geralmente constituída de água, cimento e aditivos. A fração grossa seria formada por partículas com dimensão entre $100\mu\text{m}$ e 2mm . A parte fina seria composta por partículas inferiores a $100\mu\text{m}$. Na Figura 09 é apresentada uma ilustração esquemática da microestrutura da argamassa colante.

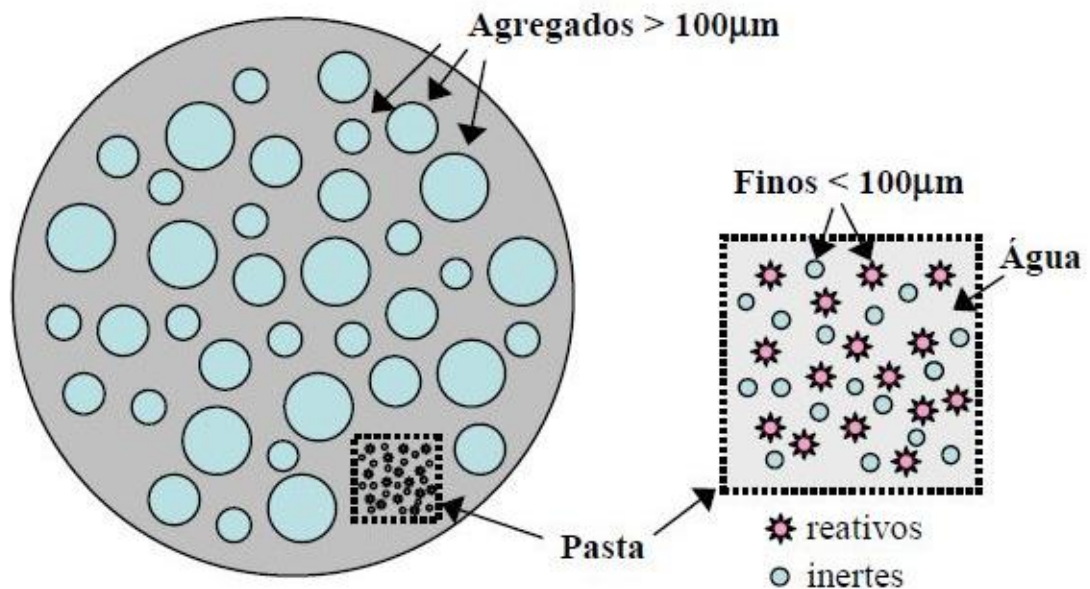


Figura 9 – Representação da microestrutura da argamassa colante

Fonte: Adaptado de Cardoso (2005).

A pasta assegura coesão ao sistema, além de lubrificação para o movimento dos agregados, permitindo assim, considerar que tais concentrações escoam como um fluido. Este efeito é devido, principalmente à diminuição do contato entre os agregados (COSTA, 2006). O escoamento da mistura e a viscosidade plástica são afetados diretamente pela natureza relativa às proporções de cimento, areia, água e aditivos adicionado na mistura (BANFILL, 2003).

Entre os métodos tradicionais de avaliação da reologia da argamassa destacam-se a mesa de consistência e o *dropping ball*, que fornecem informações pontuais sobre o perfil reológico das argamassas, mas na maioria das vezes são incapazes de diferenciar e identificar os comportamentos reológicos (CARDOSO et al., 2005; HOPPE et al., 2007).

Hoppe et al., (2007) apresentaram um estudo que comparou as técnicas de caracterização reológica para argamassas, apresentando os princípios físicos, e uma análise crítica de cada método. O Quadro 4 foi adaptado desse trabalho e apresenta uma resumo dos resultados encontrados.

Ensaio	Tipo de ensaio*	Parâmetro reológico relacionado	Argamassas				
			Alta consistência	Baixa consistência	Com fibras	Bombeáveis	Projetadas
Mesa de Consistência	Mono-ponto	Viscosidade	X	X	X		
Dropping	Mono-ponto	Tensão de escoamento	X				
Cone de penetração	Mono-ponto	Tensão de escoamento	X				
Gtec test	Mono-ponto	Viscosidade	X		X		
Flow cone	Mono-ponto	Viscosidade	X	X			
Plastometro de Voss	Mono-ponto	Viscosidade	X				
Vane test	Mono-ponto	Viscosidade	X	X	X		
<i>Squeeze flow</i>	Multiponto	Tensão de escoamento e Viscosidade	X	X	X		
Reômetros	Multiponto	Tensão de escoamento e Viscosidade	X	X	X	X	X

Quadro 4 – Finalidade das técnicas de caracterização reológica de argamassas frescas

*Mono-ponto: ensaio que está relacionado a uma taxa de cisalhamento, permitindo a mensuração indireta de um parâmetro fundamental (tensão de escoamento ou viscosidade)

Multiponto: ensaio que permite a determinação da tensão de escoamento e das viscosidades aparentes para as correspondentes taxas de cisalhamento.

Fonte: Adaptado de Hoppe et al., (2007).

2.2.3 Ensaio de *Squeeze flow* e *Pull out flow*

2.2.3.1 *Squeeze flow*

O ensaio de *Squeeze flow* é realizado em diferentes configurações e recebe denominações conforme elas. Ele é também utilizado em distintos ramos, como a indústria alimentícia, farmacêutica e cerâmica (BARBOSA, 2010).

Independentemente da configuração e do material analisado o método de ensaio de *Squeeze flow* consiste em medir o esforço de compressão axial, necessário para comprimir uma amostra, ou corpo-de-prova, cilíndrica de uma suspensão entre duas placas paralelas. Para a sua realização, é necessária uma máquina universal de ensaios (CARDOSO et al., 2005). A Figura 10 mostra a representação esquemática do método.

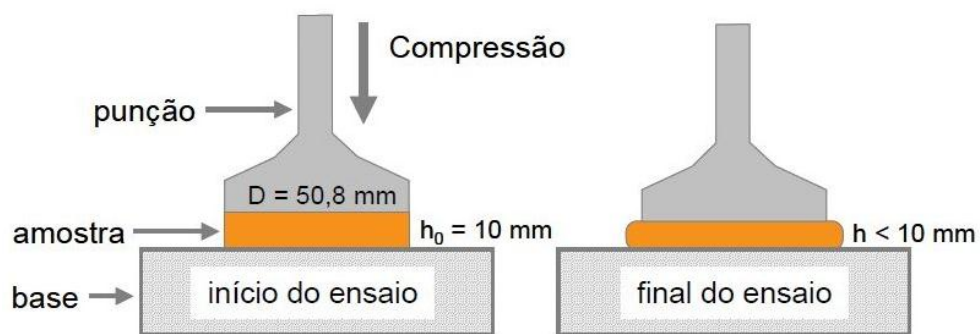


Figura 10 – Representação esquemática do ensaio de *Squeeze flow*

Fonte: Cardoso (2005).

Segundo Cardoso et al. (2005), o *Squeeze flow* pode ser realizado com diferentes taxas de cisalhamento, seja controlando-se o deslocamento de uma das placas ou das duas placas, ou através da força aplicada para a compressão, assim como oscilação e parâmetros de relaxação, fatores que contribuem para o mapeamento das propriedades reológicas.

O seu uso em materiais cimentícios foi iniciado por Min, Erwin e Jennings (1994). Posteriormente seu uso foi realizado em pastas de cimento e argamassas cimentícias. O método tem como vantagem possibilitar a simulação de diversas situações reais da aplicação de argamassas, identificando seus parâmetros reológicos (tensão de escoamento e viscosidade), mas apresenta como limitações: a sua restrição de utilização em obra, sendo possível utilizar a técnica somente em ambiente laboratorial e o alto custo da máquina necessária para o ensaio (CARASEK, 2007).

Segundo Kudo (2012), esse método é indicado para argamassas colantes porque simula as condições de aplicação do material sobre o substrato, quando ele é espalhado em decorrência de uma compressão realizada pela desempenadeira. O princípio do método está no fato de a deformação efetiva do material ocorre por cisalhamento radial quando a razão entre o diâmetro e a espessura da amostra for elevada ($D/h \gg 5$) (MEETEN, 2004).

As condições de atrito nas interfaces do material com as placas influenciam na sollicitação. Quando o atrito é baixo ou nulo a deformação é alongacional, mas quando o atrito é elevado ocorre deformação por cisalhamento (MEETEN, 2004). O atrito nas interfaces é alterado pelo uso de lixas ou fluidos lubrificantes.

No caso de argamassas mais fluídas, pode ocorrer um escoamento prematuro devido ao fato da altura de compressão não se manter constante. Uma solução para este escoamento é utilizar um molde restritivo que inibe o escoamento livre do material, sendo a carga aplicada por um punção de diâmetro inferior ao material confinado (MIN; ERWING; JENNINGS, 1994; CARDOSO et al., 2005; BETIOLI, 2007; BARBOSA, 2010; KUDO, 2012). Pode ocorrer nessa configuração o efeito parede (reação de força contrária ao molde) causando, assim, um fluxo turbulento ou ainda o transbordamento da pasta (KUDO, 2012).

As primeiras pesquisas adotando o molde restritivo foram realizadas por Min, Erwing e Jennings (1994), e o diagrama esquemático do ensaio de *Squeeze flow* é mostrado na Figura 11. Os autores obtiveram uma relação de 1,7 entre os diâmetros do punção e do anel de confinamento. A partir desse valor as forças de fluxo radial, devido ao confinamento, podem ser negligenciadas.

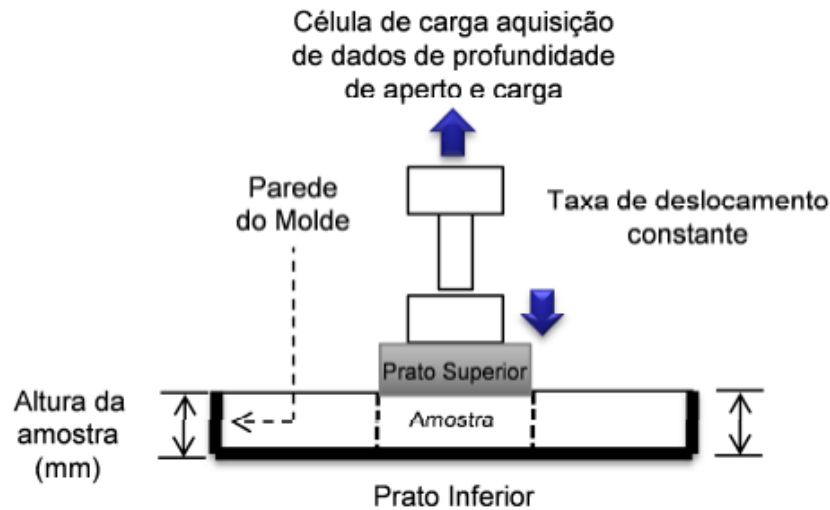


Figura 11 – Diagrama esquemático ensaio de *Squeeze flow* com molde restritivo

Fonte: Min, Erwing e Jennings (1994).

A imersão do punção, além de causar compressão na pasta, provoca ainda uma sobrecarga causada pela penetração, representando aumento de, aproximadamente, 15% na carga medida (MIN; ERWING; JENNINGS, 1994). Autores como Betioli, 2007, Cardoso, 2009 e Kudo (2012), desconsideram esse efeito de sobrecarga, já que ele pode ser explicado pelo fato de as amostras estarem sujeitas à mesma configuração de ensaio, ou seja, submetidas ao mesmo efeito de sobrecarga.

Kudo (2012) utilizou diferentes diâmetros de punção e de molde restritivo, ao utilizar a relação 1:4 e 1:3 (punção/molde), praticamente não foram encontradas diferenças entre as cargas de compressão e estas foram menores do que a relação 1:2, indicando que quanto maior a restrição, maior a carga de compressão. Pelos resultados encontrados neste mesmo estudo, a autora descreve como melhor configuração a relação diâmetro punção igual a 2,0, na qual foi utilizado um molde de 101,6mm (4 polegadas) e um punção de 50,8 mm (2 polegadas), mesma configuração utilizada no presente trabalho.

As dimensões da amostra, diâmetro (D) e a altura (h), influenciam no comportamento reológico, sendo que diferentes relações D/h geram diferentes níveis de tensões em um mesmo material. Quanto maior o valor de D/h maior será a resistência ao fluxo para um mesmo deslocamento (TOUTOU et al., 2005).

Além da geometria, a taxa de deslocamento da placa superior também pode influenciar no comportamento reológico. Em pequenas taxas de deslocamento, a amostra é solicitada por um tempo prolongado, possibilitando assim uma drenagem da parte fluída para fora do esqueleto granular, ou seja, segregação do material. Em contrapartida, maiores taxas de deslocamento não fornecem tempo suficiente para que ocorra esta segregação, proporcionando lubrificação no sistema e facilitando o fluxo radial, o que resulta em menores cargas para um mesmo deslocamento da placa (TOUTOU et al., 2005; CARDOSO, 2009).

No trabalho de Kudo (2012), ocorreu o contrário, as cargas de compressão necessárias para efetuar a deformação do material aumentaram com a taxa de deslocamento. As argamassas colantes são menos suscetíveis à segregação do que as argamassas de revestimento, em função da sua menor extensão granulométrica e da utilização de aditivo retentor de água/modificador de viscosidade (COSTA, 2006).

O perfil típico de um ensaio de *Squeeze flow* com controle de deslocamento, expresso por um gráfico de carga de compressão em (N) e deslocamento em (mm) apresenta três regiões bem definidas, conforme mostra a Figura 12 (MIN; ERWING; JENNINGS, 1994; CARDOSO, 2005).

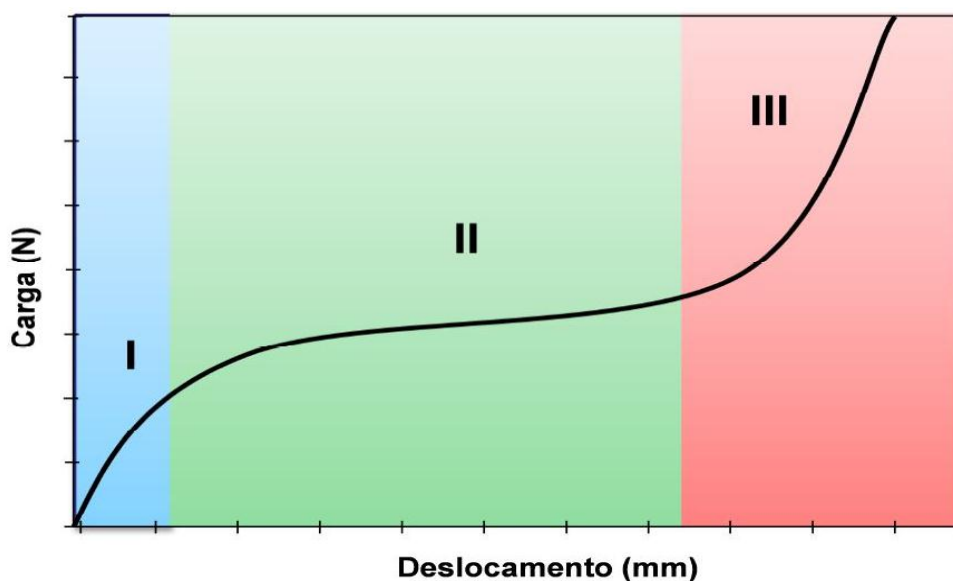


Figura 12 – Perfil típico de uma curva carga compressão versus deslocamento de um ensaio de *Squeeze flow* com controle de deslocamento

Fonte: Cardoso (2005).

Primeiro estágio: Na região I ocorre a deformação linear elástica, o material comporta-se como um sólido. Uma argamassa que apresente uma grande parte de seu comportamento neste estágio, possivelmente apresentará problemas de fissuração no estado fresco.

Segundo estágio: A região II equivale a deformação plástica ou fluxo viscoso. É uma faixa mais extensa em que o material sofre grandes deformações sem um aumento significativo da carga de compressão. Aparenta ser um comportamento apropriado para a aplicação da argamassa. A compressão resulta em deformação radial e alongacional e de cisalhamento, superando as formas que mantinham o material sob comportamento elástico.

Terceiro estágio: A região III é quando o material é submetido a grandes deformações, equivale ao enrijecimento, pode ocorrer um aumento expressivo da carga necessária para o deslocamento. A aproximação das partículas submetidas a grandes deformações gera forças restritivas ao fluxo devido ao embricamento e entrelaçamento delas. Provavelmente, é um estágio de comportamento em que procedimentos de aplicação e de acabamento do material são dificultados.

É importante considerar também a força de empuxo da placa superior, uma vez que penetra na amostra. Nos experimentos de Min, Erwin e Jennings (1994), o efeito do empuxo calculado foi de aproximadamente 15% a mais na interface placa superior/pasta. A força de empuxo pode ser calculada pela expressão.

Equação 3
$$E = \rho V g$$

Onde: ρ é a densidade da argamassa, V o volume da placa superior submersa na argamassa e g é a gravidade.

2.2.3.2 Pull out flow

Este método é executado após o ensaio de *Squeeze flow*, no mesmo corpo-de-prova, e consiste em determinar a resistência à tração no estado fresco. O ensaio de *Squeeze flow* simula a pressão exercida pelo profissional para esmagar

os cordões na aplicação da argamassa, já o *Pull out flow*, simula a tração, a adesão e o comportamento elongacional da argamassa no estado fresco.

Costa (2006) descreve cada etapa do ensaio de *Squeeze flow* seguido de *Pull out flow*, aplicado em argamassas colantes no estado fresco e descreve três estágios para avaliação do *Pull out flow* em função do tempo, conforme a Figura 13.

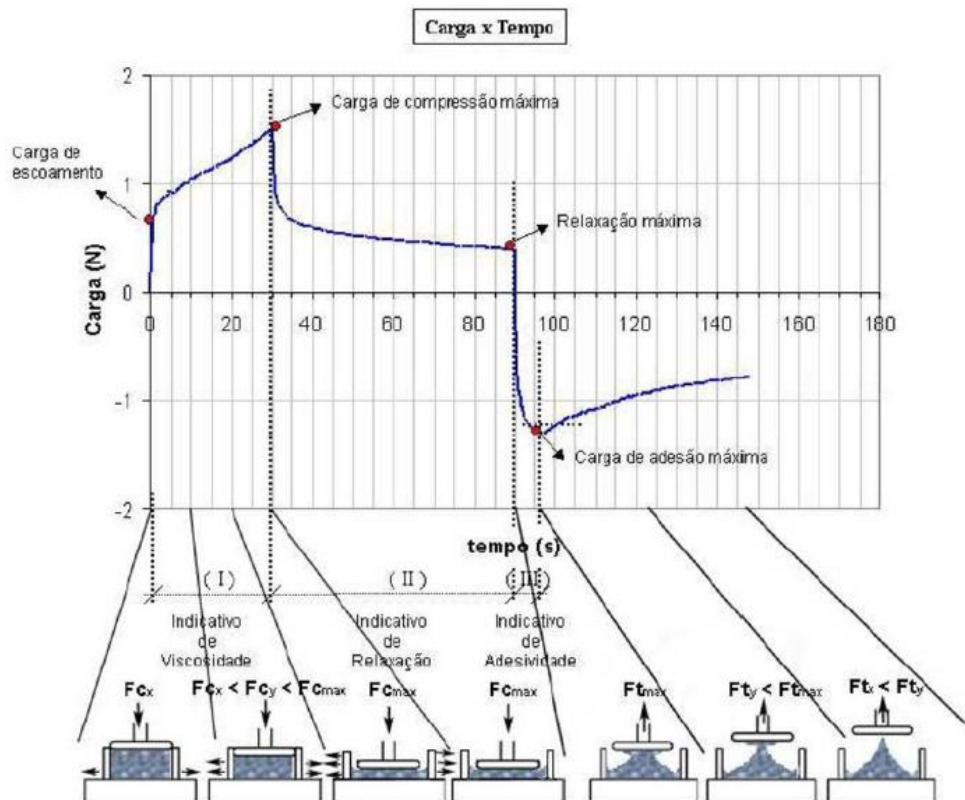


Figura 13 – Curva de carga tração versus tempo obtido nos ensaios de *Squeeze flow* e *Pull out flow*

Fonte: Costa (2006).

O estágio I: apresenta a evolução da carga de compressão e do deslocamento correspondente. Obtém-se nesse estágio a carga máxima de compressão para o deslocamento máximo previsto para o punção. Cargas de compressão altas indicam argamassas com maior viscosidade.

Estágio II: indica a relaxação do material após a aplicação da carga máxima, é a acomodação da argamassa após a solitação.

Estágio III: mostra a adesividade da argamassa, quanto maior a carga de adesão, maior a capacidade de a argamassa aderir à superfície do substrato ou ao tardo da cerâmica.

Esse teste consiste em separar duas placas entre as quais uma fina camada de amostra é comprimida e depois tracionada.

Kaci et al., (2011) descreve os estágios para a avaliação do método, de acordo com a Figura 14. O aumento da primeira força, zona 1, passa para a força máxima e depois diminui, zona 2, atingindo um platô, zona 3.

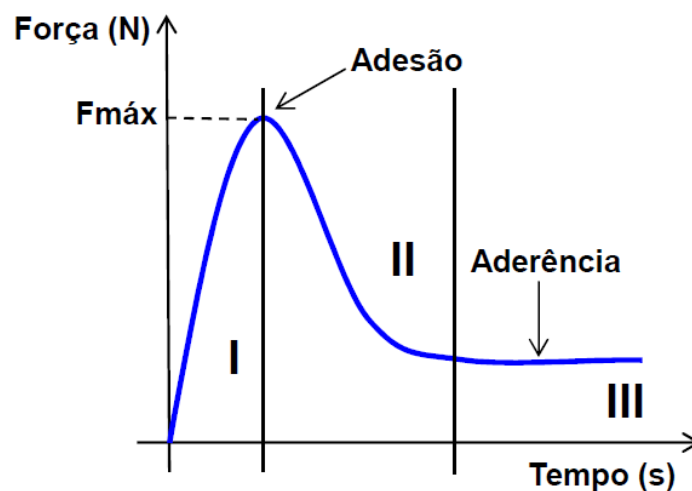


Figura 14 – Curva de tração versus tempo obtido no ensaio de *Pull out flow*

Fonte: Kaci et al., (2011).

As divisões de zonas podem ser definidas da seguinte maneira segundo Kudo (2012):

Zona 1: exibe o comportamento elástico, o pico determina a força adesiva da argamassa.

Zona 2: ocorre ruptura e fluxo interno da amostra em direção ao centro da placa, analisa-se então a decadência nessa zona, que permite caracterizar a ruptura da argamassa.

Zona 3: Processo de ruptura é concluído, o valor médio do patamar está relacionado com o material que permanece aderido sobre a placa superior.

3 METODOLOGIA

Para que os objetivos propostos fossem alcançados, foi elaborado um programa experimental, definindo-se as variáveis de estudo, suas limitações, as melhores técnicas para testar e interpretar os resultados, de acordo com a estrutura laboratorial disponível.

A principal variável analisada foi a influência da reologia da argamassa no seu estado fresco, na determinação do tempo de consolidação, e, posteriormente, em sua resistência de aderência. Para tanto, foram escolhidas argamassas colantes industrializadas dos tipos ACI, ACII e ACIII, de três fabricantes diferentes, estes selecionados em função da disponibilidade nas lojas de materiais de construção da região de Santa Maria - RS, e que também fossem reconhecidos como as marcas que mais são utilizadas no mercado.

A fim de facilitar a interpretação, as argamassas do Fabricante A serão designadas por um traço e a letra A após o tipo de argamassa, exemplo: ACI – A. Para o Fabricante B, após o traço será utilizada a letra B e para o Fabricante C corresponderá a letra C após o tipo da argamassa, por exemplo: ACI – B, ACI – C.

A Figura 15 apresenta um resumo dos ensaios de caracterização realizados nas argamassas colantes, nos seus estados anidro, fresco e endurecido.

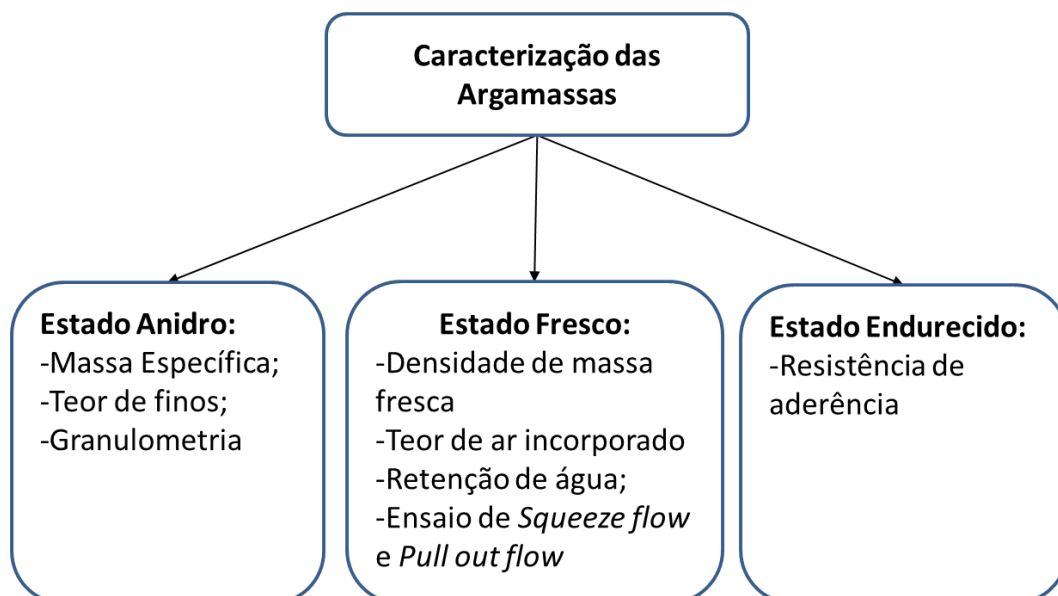


Figura 15 – Ensaios propostos

3.1 Caracterização da argamassa no estado Anidro

Com a finalidade de se conhecer o material a ser estudado e diferenciar as argamassas, foram realizados ensaios no seu estado anidro.

3.1.1 Massa específica

A massa específica das argamassas foi determinada através da relação entre a massa da amostra e seu volume determinado no frasco volumétrico Le chatelier, de acordo com a NBR NM 23 (ABNT, 2001). Foi utilizado como reagente a querosene, por esta não reagir quimicamente com o material. Os frascos ficaram submersos em banho termorregulador por 30 minutos na temperatura de 23°C. E foi realizada a primeira leitura V1. Colocou-se 50g do material em pequenas quantidades com o auxílio do funil, e, posteriormente, foi feita a segunda leitura V2.

A massa específica do material é calculada pela seguinte fórmula:

Equação 4
$$\rho = \frac{m}{V}$$

Onde:

ρ = massa específica em gramas por centímetros cúbicos;

m = massa de material ensaiado em gramas; e

V = volume deslocado pela massa de material (V_2-V_1) em centímetros cúbicos.

3.1.2 Determinação da densidade de massa aparente

O ensaio de determinação da densidade de massa aparente é normalizada pela NBR 14086 (ABNT, 2004). É recomendado para a sua execução a utilização de um recipiente com volume de (400 ± 1) mL. No ensaio 1kg de argamassa colante é

homogeneizada e transferida para o recipiente padrão utilizando-se uma concha apoiada em sua borda.

A principal variável de ensaio é o adensamento da argamassa colante durante o ensaio, que depende da velocidade de queda da argamassa colante e da execução do arrasamento. O adensamento vai depender da forma dos grãos de areia, da distribuição do diâmetro das partículas e da proporção aglomerante/agregado. Na prática, esse valor é utilizado no proporcionamento da água de amassamento e na conversão de quantidades em massa para quantidades em volume.

Esse valor também é utilizado para calcular o teor de ar incorporado em argamassas convencionais no estado fresco, conforme demonstra a NBR 13278 (ABNT, 2005) e ainda para cálculo do índice de vazios na argamassa anidra.

3.1.3 Teor de finos

O teor de finos foi determinado pelo material passante na peneira nº 200 de abertura 75µm, em equipamento de vibração mecânica, para proporcionar o peneiramento do material.

Cada amostra de 500g foi colocada no peneirador por um período de 10 minutos e posteriormente as partes passantes e retidas foram separadas pesadas e colocadas em recipientes vedados para que não ocorresse contato com umidade. Após o ensaio as peneiras foram limpas com ar comprimido, afim de que uma amostra não contaminasse as demais.

É importante lembrar que um teor alto de finos pode indicar uma dosagem maior de cimento e aditivos na argamassa se comparada a outra com um teor menor.

3.1.4 Granulometria

A distribuição granulométrica da argamassa colante é importante, já que o tamanho das partículas e a proporção em que elas se encontram distribuídas

influenciam no comportamento reológico da argamassa e também na sua aplicação, dificultando ou facilitando a formação dos cordões.

A granulometria dos materiais retidos na peneira nº 200 foi realizada através do ensaio de peneiramento, utilizando-se peneiras da série normal da ABNT, a partir da peneira #30 até a peneira #100.

Já a parte passante na peneira nº 200, por se tratar-se de um material fino, foi realizada por granulometria a laser.

3.2 Ensaio no estado fresco

Para a preparação da argamassa colante foi seguido o procedimento descrito na NBR 14081-2 (ABNT, 2012), que preconiza a introdução do pó na água, utilizando um misturador do tipo planetário com velocidade de baixa rotação (140 rpm) com capacidade de 5 litros.

O teor de água utilizado em cada argamassa seguiu o especificado nas embalagens pelos fabricantes. Após a mistura, os produtos apresentaram-se homogêneos, sem indícios de grumos ou falhas no processo.

O Quadro 5 mostra as informações presentes nas embalagens dos fabricantes. O tempo de maturação foi o mesmo para todas as amostras: 15 minutos.

Tipo Argamassa	Fabricante A Água/argamassa (%)	Fabricante B Água/argamassa (%)	Fabricante C Água/argamassa (%)
ACI	0,235	0,215	0,225
ACII	0,225	0,220	0,210
ACIII	0,215	0,300	0,215

Quadro 5 – Informações da relação água/argamassa contidas na embalagem

3.2.1 Densidade de massa fresca e teor de ar incorporado

Neste ensaio utilizou-se o mesmo recipiente da densidade de massa no estado anidro, de volume igual a 400 ± 1 ml. A argamassa após preparada, conforme a NBR 14081-2 (ABNT, 2012), foi introduzida dentro do recipiente em três camadas de alturas iguais. Em cada camada aplicou-se 20 golpes com uma espátula para auxiliar no adensamento, após foram aplicados mais cinco golpes ao redor da parede externa do recipiente por meio de um soquete, para também garantir o adensamento do material e retirar o ar aprisionado.

Por fim, foi realizado o arrasamento do recipiente com uma régua metálica passada em dois sentidos ortogonais. A densidade de massa é a diferença entre as massas do recipiente cheio e vazio divididos pelo seu volume.

O ar incorporado na argamassa depende de muitos fatores como o tipo de mistura utilizada, tipo de agregado, tipo de cimento, utilização de adições e aditivos. O ar incorporado é calculado conforme recomenda a NBR 13278 (ABNT, 2005) através da massa específica da argamassa obtida conforme a NBR NM23 (ABNT, 2001) e da densidade de massa fresca.

O ensaio de teor de ar incorporado foi realizado como recomenda a NBR 13278 (ABNT, 2005), este é determinado pela equação:

Equação 5
$$A = 100\left(1 - \frac{d}{d_t}\right)$$

Onde:

d = é o valor de densidade de massa da argamassa real, em gramas por centímetro cúbico.

d_t = é o valor da densidade de massa teórica da argamassa, em gramas por centímetro cúbico.

Para argamassas industrializadas a densidade de massa teórica deve ser calculada pela equação:

Equação 6

$$d_t = \frac{m_s + m_{\text{água}}}{\frac{m_s}{\gamma_s} + m_{\text{água}}}$$

Onde:

m_s = é a massa da argamassa anidra;

$m_{\text{água}}$ = é a massa de água que compõe a argamassa fresca;

γ_s = é a massa específica da argamassa anidra.

3.2.2 Retenção de água

A retenção de água de argamassas convencionais é determinada através do ensaio proposto pela NBR 13277 (ABNT, 2005), que consiste em determinar a quantidade de água retirada de uma argamassa contida em um funil de filtragem (funil de Büchner), após a aplicação de uma sucção por meio da utilização de uma bomba de vácuo de baixa pressão à uma pressão de 50 m Hg, durante 15 minutos. O ensaio foi realizado para outros tempos (30, 45 e 60 minutos), além do estipulado na norma, para que fosse avaliada alguma tendência de retenção de água com o passar do tempo, e verificar a influência dessa com o tempo em aberto.

A Figura 16 mostra os equipamentos utilizados no ensaio.



Figura 16 – Funil de Büchner, equipamento utilizado no ensaio de retenção de água

Fonte: Próprio.

3.2.3 Procedimentos dos ensaios de *Squeeze flow* e *Pull out flow*.

Nos ensaios de *Squeeze flow* e *Pull out flow*, foi utilizada uma prensa universal da marca Shimadzu modelo AGS-X, com capacidade de 5KN. Foi utilizada no equipamento uma célula de carga de 500 N para uma maior sensibilidade. O software utilizado capturou 5 pontos por segundo.

O molde utilizado para as amostras foi fabricado em PVC, com 101 mm (4 polegadas) de diâmetro interno e 10 mm de altura. O punção utilizado apresentava diâmetro de 50,8 mm (2 polegadas), mantendo-se a proporção 1:2, semelhante a utilizada por Kudo (2012). A taxa de deslocamento do punção foi de 0,1mm/s. A Figura 17 mostra a configuração utilizada no ensaio.

As argamassas foram avaliadas nos intervalos de 30 a 300 minutos após a mistura. Os tempos foram adotados nesta sequência, devido à indicação de utilização da argamassa de até 150 minutos após a mistura. Após a mistura e entre um teste e outro, elas permaneceram em um recipiente não absorvente coberto por pano úmido.

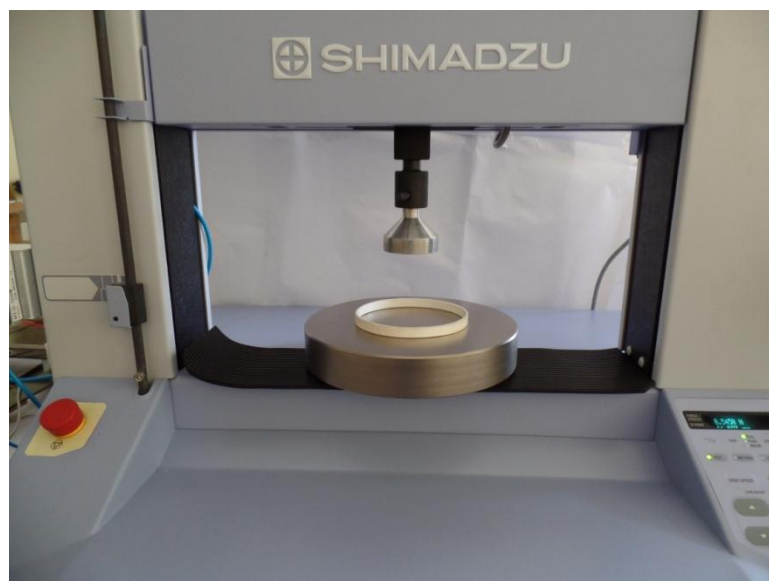
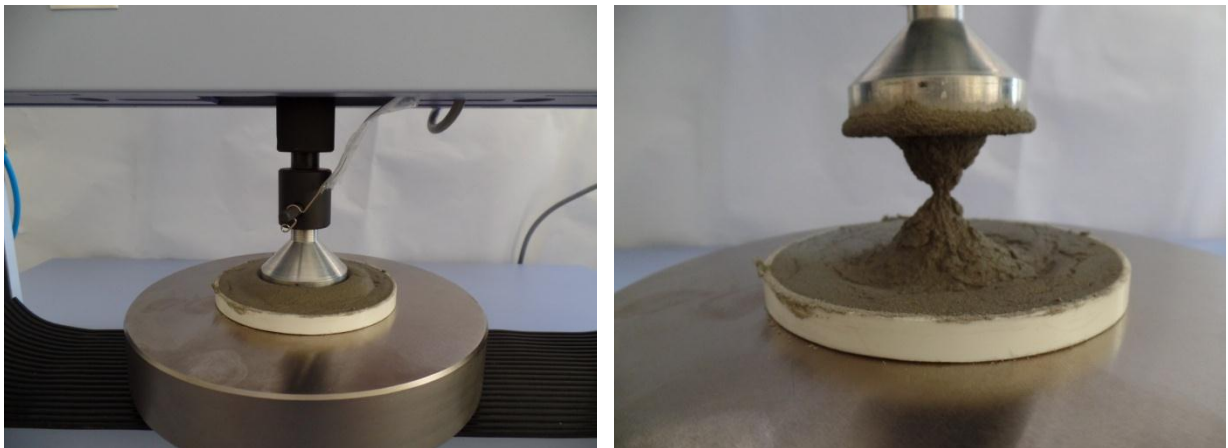


Figura 17 – Configurações utilizadas no ensaio

Fonte: Próprio.

Para a execução dos ensaios, posiciona-se o punção sobre a amostra, sem pré-carga, e então é aplicada a compressão na taxa de 0,1mm/s, até um deslocamento de 9mm. Após esse percurso, o punção fica estacionado por 3 minutos para a relaxação da amostra e, por fim, é tracionado até a ruptura da estrição. A Figura 18 mostra a compressão da amostra e a estrição causada pela tração do punção.



a) b)
Figura 18 – Ensaio reológico: a) *Squeeze flow* – compressão da amostra. b) *Pull out flow* – estrição da argamassa

Na mesma amostra são realizados os ensaios de *Squeeze flow* (compressão), e *Pull out flow* (tração).

3.3 Ensaio no estado endurecido

3.3.1 Resistência de aderência à tração

O ensaio de aderência à tração é normalizado pela NBR 14081-4 (ABNT, 2012), sendo utilizado como substrato a placa padrão adquirida junto a Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP).

Segundo a NBR 14081-1 (ABNT, 2012), a resistência de aderência à tração é determinada em idade e condições de cura determinadas, do conjunto constituído do substrato padrão, da argamassa colante endurecida e da placa cerâmica.

Para a execução do ensaio, deve-se primeiro limpar bem o substrato padrão com uma escova para retirar todo o pó que possa estar aderido. Posteriormente, aplica-se a imprimação do substrato e então estende-se os cordões de argamassa colante sobre ele. Transcorrido o tempo de 20 minutos, tempo especificado pela NBR 14081-1 (ABNT, 2012), posiciona-se as 10 pastilhas cerâmicas de 50x50 mm sobre os cordões, coloca-se sobre as placas cerâmicas um peso padrão de 2 kg durante 30s. Depois da retirada das massas padrão, retira-se os cordões excedentes, deixando-se aproximadamente 1,0 cm de cordão ao redor das placas. As placas cerâmicas utilizadas no ensaio são do tipo BIII e devem apresentar absorção de água de $15\pm 3\%$.

Os conjuntos devem ser mantidos durante 28 dias em condição de cura conforme a norma descreve. Para este trabalho foi utilizada a cura em ambiente de laboratório. Por fim procede-se o ensaio de arrancamento por tração.

Após o ensaio de arrancamento, deve-se verificar e descrever o tipo de ruptura e a sua porcentagem aproximada, conforme descrito abaixo e ilustrado na Figura 19 (NBR 14081-3, ABNT, 2012).

- A) Ruptura no substrato (S);
- B) Ruptura na interface argamassa substrato (S/A);
- C) Ruptura da camada de argamassa (A);
- D) Ruptura na interface argamassa e placa cerâmica (A/P)
- E) Ruptura da placa cerâmica (P);
- F) Falha na colagem da peça metálica (F).

Desconsidera-se os resultados obtidos para as rupturas dos tipos: S, P e F.

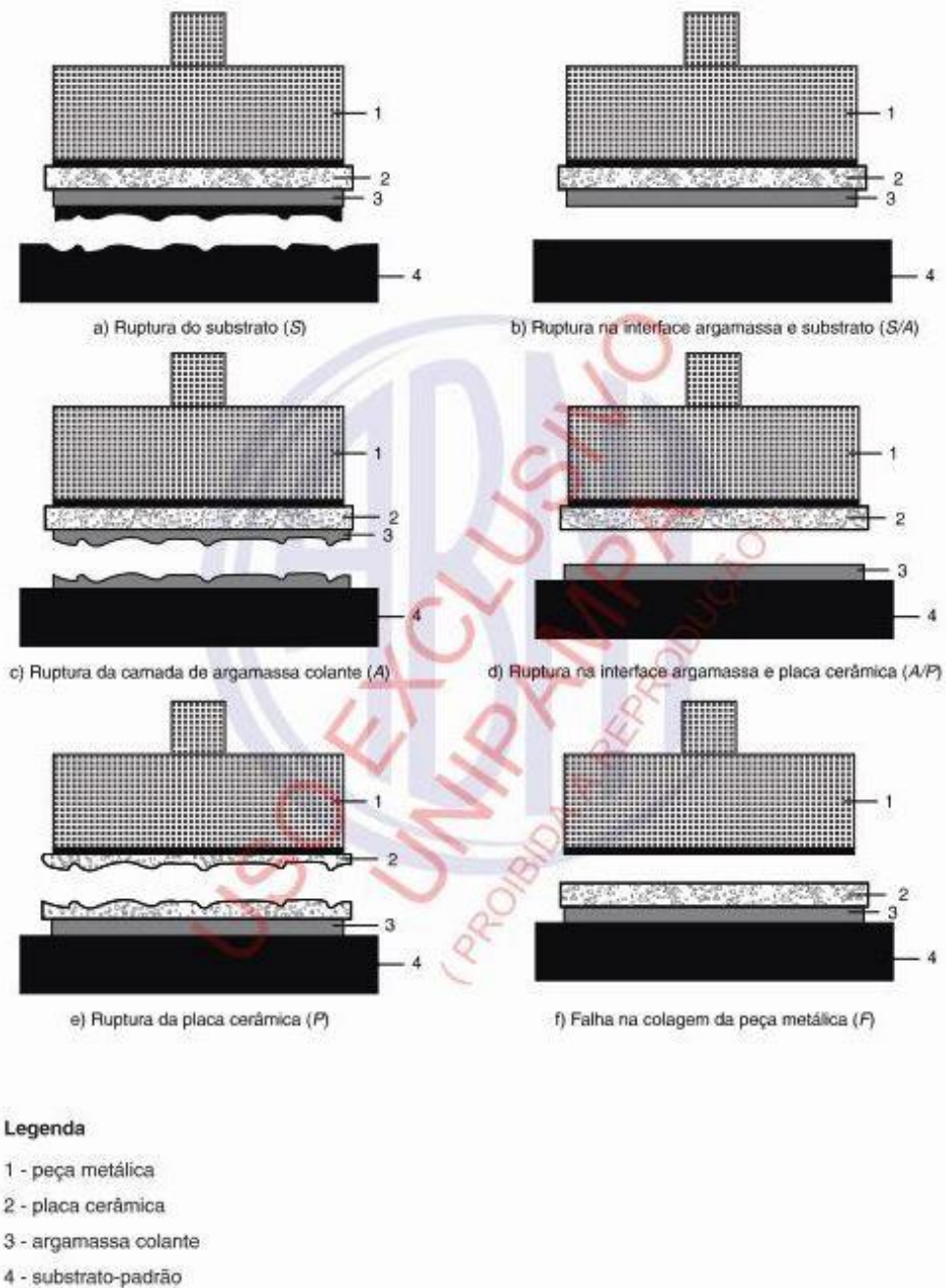


Figura 19 – Modos de ruptura

Fonte: NBR 14081-3 (ABNT, 2012).

Para médias iguais e superiores a 0,30 MPa, descarta-se todos os resultados que se distanciarem mais de 20% da média. Para média inferior a 0,30 MPa, descarta-se os resultados que se distanciarem da média mais que 0,06 MPa. Com os resultados remanescentes, calcula-se a média final arredondada a primeira casa

decimal. O valor obtido deve ser comparado com 0,5 MPa. A Figura 20 mostra o substrato padrão com as placas assentadas, logo após a execução.



Figura 20 – Substrato padrão com as placas cerâmicas

Fonte: Própria.

4 RESULTADOS E DISCUSÕES

Neste capítulo serão apresentados os resultados e detalhes de tratamento dos dados, obtidos com a execução do planejamento experimental.

4.1 Caracterização das argamassas no estado anidro

4.1.1 Massa específica, aparente e teor de finos

Cada argamassa foi caracterizada no estado anidro, com o objetivo de se verificar as diferenças entre elas. O Quadro 6, mostra as médias dos resultados dos ensaios de massa específica, massa aparente e teor de finos (partículas menores que 0,075mm) e índice de vazios, encontrados para as argamassas estudadas. Foram realizadas duas repetições para cada ensaio.

Fabricante	Tipo	Massa Específica (g/cm ³)	Massa Aparente (g/cm ³)	Teor de Finos (%)	Índice de Vazios (%)
A	ACI	2,72	1,37	15,87	0,50
	ACII	2,68	1,30	20,67	0,51
	ACIII	2,67	1,30	31,78	0,51
B	ACI	2,72	1,39	13,90	0,49
	ACII	2,65	1,33	18,08	0,50
	ACIII	2,69	1,36	35,40	0,49
C	ACI	2,65	1,38	13,02	0,48
	ACII	2,65	1,38	19,61	0,48
	ACIII	2,68	1,35	20,26	0,50

Quadro 6 – Resultados encontrados para os ensaios de massa específica, aparente e teor de finos

Na Figura 21 é mostrado o teor de finos, passante e retido na peneira 200, de cada uma das argamassas estudadas. As argamassas colantes ACI tem uma menor quantidade de material passante na peneira 200 do que as ACII e essas, do que as ACIII. Uma maior quantidade de finos pode indicar uma dosagem maior de cimento e aditivos, como também de filler.

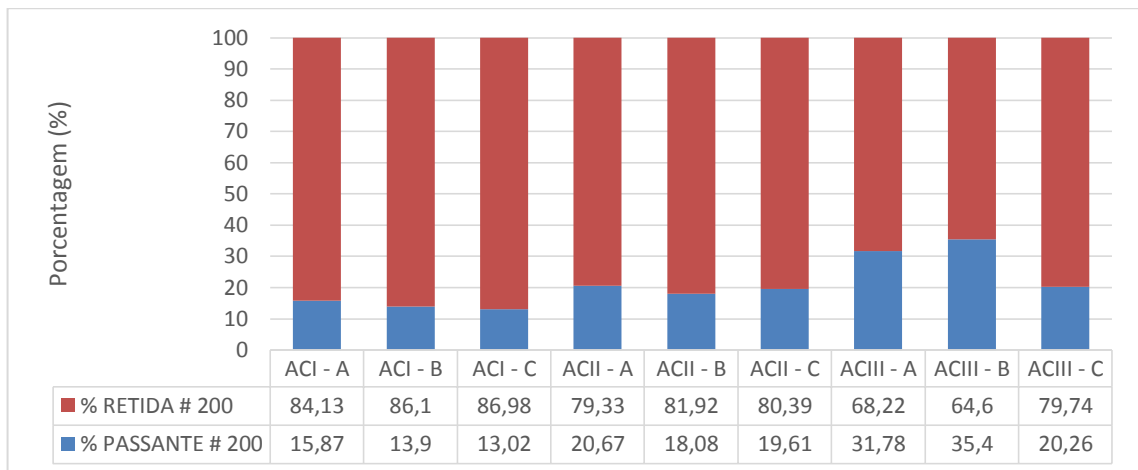


Figura 21 – Finos passantes na peneira #0,075 mm

4.1.2 Análise granulométrica

A análise granulométrica do material (cimento, aditivo, filler e agregado) que compõe as argamassas colantes foi definida pelo ensaio de peneiramento até a peneira de abertura 0,075 mm (#200).

Para uma análise mais detalhada da fração retida na peneira de abertura 75µm, pode-se separar as porcentagens retidas em cada peneira. A Figura 22 apresenta as porcentagens retidas nas peneiras 30, 50, 100 e 200.

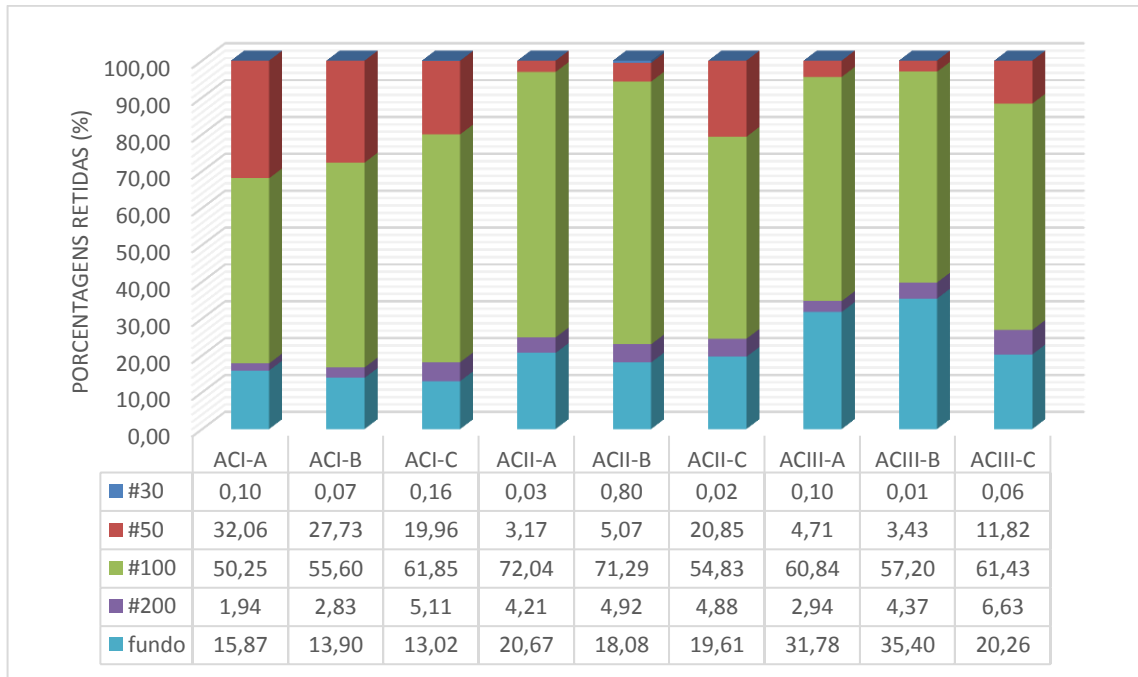


Figura 22 – Porcentagens retidas em cada peneira

Observando-se as porcentagens retidas em cada peneira, verifica-se que a maior parte do material se encontram na faixa da peneira 100. A fração graúda das argamassas dos fabricantes A e B são semelhantes, apresentando as mesmas variações nos tipos de argamassas colantes. Já as argamassas do fabricante C apresentam a mesma distribuição, independentemente do tipo de argamassa estudada. Em todas as argamassas, a porcentagem de material retido na peneira de abertura de 600 μ m (#30) não ultrapassou 1%.

4.2 Ensaio no estado fresco

O Quadro 7 mostra os resultados de densidade de massa real e teor de ar das argamassas colantes.

Fabricante	Tipo	Densidade Real (g/cm ³)	Teor de ar (%)
A	ACI	1,65	20,17
	ACII	1,70	18,00
	ACIII	1,67	18,97
B	ACI	1,67	19,91
	ACII	1,61	21,16
	ACIII	1,64	15,25
C	ACI	1,67	17,88
	ACII	1,64	20,39
	ACIII	1,63	21,09

Quadro 7 – Resultados de densidade real e teor de ar incorporado

4.2.1 Retenção de água

O ensaio de retenção de água foi realizado utilizando-se a metodologia da NBR 13277 (ABNT, 2005). A norma especifica o tempo de 15 minutos de vácuo para a medida da retenção. Com objetivo de se analisar o que ocorre com a retenção de água com o passar do tempo, o ensaio foi realizado também nos tempos de 30, 45 e 60 minutos. Os resultados foram avaliados para cada tipo de argamassa colante de cada fabricante analisado, a fim de facilitar a comparação entre eles.

As Figuras 23, 24 e 25 mostram os resultados da retenção de água das argamassas colantes dos tipos ACI, ACII e ACIII.

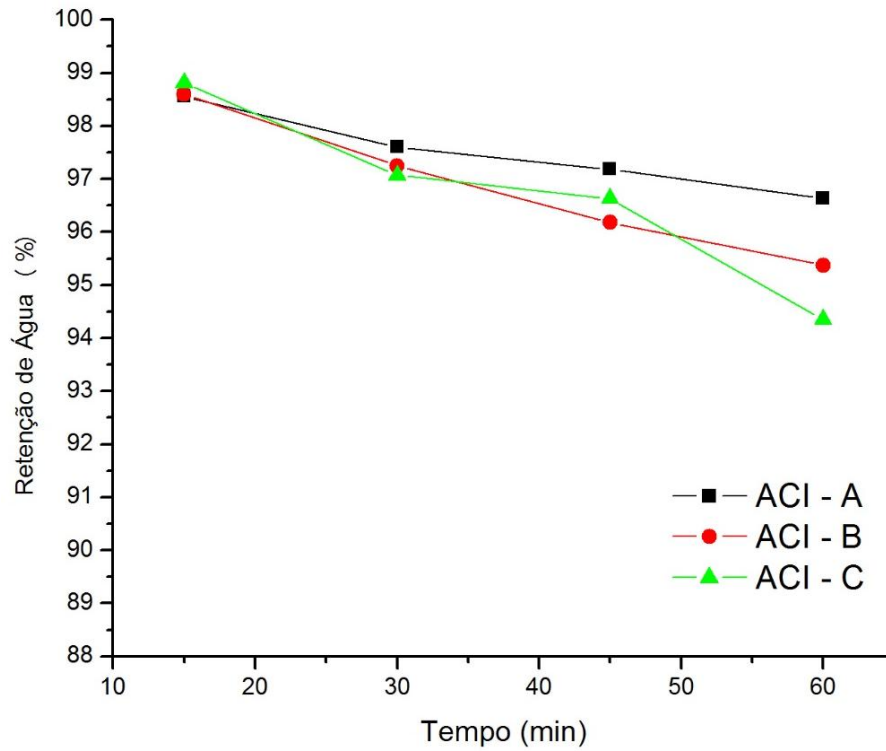


Figura 23 – Retenção de água das argamassas colantes ACI

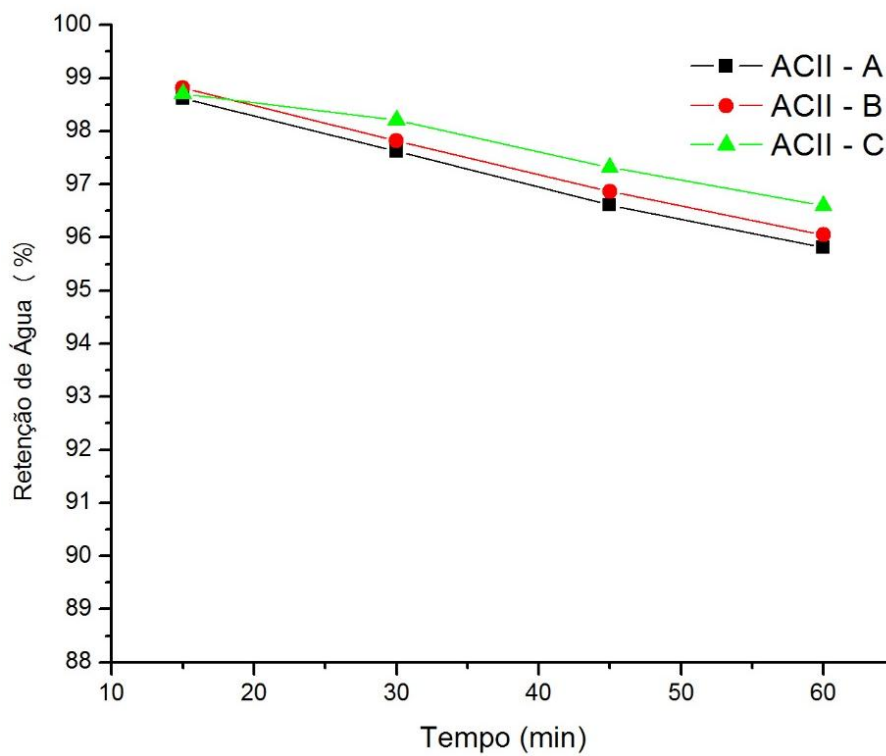


Figura 24 – Retenção de água das argamassas colantes ACII

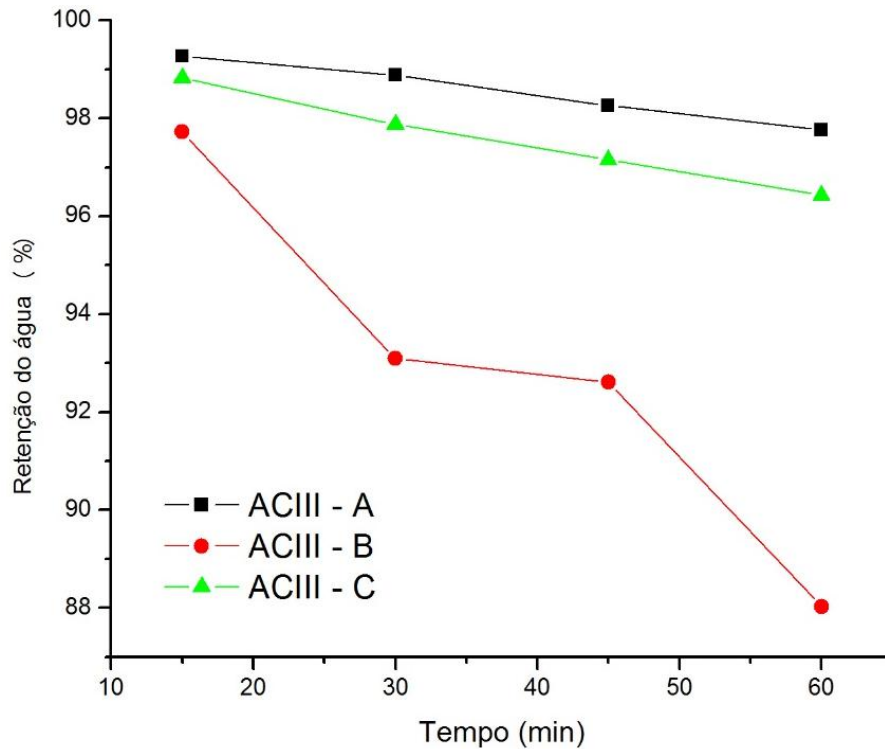


Figura 25 – Retenção de água das argamassas colantes ACIII

Para as argamassas colantes do tipo ACI a do Fabricante A apresentou a menor retenção no passar do tempo de ensaio, apesar de no tempo de ensaio normalizado (15 minutos) apresentar uma retenção menor que as demais. A argamassa colante ACI – C foi a que apresentou a maior queda na retenção durante o período monitorado.

A argamassa colante ACII – A apresentou a maior queda na retenção de água, quando se compara com as argamassas colantes do tipo ACII - B e a ACII – C, que apresentaram a menor perda.

Já os resultados da argamassa colante do tipo ACIII, mostram que a ACIII – B teve a maior queda de retenção de água, distante das demais argamassas colantes, o que pode ter sido causada pelo maior teor de finos, o menor teor de ar incorporado e a maior demanda de água especificada pelo fabricante, quando comparada com as demais ACIII.

A Figura 26 mostra todos os resultados de retenção. Todas as argamassas apresentaram queda na retenção de água com o passar do tempo, sendo a argamassa colante ACIII do Fabricante A é a que apresentou a maior retenção e a

argamassa colante ACIII, do Fabricante B, a que apresentou a menor retenção e está apresentou também a maior queda na retenção no período estudado.

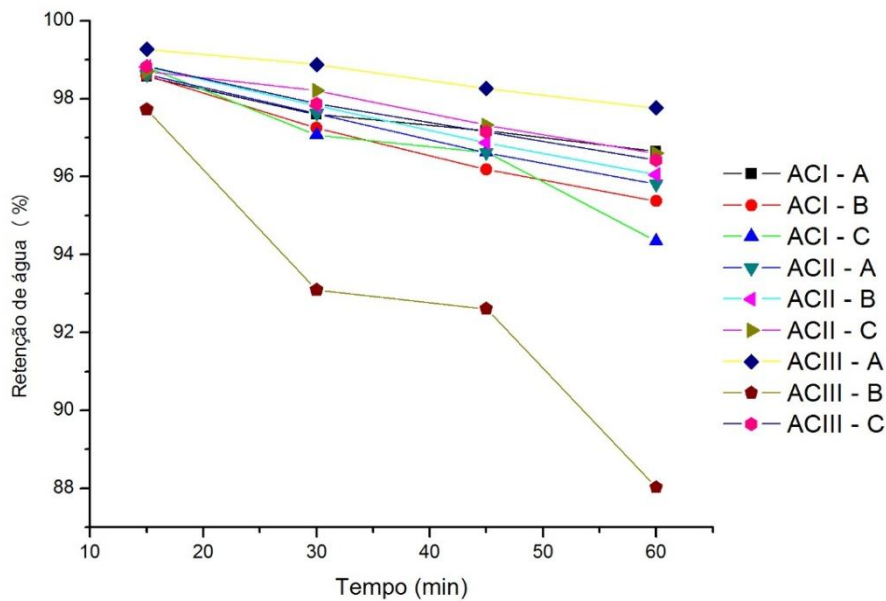


Figura 26 – Retenção de água das argamassas colantes

4.2.2 Ensaio de *Squeeze flow* e *Pull out flow*

Os ensaios foram realizados com a argamassa colante 30 minutos após o contato dela, anidra, com a água.

A Figura 27 mostra os resultados dos ensaios de *Squeeze flow* e *Pull out flow* das argamassas colantes do tipo ACI dos Fabricantes A, B e C.

Pode-se observar, no ensaio de *Squeeze flow*, um comportamento muito semelhante das argamassas ACI – B e ACI – C. As curvas ficaram praticamente sobrepostas. A argamassa ACI – A, necessitou de uma carga máxima de compressão maior do que as demais, provavelmente ela apresentará maior dificuldade ao espalhamento e deformação dos cordões. O mesmo comportamento é visualizado no ensaio de *Pull out flow*, a argamassa ACI – A apresentou uma adesão maior do que as demais.

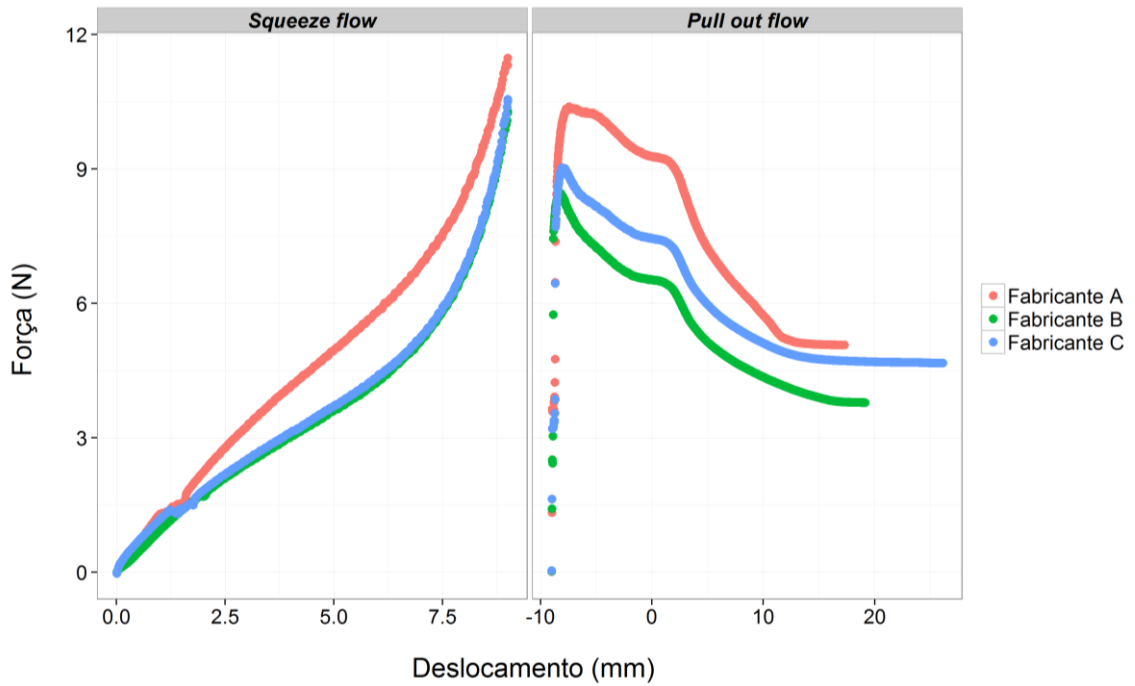


Figura 27 – Ensaio de *Squeeze flow* e *Pull out flow* argamassas colantes ACI

A Figura 28 mostra os resultados encontrados para as argamassas ACII.

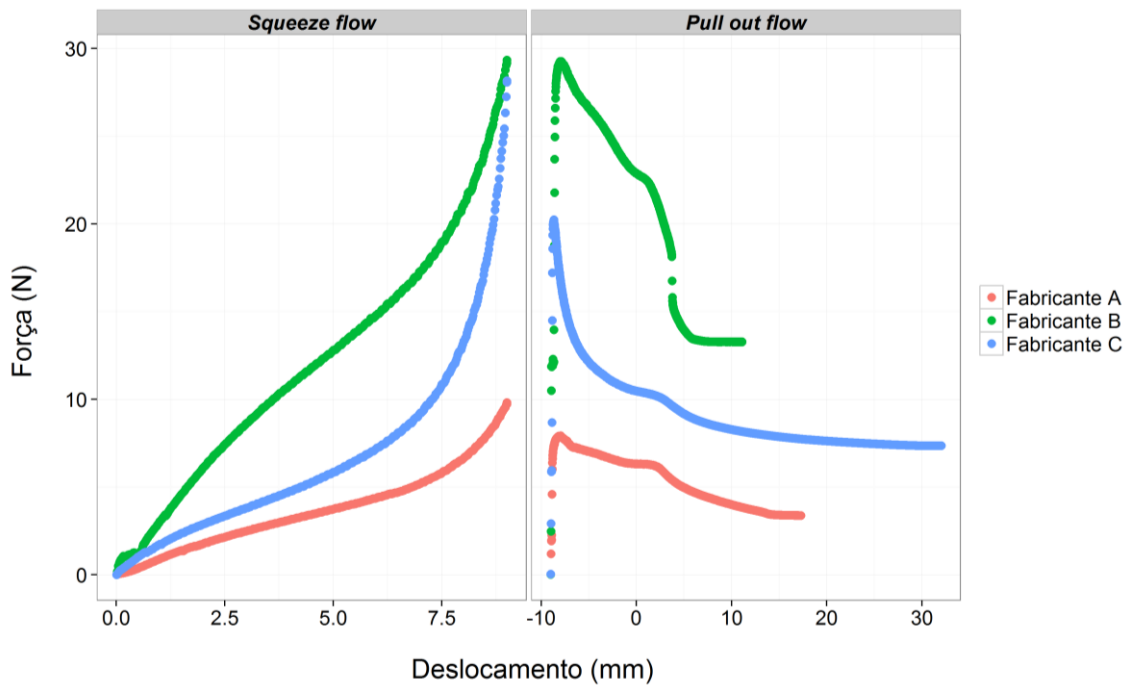


Figura 28 – Ensaio de *Squeeze flow* e pull-out-flow argamassas colantes ACII

Os resultados das argamassas ACII indica uma diferença no comportamento entre as três argamassas analisadas. A argamassa ACII – B apresentou um comportamento mais rígido, menos plástico que as demais. Observa-se que esta foi a que apresentou a menor quantidade de material fino passante na peneira 200, o que pode indicar uma quantidade menor de aditivos poliméricos que as demais. Já a ACII – A apresentou novamente o comportamento mais plástico. A justificativa também é a maior relação água/argamassa especificada por seu fabricante.

A Figura 29 mostra os resultados encontrados para as argamassas colantes do tipo ACIII.

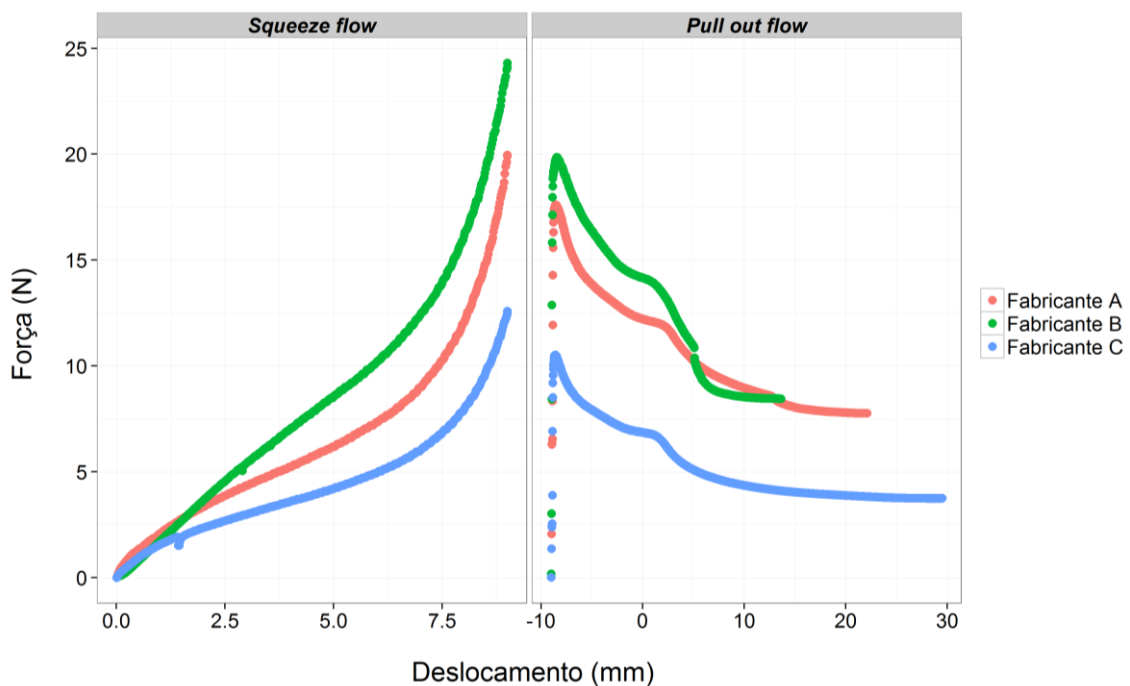


Figura 29 – Ensaio de *Squeeze flow* e *Pull out flow* das argamassas colantes ACIII

As argamassas ACIII – A e ACIII – C mostraram um comportamento semelhante, seus fabricantes indicaram uma mesma quantidade de água, mas no ensaio de teor de finos a argamassa colante ACIII – A teve um percentual bem superior (31,78%) do que o encontrado na argamassa ACIII – C (20,26%). A Argamassa colante ACIII – B, apesar de especificar uma maior quantidade de água do que as demais para a sua mistura e um maior teor de finos apresentou um comportamento menos plástico.

A Figura 30 mostra os resultados das argamassas colantes dos Fabricante A, B e C.

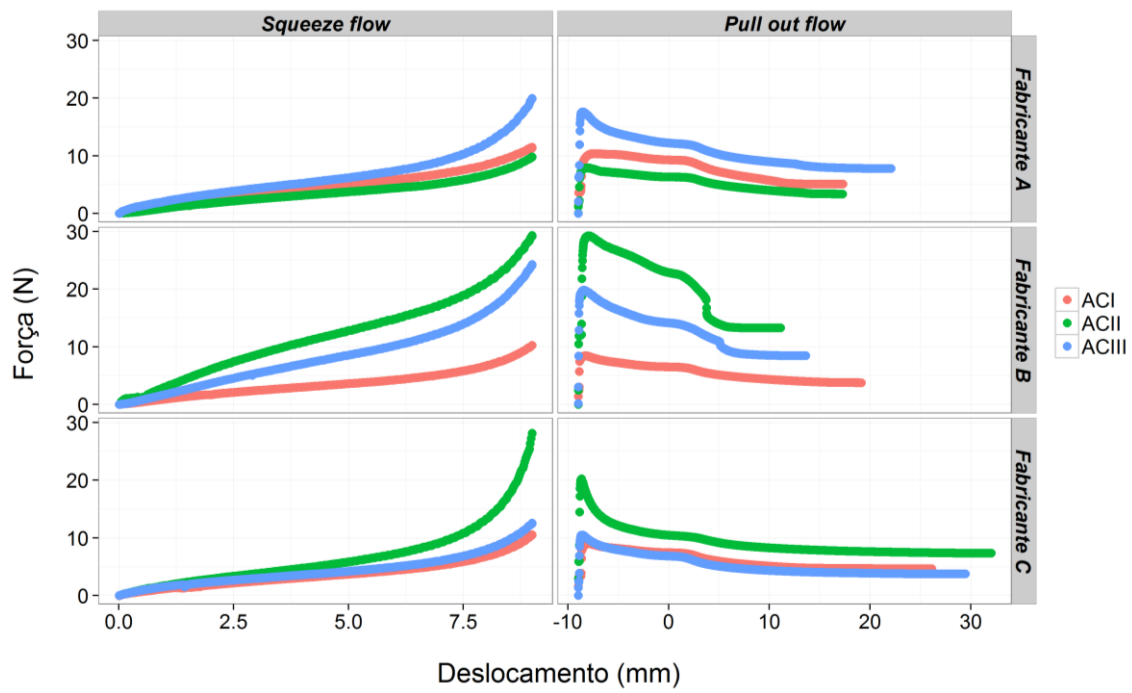


Figura 30 – Ensaio de *Squeeze flow* e *Pull out flow* das argamassas colantes separadas por fabricante

Para as argamassas do Fabricante A, a força necessária para o deslocamento da ACIII é maior do que da ACII e está maior do que a da ACI, o mesmo comportamento não é identificado nos demais fabricantes, sendo para estes, a argamassa colante ACII a apresentar-se mais rígida. As argamassas do Fabricante B têm cada uma delas um comportamento distinto, já para o Fabricante C, as argamassas do tipo ACI e ACIII apresentam perfil semelhante.

Essas diferenças entre os fabricantes indicam que mesmo as argamassas apresentando a mesma classificação, segundo a NBR 14081 (ABNT, 2012), suas características reológicas são distintas e devem ser analisadas individualmente.

As Figuras mostram que os ensaios de *Squeeze flow* e *Pull out flow*, são complementares e sensíveis para identificar o comportamento das argamassas. Aquelas argamassas que apresentaram um comportamento mais viscoso no ensaio de *Squeeze flow* mostram uma adesão maior no ensaio de *Pull out flow*.

4.2.3 Análise do tempo de consolidação através dos ensaios de *Squeeze flow* e *Pull out flow*

Foram realizados ensaios de *Squeeze flow* e *Pull out flow* das argamassas estudadas nos tempos de 30, 60, 120, 180, 240 e 300 minutos, após o contato de argamassa com a água, com o objetivo de se identificar através de seu comportamento reológico o momento em que se inicia a consolidação do material. Os tempos de estudo foram escolhidos de acordo com o tempo de utilização estabelecido pela NBR 13754 (ABNT, 1996) que é de 2 horas e 30 minutos, o início da contagem desse período é quando a argamassa anidra entra em contato com a água, incluindo seu tempo de preparo e maturação. O intervalo máximo analisado de 300 minutos foi escolhido por ser o dobro do tempo de consolidação estabelecido em norma.

4.2.3.1 Argamassas ACI

A Figura 32 mostra os resultados dos ensaios de *Squeeze flow* e *Pull out flow* da argamassa ACI-A.

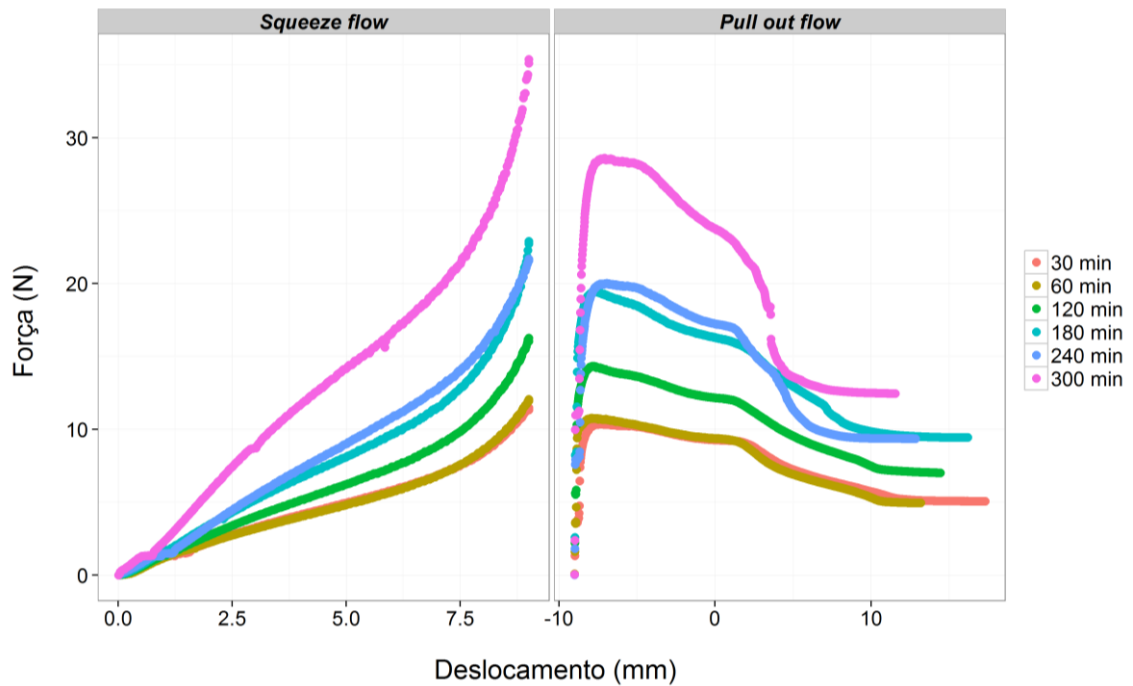


Figura 31 – Ensaio de *Squeeze flow* e *Pull out flow* em função do tempo de consolidação, argamassa ACI – A

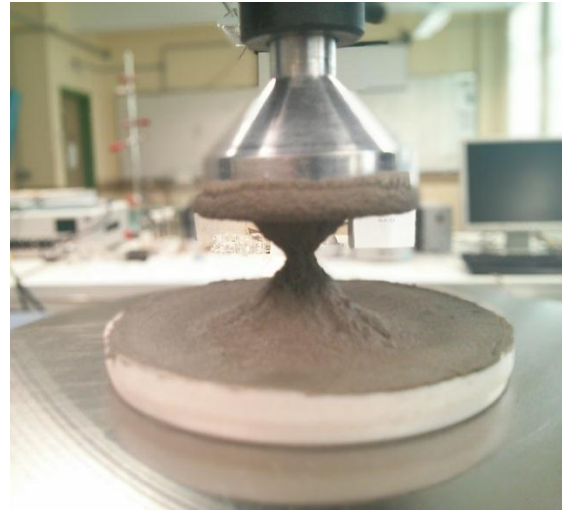
Para a argamassa ACI – A, os ensaios complementam-se mostrando que os perfis reológicos de 30 e 60 minutos são praticamente sobrepostos, iniciando uma mudança a partir de 120 minutos que é acentuada aos 180 minutos, no tempo de 300 minutos a argamassa colante já mostra início de consolidação.

De modo geral, com o aumento do tempo de estudo ocorreu um aumento da força necessária para um mesmo deslocamento no ensaio de *Squeeze flow* e um aumento na adesão no ensaio de *Pull out flow*.

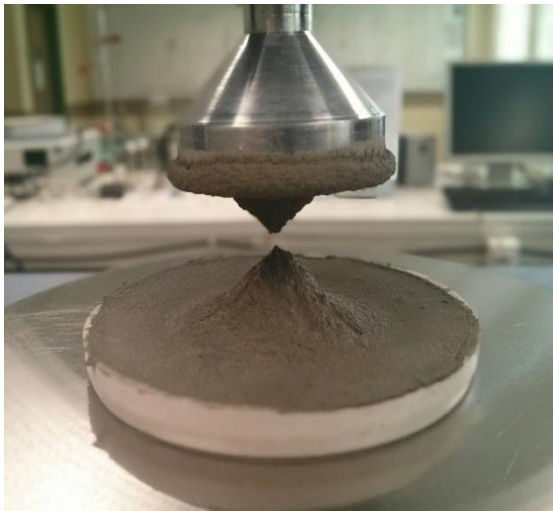
O aumento de viscosidade da argamassa colante com o passar do tempo pode ser observado claramente durante o ensaio de *Pull out flow*, através de imagens retiradas do ensaio. Essas imagens são mostradas na Figura 32.



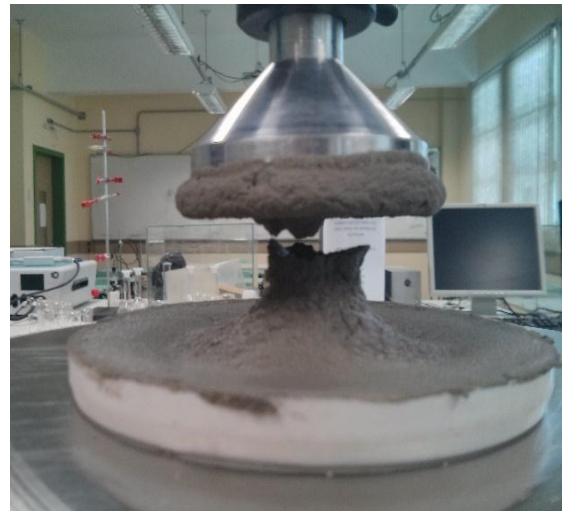
a)



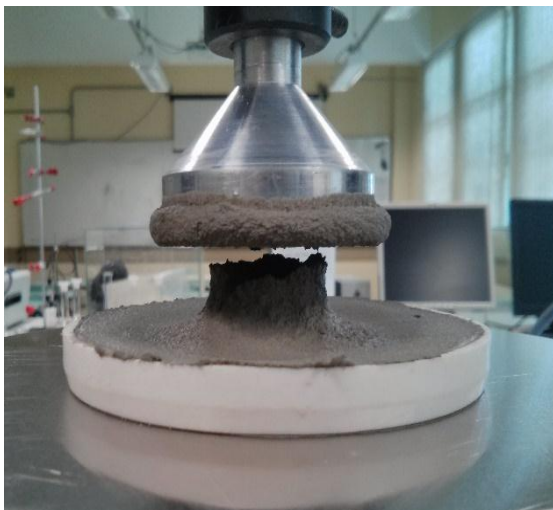
b)



c)



d)



e)



f)

Figura 32 – Ensaio *Pull out flow* nos tempos de: a) 30 minutos b) 60 minutos c) 120 minutos d) 180 minutos e) 240 minutos e f) 300 minutos

Os ensaios de *Squeeze flow* e *Pull out flow* realizados na argamassa colante ACI – B são mostrados na Figura 33.

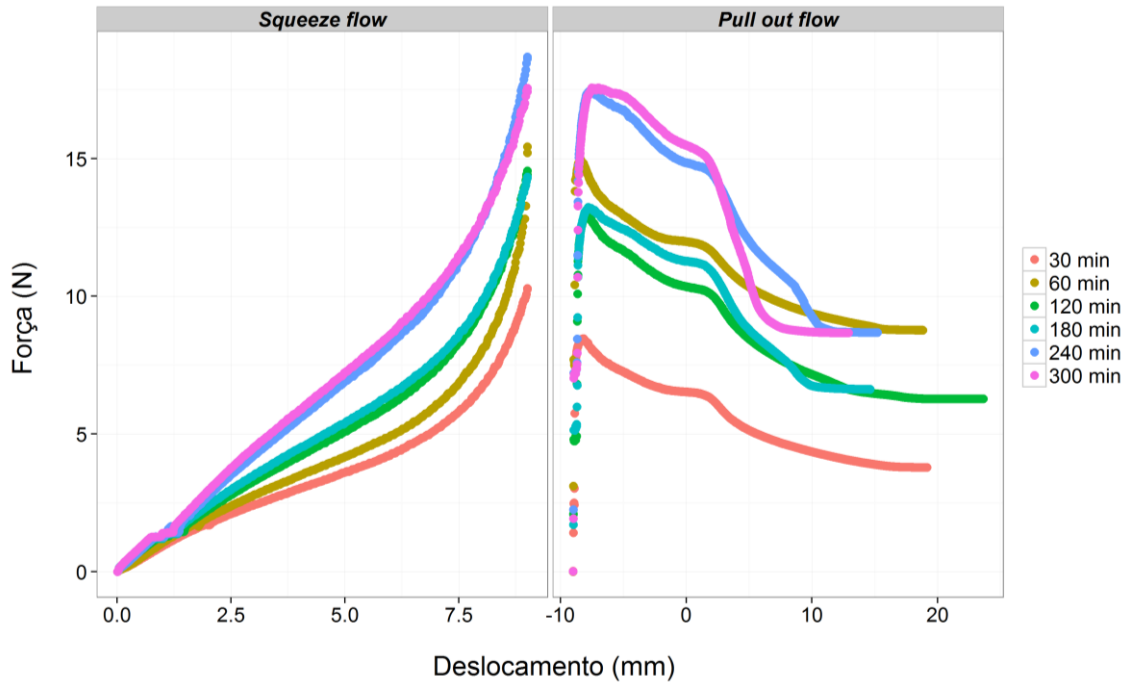


Figura 33 – Ensaio de *Squeeze flow* e *Pull out flow* em função do tempo de consolidação, argamassa ACI – B

Para a argamassa colante ACI – B, as figuras mostram que ocorreu uma alteração mais significativa do perfil reológico no tempo de 240 minutos semelhante ao de 300 minutos.

A Figura 34 mostra os ensaios de *Squeeze flow* e *Pull out flow* realizados na argamassa ACI – C.

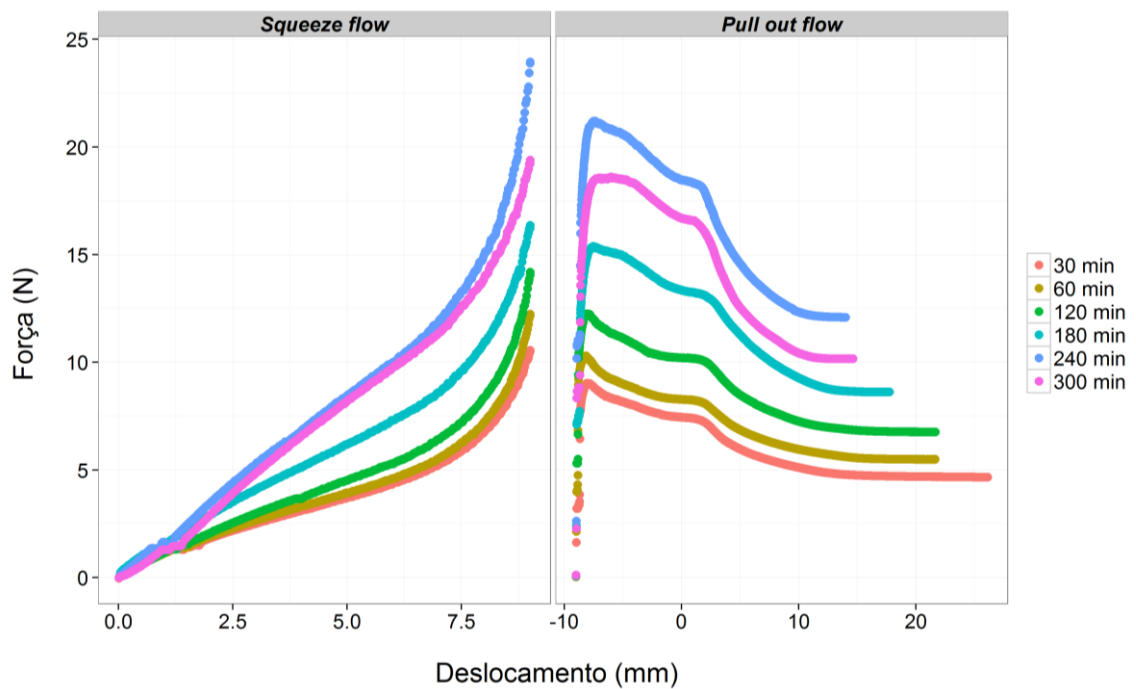


Figura 34 – Ensaio de *Squeeze flow* e *Pull out flow* em função do tempo de consolidação, argamassa ACI – C

A maior mudança de perfil na argamassa ACI – C iniciou-se no tempo de 180 minutos, a partir do tempo de 240 minutos, provavelmente, começa a ocorrer a consolidação do material.

4.2.3.2 Argamassas ACII

A Figura 35 mostra os resultados encontrados nos ensaios realizados para a argamassa colante ACII – A.

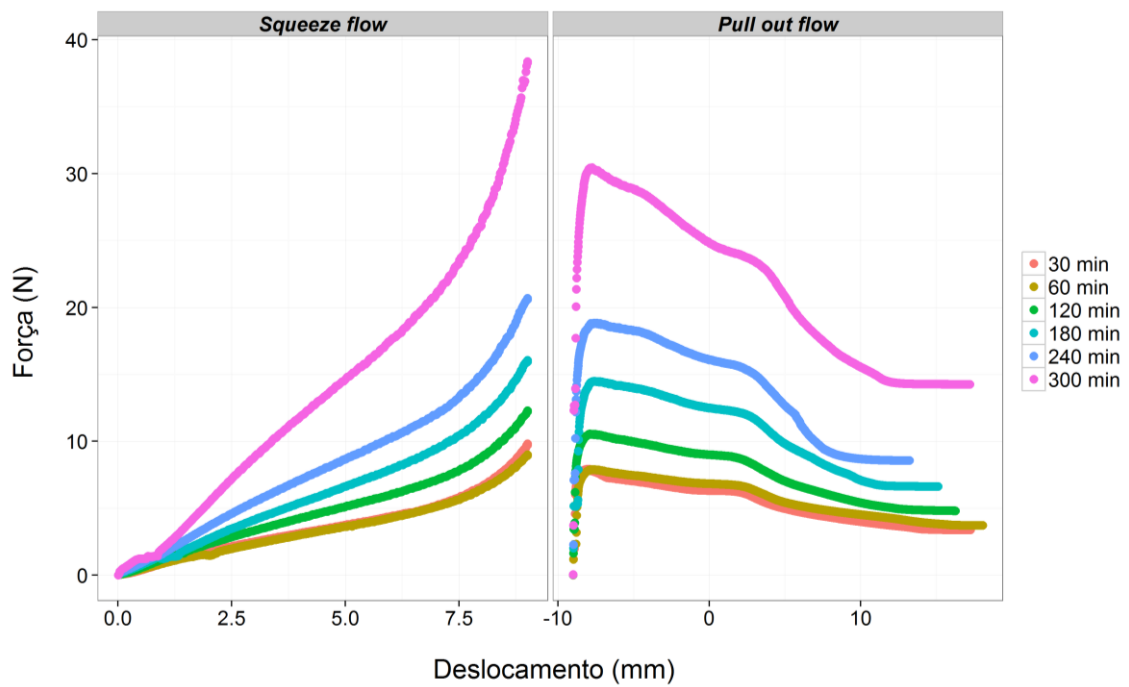


Figura 35 – Ensaio de *Squeeze flow* e *Pull out flow* em função do tempo de consolidação, argamassa ACII – A

Para os tempos de ensaio de 30 e 60 minutos as curvas estão sobrepostas indicando o mesmo comportamento. A partir desses tempos inicia-se uma alteração do perfil, podendo-se notar uma diferença bastante significativa no perfil do tempo de 300 minutos quando comparado com o perfil inicial, o que indica a consolidação do material.

A Figura 36 mostra os resultados da argamassa colante ACII – B.

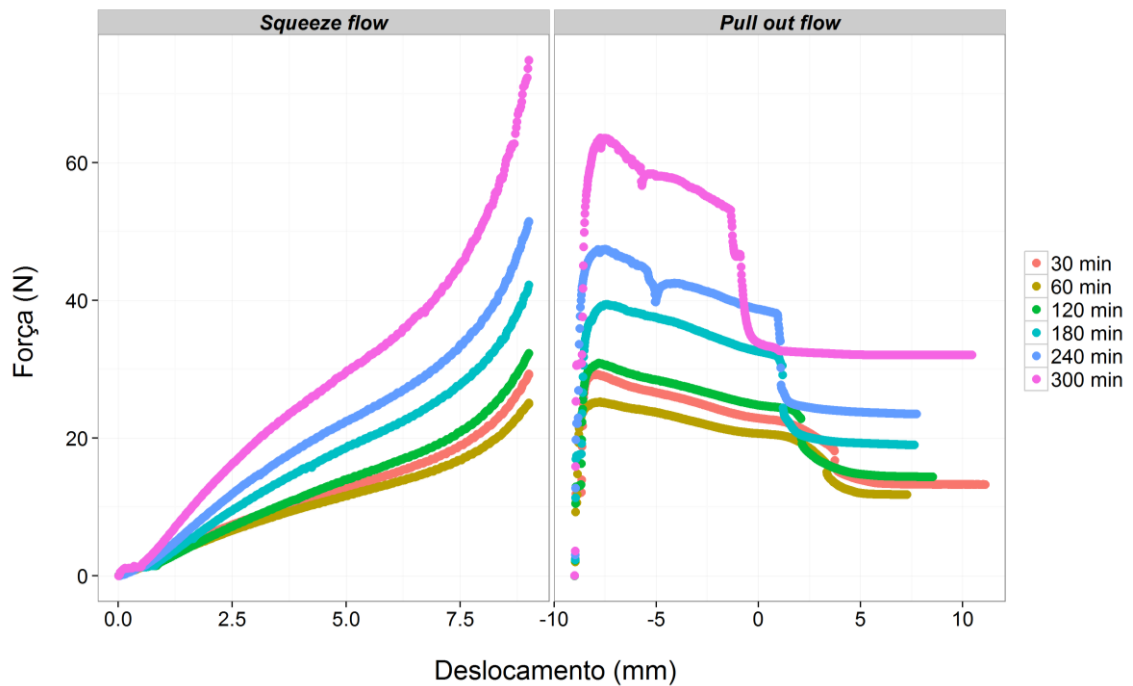


Figura 36 – Ensaio de *Squeeze flow* e *Pull out flow* em função do tempo de consolidação, argamassa ACII – B

Para a argamassa colante ACII – B ocorreu uma alteração do perfil reológico a partir do tempo de 120 minutos, mostrando que essa argamassa manteve a mesma trabalhabilidade por mais tempo se comparada com a ACII – A, nesta argamassa nota-se também a grande diferença do perfil do tempo de 300 minutos com o inicial, caracterizando o início da consolidação.

A Figura 37 mostra os resultados dos ensaios da argamassa ACII – C.

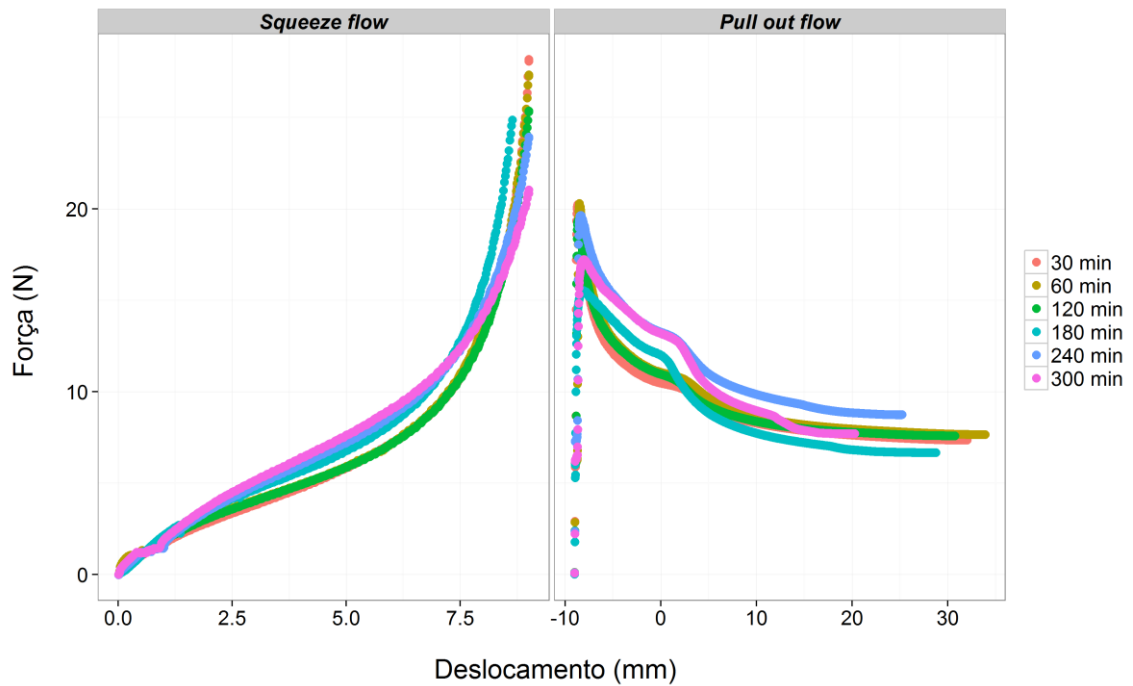


Figura 37 – Ensaio de *Squeeze flow* e *Pull out flow* em função do tempo de consolidação, argamassa ACII – C

A argamassa ACII – C não indicou uma diferença significativa nos perfis reológicos nos tempos analisados, para esta argamassa não se pôde encontrar o momento do início da consolidação.

Essa característica da argamassa ACII – C pode indicar uma dosagem maior de aditivo retentor de água, o que ocasiona um retardo na hidratação do cimento.

4.2.3.3 Argamassas ACIII

A Figura 38 mostra os resultados dos ensaios de *Squeeze flow* e pull-out-flow encontrados para a argamassa ACIII – A.

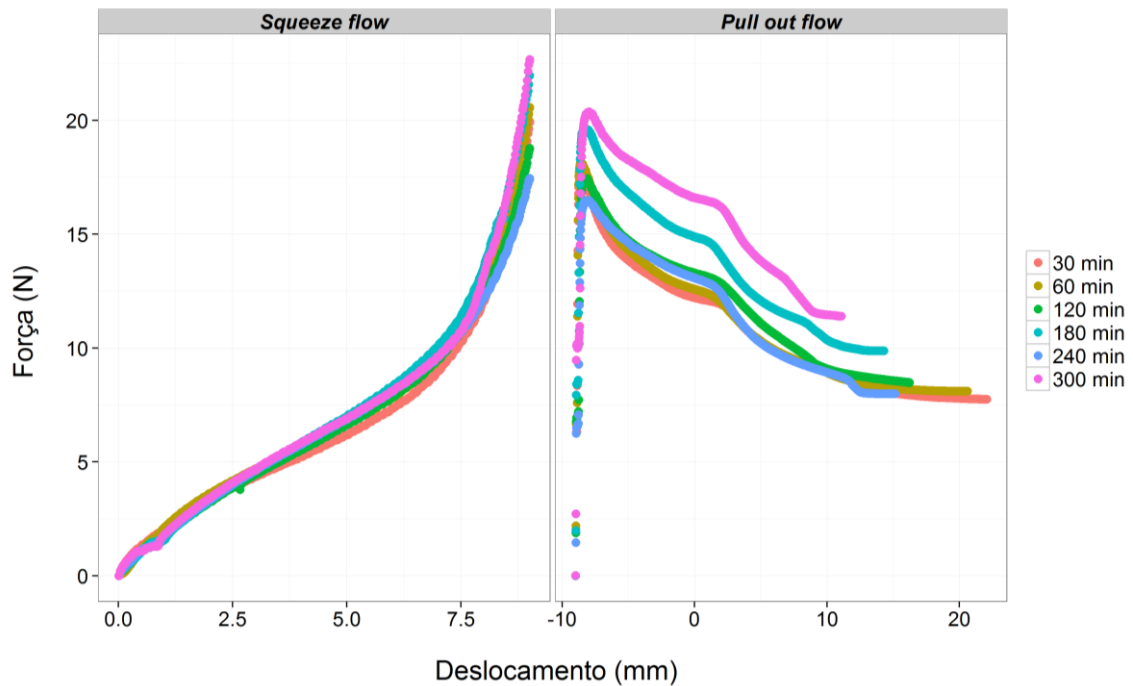


Figura 38 – Ensaio de *Squeeze flow* e *Pull out flow* em função do tempo de consolidação, argamassa ACIII – A

Os resultados do ensaio de *Squeeze flow* não mostram uma alteração do perfil reológico, já no ensaio de *Pull out flow* pode-se observar que no tempo de 300 minutos, ocorreu uma adesão maior do que as demais, mas se comparado com as outras argamassas anteriormente analisadas, não se pode afirmar que o tempo de consolidação dessa argamassa ocorre antes do tempo de 300 minutos.

As imagens mostradas na Figura 39 foram realizadas no final do ensaio de *Pull out flow* e através delas pode-se afirmar que somente no tempo de 300 minutos ocorre alteração da viscosidade da argamassa, ficando claramente mais viscosa nesse tempo, se comparada com os demais.



a)



b)



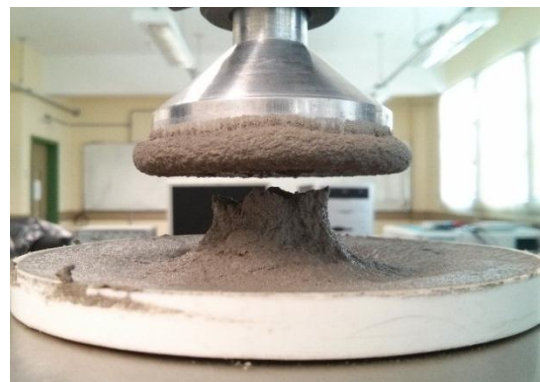
c)



d)



e)



f)

Figura 39 – Ensaio de *Pull out flow* argamassa colante ACIII – A, a) 30 min; b) 60 min; c) 120 min; d) 180 min; e) 240 min e f) 300 min

A Figura 40 mostra os resultados encontrados para a argamassa colante ACIII – B.

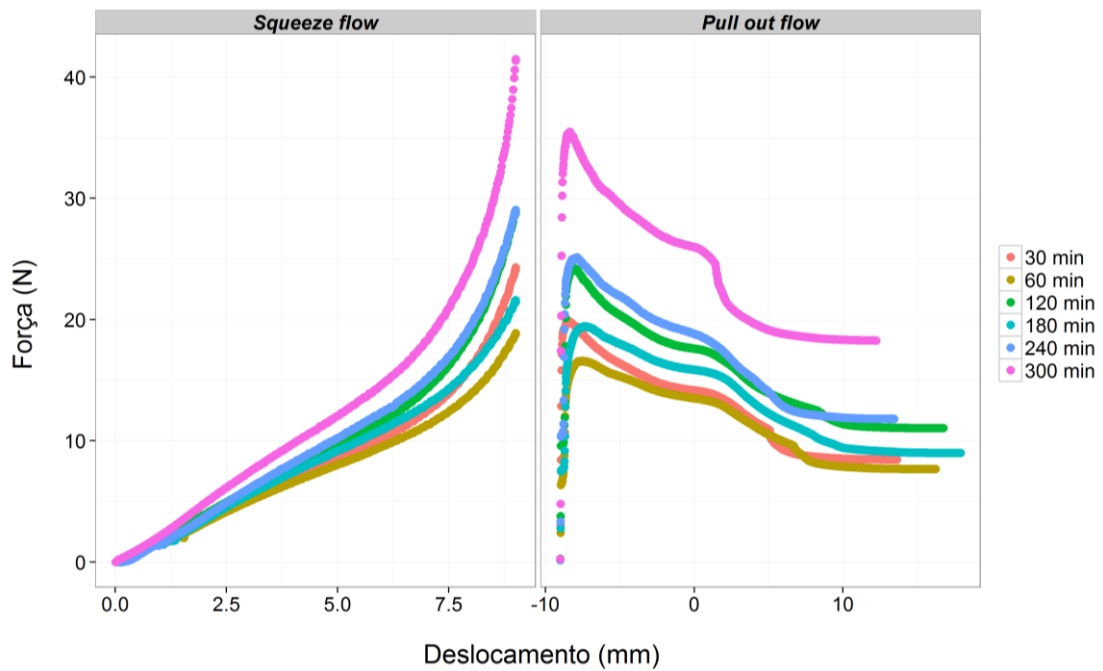


Figura 40 – Ensaio de *Squeeze flow* e *Pull out flow* em função do tempo de consolidação, argamassa ACIII – B

Para a argamassa ACIII – B, pode-se notar que somente no tempo de 300 minutos temos uma grande mudança do perfil reológico, o que indica que a consolidação desta argamassa colante deve estar ocorrendo entre 240 e 300 minutos.

A Figura 41 mostra os perfis reológicos encontrados nos tempos estudados para a argamassa colante ACIII – C.

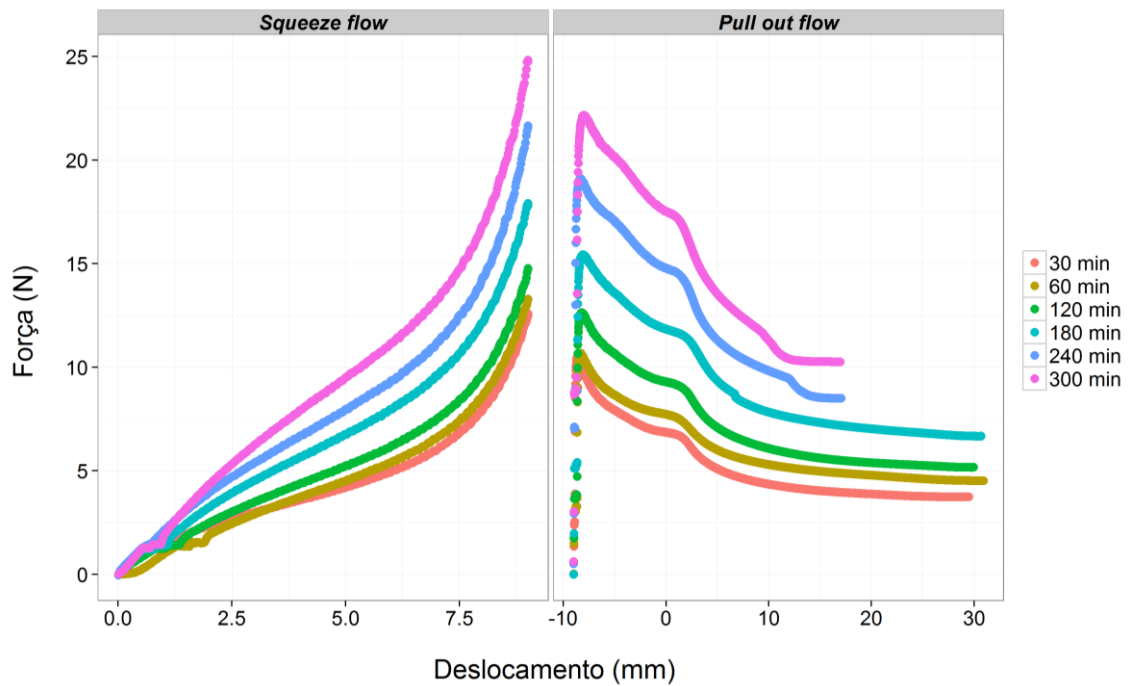


Figura 41 – Ensaio de *Squeeze flow* e *Pull out flow* em função do tempo de consolidação, argamassa ACIII – C

A argamassa colante ACIII – C apresenta uma alteração de seu perfil com o passar do tempo. Conforme ocorreu a passagem do tempo a argamassa foi ficando mais viscosa, sendo necessário uma carga maior para o seu deslocamento. A consolidação começou a ocorrer no tempo de 180 minutos ficando, a argamassa, mais rígida a partir deste tempo.

As Figuras 42 e 43 mostram um resumo dos resultados encontrados para os ensaios de *Squeeze flow* e *Pull out flow*, respectivamente, de todas as argamassas separadas em tempo de ensaio e fabricante.

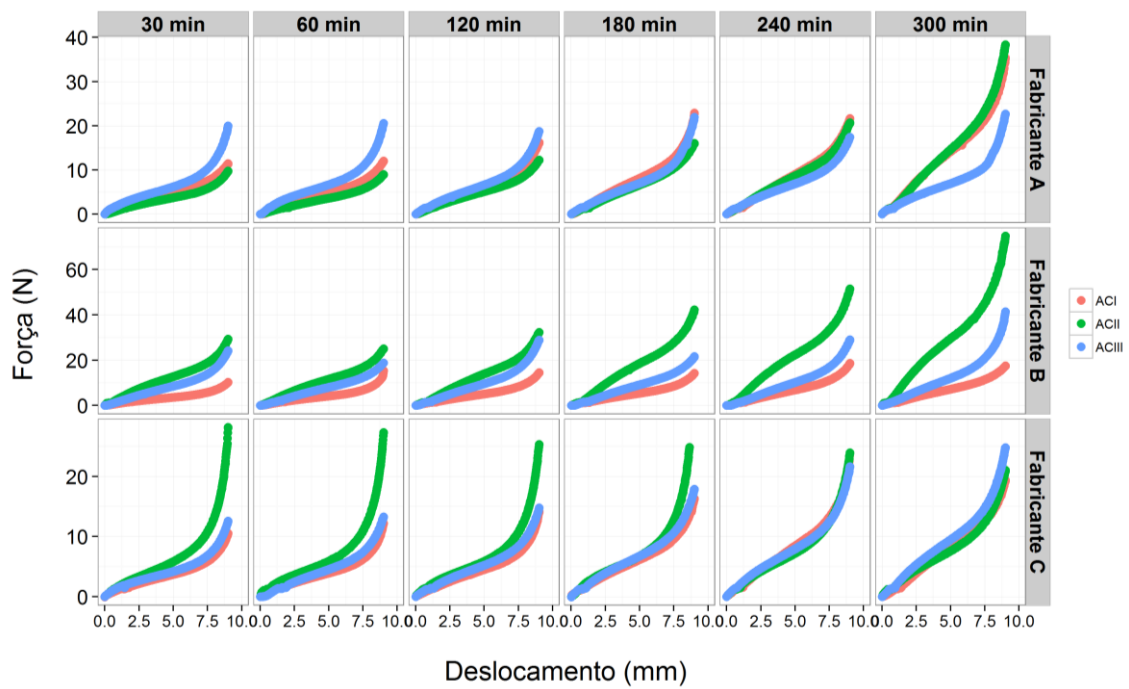


Figura 42 – Comparação dos ensaios de *Squeeze flow* em função do tempo e fabricante

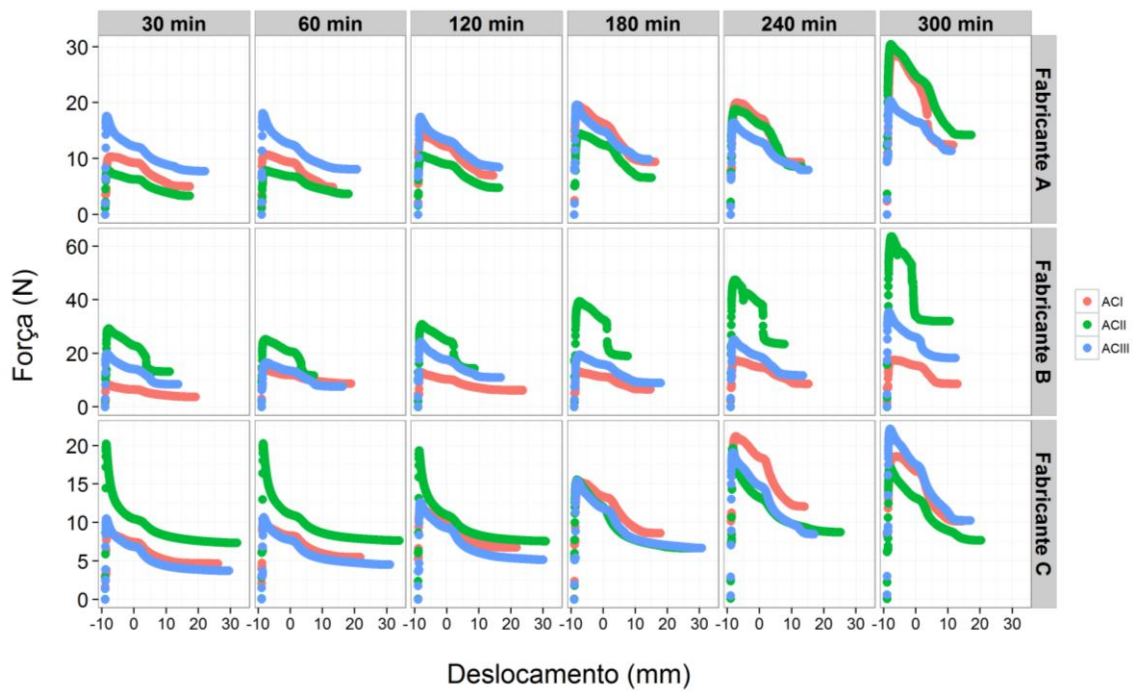


Figura 43 – Comparação dos ensaios de *Pull out flow* em função do tempo e fabricante

Por meio das Figuras 42 e 43 é possível observar o crescimento da carga de compressão necessária para as argamassas deslocarem os 9mm especificados com o passar do tempo.

Para efeito de análise e comparação entre as argamassas colantes, nesse trabalho, utilizou-se a área sob a curva do perfil reológico, por entender-se que esse dado melhor representa o comportamento do material. Para se encontrar a área embaixo de cada uma das curvas, foi realizada a integração de cada uma das equações que representavam as curvas obtidas no ensaio de *Squeeze flow*.

A Figura 44 mostra o gráfico do ensaio de *Squeeze flow* da argamassa colante ACI – A e a área calculada sob o perfil encontrado. Os gráficos das demais argamassas colantes encontram-se no Anexo.

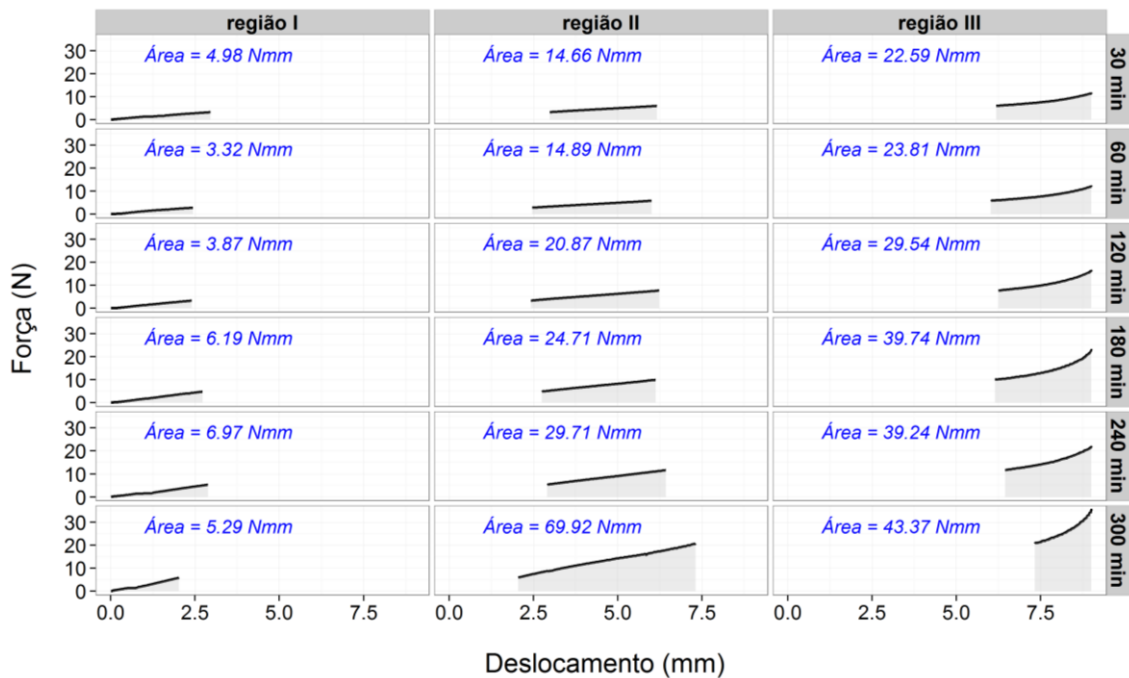


Figura 44 – *Squeeze flow* ACI – A cálculo área de cada região

As curvas de *Squeeze flow* apresentam uma relação entre a força (y) e o deslocamento (x) variáveis para cada valor do deslocamento. Além disso, a partir do valor dessa variação pode-se visualizar três regiões distintas: região 1, em que há uma variação grande da força em função do deslocamento; região 2, em que há uma variação constante entre a força e o deslocamento e região 3, onde a variação

entre a força e o deslocamento apresenta os maiores valores, como o perfil típico teórico. A definição da fronteira de cada região poderia ser feita visualmente, mas este procedimento, provavelmente, geraria fronteiras diferentes para cada observador. Dessa forma, organizou-se a definição das regiões de uma maneira objetiva, usando-se as propriedades da própria curva medida.

O primeiro passo para a definição das regiões foi a constatação de que a região 2, onde a força apresenta-se praticamente constante em relação ao deslocamento, pode ser descrita satisfatoriamente por meio de um "*fitting* linear". Além disso, observou-se que entre os deslocamentos 3 e 6mm, todas as curvas experimentais apresentavam essa região linear. Dessa forma, foi efetuado o "*fitting* linear" entre os pontos 3 e 6 de deslocamento para cada medida.

De posse da função linear calculada, extrapolou-se esse a curva para todos os valores de deslocamento, de modo que, pode-se observar uma distância relativamente grande entre os pontos experimentais e a função linear calculada para valores pequenos de deslocamento, região 1, e para valores grandes de deslocamento, região 3.

Portanto, a definição das fronteiras entre as regiões foi feita a partir da relação existente entre os pontos experimentais e o "*fitting* calculado". Para a região 1 foi estabelecido como fronteira o "maior valor do deslocamento em que a diferença entre a força medida (ponto experimental) e a função linear calculada fosse menor do que -1,2 vezes o valor máximo do módulo dos resíduos do *fitting*". O valor negativo deve-se a região 1 possuir valores de Força menores do que a curva linear calculada e o uso do módulo dos resíduos foi para garantir que a região 1 não poderia abranger pontos entre 3 e 6.

No caso da região 3, a definição foi análoga mas como essa região situa-se em valores de deslocamento maiores do que 6mm e os valores da força medida são maiores do que o "*fitting* linear", usou-se como fronteira o "menor valor do deslocamento em que a diferença entre a força medida (ponto experimental) e a função linear calculada fosse maior do que 1,2 vezes o valor máximo do módulo dos resíduos do *fitting*". Assim, valores intermediários entre esses dois pontos formam a região 2.

Para facilitar a identificação do comportamento das argamassas foram montados os gráficos mostrados nas Figuras 45, 46 e 47, nos quais é separada a

área encontrada em cada região do perfil de cada tipo de argamassa colante de cada um dos fabricantes.

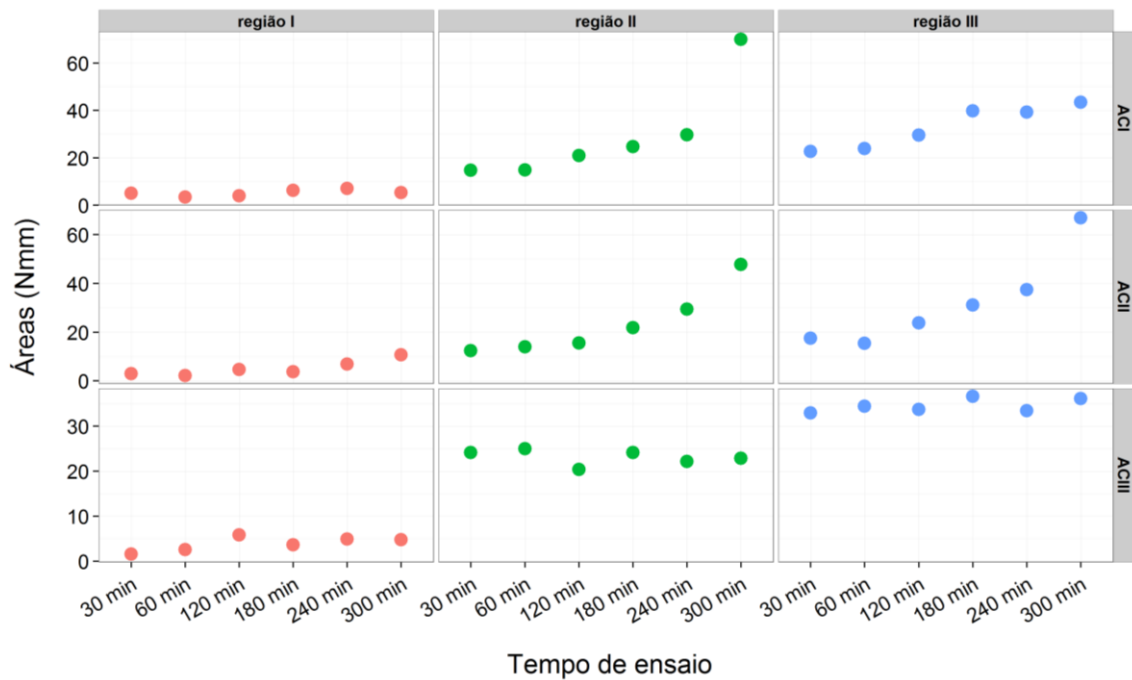


Figura 45 – Comparativo das áreas – Fabricante A

Para as argamassas ACI – A e ACII – A, as áreas calculadas na região I praticamente não se alteram no decorrer dos tempos de ensaio, já nas regiões II e III ocorre aumento das áreas com o passar do tempo. Nota-se também que a partir de 180 minutos o crescimento das áreas é mais acentuado, indicando que a partir desse tempo é modificado o perfil reológico, o que poderá trazer prejuízo na aplicação e desempenho da argamassa colante.

Para a argamassa ACIII – A houve pouca variação no valor das áreas, o que indica que a consolidação da argamassa não pode ser determinada nesse período medido.

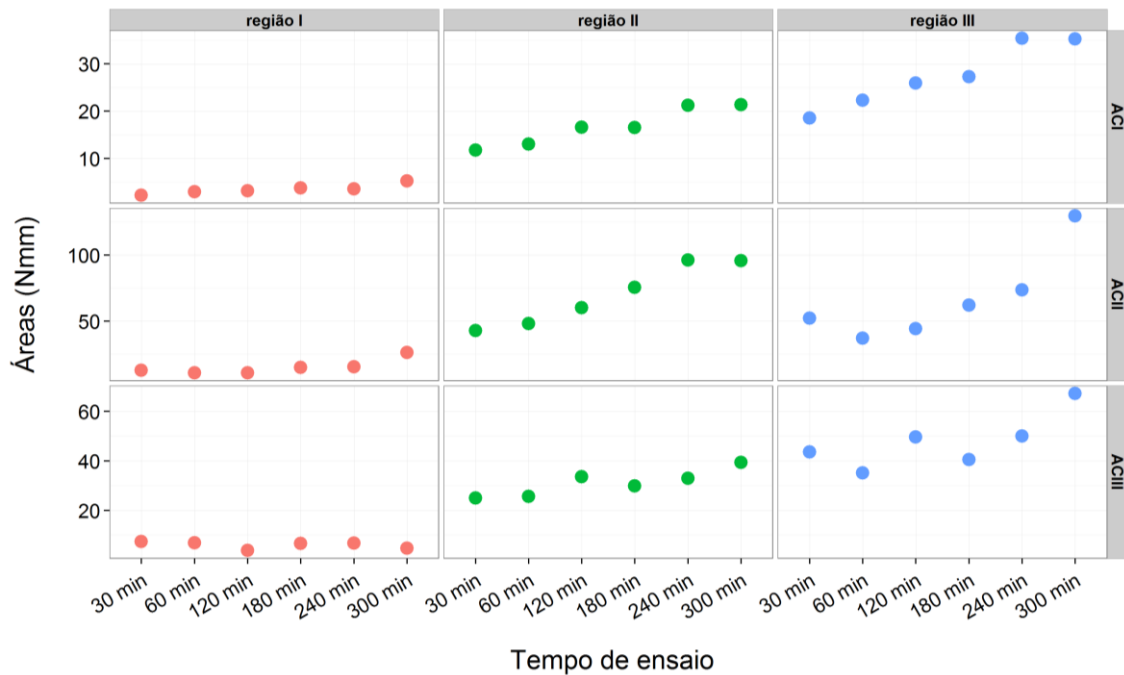


Figura 46 – Comparativo das áreas – Fabricante B

A região I, das argamassas colantes do Fabricante B, apresentou praticamente nenhuma alteração no tempo de ensaio. Nas regiões II e III ocorreu acréscimo com o passar do tempo em todas as argamassas estudadas desse fabricante. Novamente, o tempo de 180 minutos indica o início da consolidação para as argamassas do tipo ACI e ACII. Para a argamassa ACIII, nota-se um acréscimo maior nas áreas das regiões I e II no tempo de 300 minutos.

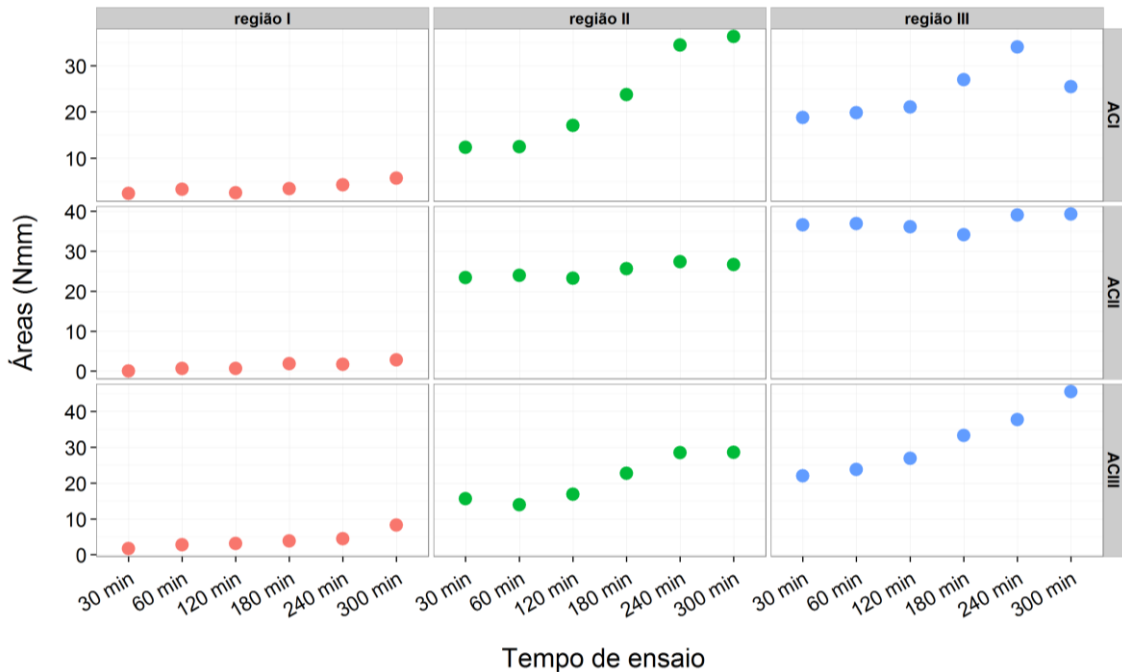


Figura 47 – Comparativo das áreas – Fabricante C

As argamassas colantes do Fabricante C comportaram-se de modo semelhante as dos fabricantes anteriores, apresentando pouca variação na região I e uma variação crescente nas regiões II e III para o tipo ACI, mas para este fabricante é possível visualizar o crescimento da área sob a curva das regiões II e III para a argamassa colante ACIII. A argamassa ACII – C não apresentou indicativo de consolidação durante o período ensaiado. Novamente o crescimento das áreas é mais significativo a partir do tempo de 180 minutos.

4.3 Resultados das argamassas no estado endurecido

Com o objetivo de associar-se o comportamento das argamassas colantes no estado fresco com seu comportamento no estado endurecido, foi realizado o ensaio de aderência. O ensaio foi realizado com as argamassas colantes com 30 minutos após o contato dessa com a água, incluído o tempo de preparo. A cura utilizada nesse ensaio foi a normal, ou seja, os corpos-de-prova permaneceram em ambiente de laboratório até completarem 28 dias.

A NBR 14081-1 (ABNT, 2012) especifica, para cada tipo de argamassa, resistências mínimas que devem ser atingidas no ensaio de aderência em função do tipo de cura, aos 28 dias, 0,5 MPa para as argamassas colantes do tipo ACI e ACII e 1,0 MPa para as do tipo ACIII.

Os resultados encontrados são mostrados no Quadro 8 e na Figura 48.

Argamassa Colante	Aderência (MPa)	Desvio Padrão (MPa)	Coef. Variação (%)
ACI-A	0,64	0,18	18,0
ACI-B	0,86	0,14	16,0
ACI-C	0,70	0,10	14,0
ACII-A	0,69	0,08	12,0
ACII-B	0,69	0,09	12,0
ACII-C	1,10	0,11	10,0
ACIII-A	0,80	0,16	12,0
ACIII-B	1,47	0,17	12,0
ACIII-C	0,85	0,19	22,0

Quadro 8 – Resultados ensaio de aderência

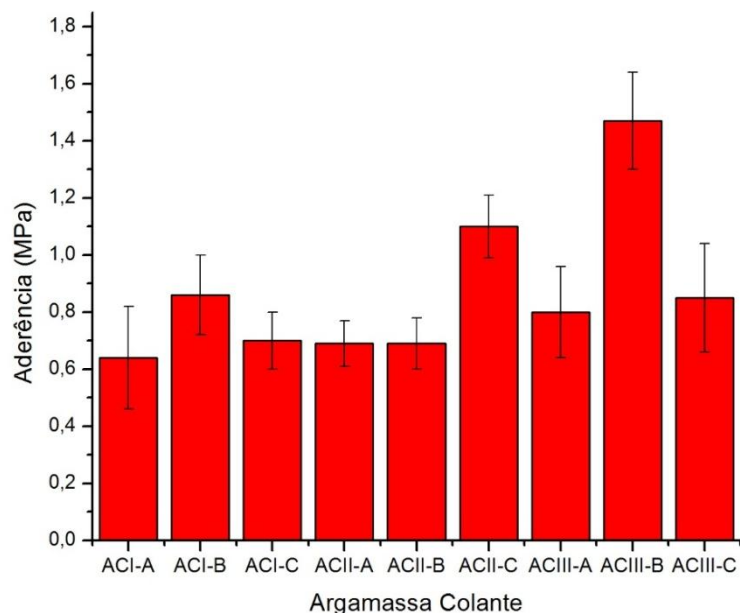


Figura 48 – Ensaio de aderência

A maior parte das argamassas do tipo ACI e ACII apresentaram resistência superior ao mínimo da norma, a exceção foi a ACI – A que ao descontar o valor do desvio padrão do valor da resistência de aderência tem-se o resultado de 0,46 MPa. Já para as argamassas do tipo ACIII, somente a ACIII – B apresentou resultado de aderência superior ao normatizado para este tipo de cura.

Embora seja utilizado pelo meio técnico, o método de ensaio de aderência à tração apresenta variabilidade nos resultados, o que pode explicar os resultados encontrados inferiores ao prescrito em norma. O que ainda é agravado pela complexidade de fatores envolvidos no mecanismo de aderência placa - argamassa e argamassa – substrato, além de variações do próprio método de ensaio (ANTUNES, 2012). Segundo Cincotto et al. (1995), o ensaio de aderência apresenta coeficientes de variação entre 10 e 35%, que são atribuídos a fatores inerentes ao procedimento de ensaio, os quais podem interferir no resultado, e na análise obtidos.

Com o objetivo de confirmar a mesma tendência encontrada no ensaio de *Squeeze flow*, foram também realizados ensaios de aderência para os tempos de 180 e 300 minutos após a mistura, para o mesmo tipo de cura por, também, 28 dias. A argamassa colante permanecia em recipiente coberto por um pano úmido até completar o tempo de ensaio e a partir disso iniciava-se os procedimentos previstos na norma para o ensaio de aderência. O Quadro 9 mostra os resultados encontrados para esses dois intervalos de ensaio, além daqueles encontrados aos 30 minutos, e a Figura 49 mostra os resultados para cada tipo de argamassa colante.

Argamassas Colante	Aderência (MPa)		
	30 min	180 min	300 min
ACI-A	0,64	0,20	0,47
ACI-B	0,86	0,72	0,84
ACI-C	0,70	0,72	0,36
ACII-A	0,69	0,20	0,43
ACII-B	0,69	0,67	0,63
ACII-C	1,10	0,51	0,61
ACIII-A	0,80	0,66	1,01
ACIII-B	1,47	1,30	1,63
ACIII-C	0,85	0,71	0,32

Quadro 9 – Resultados de aderência para os tempos de 30, 180 e 300 minutos

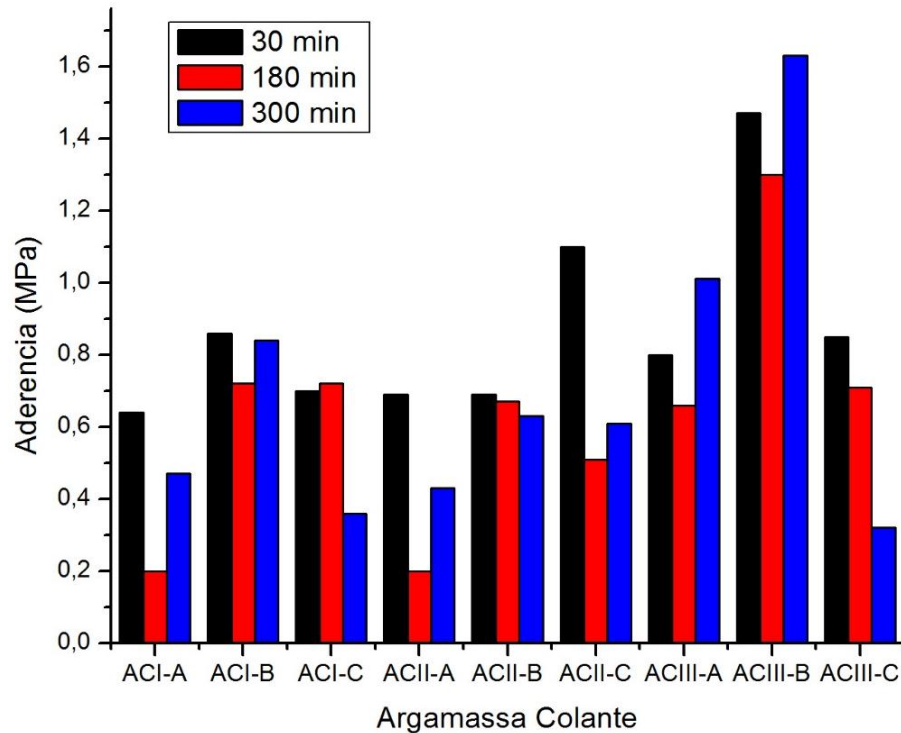


Figura 49 – Resultados de aderência para os tempos de 30, 180 e 300 min

As argamassas colantes dos tipos ACI e ACII de todos os fabricantes apresentaram uma aderência menor aos 300 minutos que o inicial, já as argamassas ACIII dos Fabricantes A e B apresentaram uma aderência maior aos 300 minutos, sendo que a argamassa ACIII – A, atingiu a resistência mínima recomendada para aderência. Espera-se, em termos de comportamento, que argamassas com maior viscosidade apresentem menor resistência de aderência, tendo-se em vista a maior dificuldade de aplicação e de preenchimento da rugosidade responsável pela ancoragem da argamassa. Essa dificuldade pode ser observada na Figura 50, que mostra os cordões após o arrancamento da placa cerâmica. É possível notar que eles praticamente não se deformaram no assentamento da placa durante o procedimento de ensaio.



Figura 50 – Cordões ensaio de aderência ACIII-A 300 min

Costa (2006) não obteve uma boa correlação entre o ensaio de aderência e o de *Squeeze flow*. Uma hipótese levantada pela autora é que a imprimação do substrato padrão, estabelecida no procedimento de ensaio normativo, executado anteriormente a aplicação da argamassa colante e formação dos cordões, tenha anulado, ou alterado, o efeito das características reológicas sobre a penetração no substrato. Isso pode corroborar com os resultados que apresentaram resistência de aderência maior nos tempos de 300 ou 180 minutos do que aqueles encontrados aos 30 minutos. Outra hipótese para os resultados é o fato de argamassa permanecer em um recipiente coberto por um pano úmido, o que faz com que a perda de água para o ambiente seja menor, colaborando para um tempo de consolidação maior da argamassa.

5 CONCLUSÕES

A pesquisa avaliou o tempo de consolidação das argamassas colantes através dos ensaios de *Squeeze flow* e *Pull-out-flow*, os quais mostraram aplicabilidade na caracterização e na análise reológica das argamassas colantes, eliminando assim, a avaliação subjetiva do aplicador.

Quanto à composição das argamassas colantes estudadas, verificou-se que a proporção (dosagem) dos materiais se mostra influente na resistência de aderência, na retenção de água e também no comportamento reológico das argamassas.

As argamassas colantes de mesma classificação e tipo, segundo a NBR 14081(ABNT, 2012), apresentaram comportamentos reológicos distintos, indicando que cada fabricante tem uma dosagem diferente e também, um entendimento diverso sobre quais características as argamassas devem possuir, fazendo com que cada uma delas seja analisada separadamente.

Os métodos de ensaio *Squeeze flow* e *Pull-out-flow* mostraram-se sensíveis para a determinação do tempo de consolidação das argamassas colantes, pois indicaram o aumento da viscosidade e da adesão dessas com o passar do tempo.

Porém, não foi possível determinar o tempo de consolidação para todas as argamassas colantes. As argamassas ACII – C e ACIII – A não apresentaram consolidação dentro do período estudado. Provavelmente, esse retardo tenha sido causado por dosagens de aditivos acima do recomendado.

Para as demais argamassas colantes, que apresentaram o tempo de consolidação dentro do período estudado. Foi observado que, no tempo de 180 minutos após a mistura, a alteração do perfil reológico foi mais evidenciada, sendo esse tempo entendido como o início da consolidação. A partir dele, as argamassas colantes sofreram perdas nas suas características reológicas, o que poderá causar dificuldade nas etapas de assentamento das placas cerâmicas e posteriormente, problemas no seu desempenho e durabilidade.

Já os ensaios realizados no estado endurecido, no caso a resistência de aderência à tração, apresentaram uma grande variação nos seus resultados, prejudicando assim, uma correlação do ensaio de *Squeeze flow* com a aderência nos tempos estudados.

5.1 Sugestões para trabalhos futuros

Para uma maior compreensão das características reológicas das argamassas colantes e também para uma melhor avaliação do tempo de consolidação das argamassas colantes, sugere-se os seguintes estudos:

- Pesquisar o efeito do limite do tempo de consolidação no tempo em aberto das argamassas colantes;
- Dosar as argamassas colantes, em vez de usar as industrializadas, para se conhecer o efeito de cada um dos materiais constituintes no tempo de consolidação da argamassa colante.
- Ampliar o estudo da influência da reologia das argamassas colantes no tempo de consolidação através do uso de viscosímetros e também do efeito no deslizamento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14081**. Argamassa colante industrializada para assentamento de placas cerâmicas.

_____. **NBR 13277**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da retenção de água. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 13278**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 13528**: Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas - Determinação da resistência de aderência à tração. Rio de Janeiro, 2010.

_____. **NBR 13753, 13754, 13755**: Revestimento de piso interno ou externo com placas cerâmicas e com utilização de argamassa colante - Procedimento. Rio de Janeiro, 1996.

_____. **NBR 14081-1**: Argamassa colante industrializada para assentamento de placas cerâmicas. Parte 1: Requisitos. Rio de Janeiro, 2012.

_____. **NBR 14081-2**: Argamassa colante industrializada para assentamento de placas cerâmicas. Parte 2: Execução do substrato padrão e aplicação da argamassa para ensaios. Rio de Janeiro, 2012.

_____. **NBR 14081-3**: Argamassa colante industrializada para assentamento de placas cerâmicas. Parte 3: Determinação do tempo em aberto. Rio de Janeiro, 2012.

_____. **NBR 14081-4**: Argamassa colante industrializada para assentamento de placas cerâmicas. Parte 4: Determinação da Resistência de Aderência à tração. Rio de Janeiro, 2012.

_____. **NBR 14081-5**: Argamassa colante industrializada para assentamento de placas cerâmicas. Parte 5: Determinação do deslizamento. Rio de Janeiro, 2012.

_____. **NBR 14086**: Argamassa colante industrializada para assentamento de placas cerâmicas – Determinação da densidade de massa aparente. Rio de Janeiro, 2004.

_____. **NBR 15839:** Argamassa de assentamento e revestimento de paredes e tetos – Caracterização reológica pelo método de *Squeeze flow*. Rio de Janeiro, 2010.

_____. **NBR NM 23:** Cimento Portland e outros materiais em pó – Determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 2001.

ALMEIDA, A. E. F. S. **Estudo da influência das adições de sílica ativa e copolímeroestireno acrílico nas propriedades de argamassas para o assentamento de porcelanato.** Tese de doutorado. Universidade de São Paulo – USP. São Carlos-SP. 2005.

ALMEIDA, A. E. F. S.; SICHIERI, E. P. **Propriedades micro estruturais de argamassas de cimento Portland com adições minerais e poliméricas utilizadas na fixação de porcelanato.** *Cerâmica*. v. 52, 2006.

ANDRADE, J. J. O. Propriedades físicas e mecânicas dos materiais. In: ISAIA, G. C. (Ed.). **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais.** São Paulo: IBRACON, 2007. v. 1, cap. 08, p. 203-237.

ANFACER. **Associação Nacional dos Fabricantes de Cerâmica para revestimento.** Disponível em: <http://www.anfacer.org.br>. Acessado em 15/07/2015.

ANTUNES, G. R.; STOLZ, C. M.; MASUERO, A. B. **Análise da influência do Equipamento utilizado no ensaio de resistência à tração.** 4º Congresso Português de argamassas ETICS. Coimbra. 2012.

BANFILL, P. F. G. **The Rheology of Fresh cement and concrete – A Review.** In: 11th International Cement Chemistry Congress, Durban 2003.

_____. **The Rheology of Fresh Mortar – A Review.** In: Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, VI. Florianópolis: Anais, 2005. p. 73-82.

BARBOSA, W. S. **Alteração do Comportamento Reológico de Suspensão Cimentícia aplicada sobre Substratos Porosos.** Dissertação de Mestrado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo – SP, 2010.

BEELDENS, A.; MONTENY, J.; VINCKE, E.; DE BELIE, N.; VAN GEMERT, D.; TAERWE, L.; VERSTRAETE, W. **Resistance to biogenic sulphuric acid corrosion of polymer-modified mortars.** *Cement and Concrete Composites*, v. 23, p. 47-56, 2001.

BETIOLI, A. M. **Influência dos Polímeros MHEC e EVA na Hidratação e Comportamento Reológico de Pastas de Cimento Portland**. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis – SC, 2007.

CARASEK, H. Argamassas. In: ISAIA, G. C. (Ed.). **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais**. São Paulo: IBRACON, 2007. v. 2, cap. 26, p. 864-904.

CARDOSO, F. A. **Método de formulação de argamassas de revestimento baseado na distribuição granulométrica e comportamento reológico**. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, São Paulo-SP. 2009.

CARDOSO, F. A.; PILEGGI, R. G.; JOHN, V. M. **Caracterização reológica de argamassas pelo método de Squeeze flow**. In: Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas, VI. Florianópolis, 2005.

CINCOTTO, M. A.; SILVA, M. A. C.; CASCUDO, H. C. **Argamassa de revestimento: características propriedades e métodos de ensaio**. São Paulo: IPT, Boletim 68, 1995.

COSTA, M. R. M. M. **Análise comparativa de argamassas colantes de mercado através de parâmetros reológicos**. Tese de Doutorado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo - USP, São Paulo (SP), 2006.

COSTA, M. R. M. M.; CINCOTTO, M. A.; PILEGGI, R. G. **Análise do deslizamento da argamassa colante através do seu comportamento reológico**. VII Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas. Anais. Recife. 2007.

FERRARI, S.; PEREIRA, E.; COSTA, M. R. M. M.; SILVA, I. J.; NIEBEL, P. R. **Análise da retenção de água em argamassas colantes de mercado**. In: IV Simpósio brasileiro de tecnologia de argamassas. Anais do IV SBT. Belo Horizonte. 2011.

FERRARIS, C. F. **Testing and modeling of fresh concrete rheologi**. NISTIR 6094. National Institute of Standards and Technology. Paris. 1998.

HOPPE, F. J.; CARDOSO, F. A.; CINCOTTO, M. A.; PILEGGI, R. G. **Técnicas de caracterização reológica de argamassas**. E-Mat v. 3, p. 103-120. Porto Alegre. 2007.

JUST, A.; FRANCO, L. S. **Descolamento dos revestimentos cerâmicos de fachada na cidade de Recife**. Boletim técnico BT/PCC/285, Escola Politécnica. Universidade de São Paulo. São Paulo. 2001.

KACI, A.; BOURAS, R.; PHAN, V. T.; ANDRÉANI, P. A.; CHAOUICHE, M.; BROSSAS, H.. **Adhesive and rheological properties of fresh fibre-reinforced mortars**. Cement & Concrete Composites. n. 33, 2011. p. 218 – 224.

KUDO, E. K. **Caracterização reológica de argamassas colantes. Dissertação de mestrado** – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo - USP. São Paulo, 2012.

KUDO, E. K.; CARDOSO, F. A.; PILEGGI, R. G. **SqueezeFlow aplicado a argamassas colantes: influência de parâmetros experimentais de configuração e taxa de deslocamento**. In: IV Simpósio brasileiro de tecnologia de argamassas. Anais do IVSBTA. Belo Horizonte. 2011.

MACHADO, J. C. V. **Reologia e escoamento de fluidos: ênfase na indústria do petróleo**. Interferência. Rio de Janeiro. 2002. 257p.

MANSUR, A. A. P. **Mecanismo físico-químico de aderência na interface argamassa modificada com polímeros/cerâmica de revestimento**. Tese (Doutorado), Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte. 2007.

MEETEN, G. H. **Squeeze flow of soft solids between rough surfaces**. Rheological Acta, v. 43, p. 6-16. 2004.

MIN, B. H.; ERWIN, L.; JENNINGS, H. M. Rheological behavior of fresh cement paste as measured by *Squeeze flow*. **Journal of Material Science**, v. 29, p. 1374-1381, 1994.

MORENO JUNIOR, R.; SELMO, S. M. S. **Aderência de argamassas de reparo de estruturas de concreto**. Boletim técnico da escola politecnica da Universidade de São Paulo - USP. São Paulo, 2007.

NEHDI, M.; RAHMAN, M. A. **Estimating rheological properties of cement pastes using various rheological models for diferente test geometry, gap and surface friction**. Cement and concrete research, v. 34, n. 11, 2004. p. 1993-2007

OHAMA, Y. **Hand book of polymer-modified concrete and mortars – Properties and process technology**. Noyes Publications. New Jersey. 1995. Disponível em: ftp://ftp.ehu.es/cidirb/profs/qapfecul/consigna/polymer_modified_concrete_mortars.pdf, acessado em: 11/10/2014.

OLIVEIRA, I. R.; STUDART, A. R.; PILEGGI, R. G.; PANDOLFELLI, V. C. **Dispersão e Empacotamento de Partículas**. Fazendo Arte. São Paulo. 2000.

OLIVEIRA, J. **Estudo das Propriedades de argamassas colantes submetidas a saturação e secagem.** Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC. Florianópolis - SC, 2004.

PAES, I. N. L. **Avaliação do transporte de água em revestimentos de argamassa nos momentos iniciais pós-aplicação.** Tese de Doutorado. Universidade de Brasília. Brasília, DF. 2004.

PEREIRA, E. P. **Estudo da Influência das Propriedades de Argamassas Colantes na Resistência de Aderência de Revestimentos Cerâmicos Aplicados no Assentamento de Piso sobre Piso.** Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Paraná. Curitiba – PR, 2012.

PILEGGI, R. G. **Ferramenta para o estudo e desenvolvimento de concretos refratários.** Tese de Doutorado. Universidade Federal de São Carlos, 2001, São Paulo.

POURCHES, J.; PESCHARD, A.; GROSSEAU, P.; GUYONNET, R.; GOULHOT, B.; VALLÉE, F. **HPMC and HEMC influence on cement hydration.** Cement and Concrete Research. N. 36, 2006. p. 288-294.

PÓVOAS, Y. V. **Tempo em aberto de argamassa colante: Método de medida e influência dos aditivos HEC e resina PVAc.** Dissertação de Mestrado – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo. 1999.

PRETTO, M, E, J. **Influência da rugosidade gerada pelo tratamento superficial do substrato de concreto na aderência de revestimento em argamassa.** Dissertação de mestrado. Universidade federal do Rio Grande do Sul - UFRGS. Porto Alegre, 2007.

PRETTO, M. E. J. **Influência da rugosidade gerada pelo tratamento superficial do substrato de concreto na aderência de revestimento em argamassa.** Dissertação de mestrado. Universidade federal do Rio Grande do Sul - UFRGS. Porto Alegre - RS, 2007.

RECENA, F. A. P. **Conhecendo argamassa.** EDiPUCRS, Porto Alegre, 2008.

SELMO, S. M. S. **Dosagem de argamassas de cimento Portland e cal para revestimento externo de fachada de edifícios.** São Paulo: Boletim Técnico da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – BT/PCC/39, 1991.

SHRAMM, G. **Reologia e Reometria – Fundamentos teóricos e práticos.** Artliber, São Paulo, 2006.

SILVA, C. O. **Análise crítica dos requisitos e critérios de qualidade da argamassa colante.** Dissertação de Mestrado. Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo – SP. 2003.

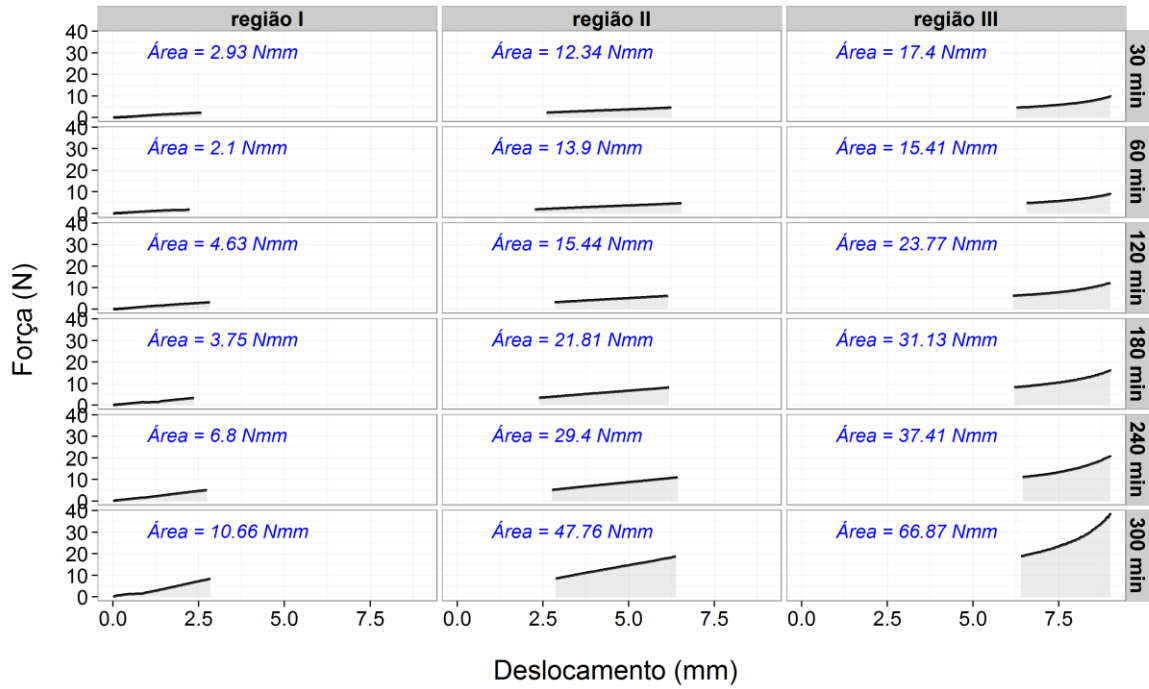
SILVA, D. A.; ROMAN, H. R. **Caracterização microestrutural de pastas de cimento aditivadas com polímeros HEC e EVA.** In: Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, 4, 2001, Brasília (DF). Anais... Brasília: UnB-PECC/ANTAC, 2001, p. 15-41.

TOUTOU, Z.; ROUSSEL, N.; LANOS, C. **The squeezing test: a tool to identify firm cement-based material's rheological behaviour and evaluate their extrusion ability.** Cement and Concrete Research. v. 35, 2005. p. 1891-1899.

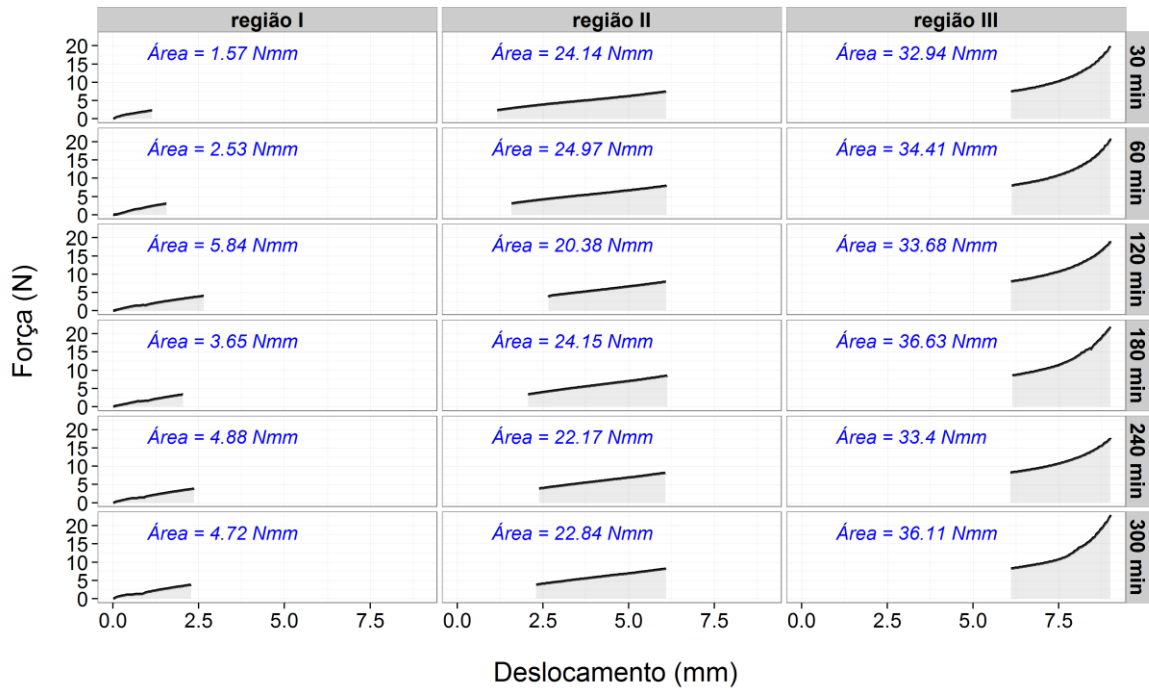
ANEXOS

Anexo A – Gráficos para cálculo das áreas do ensaio de Squeeze flow.

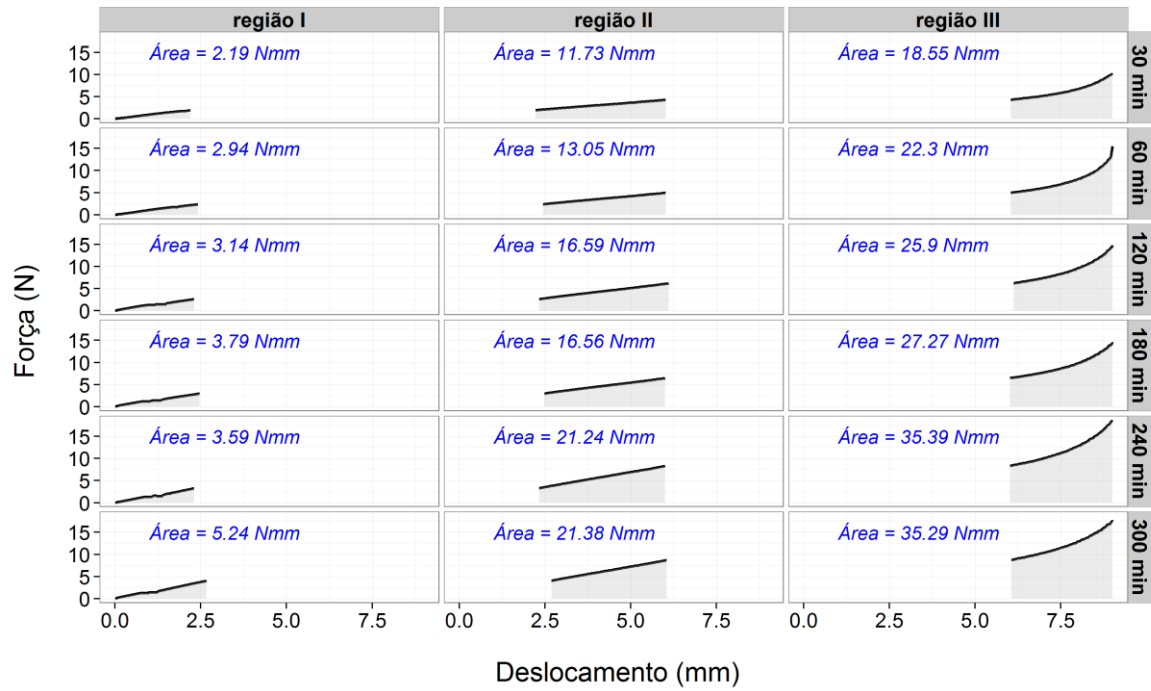
Fabricante A - Colante ACII



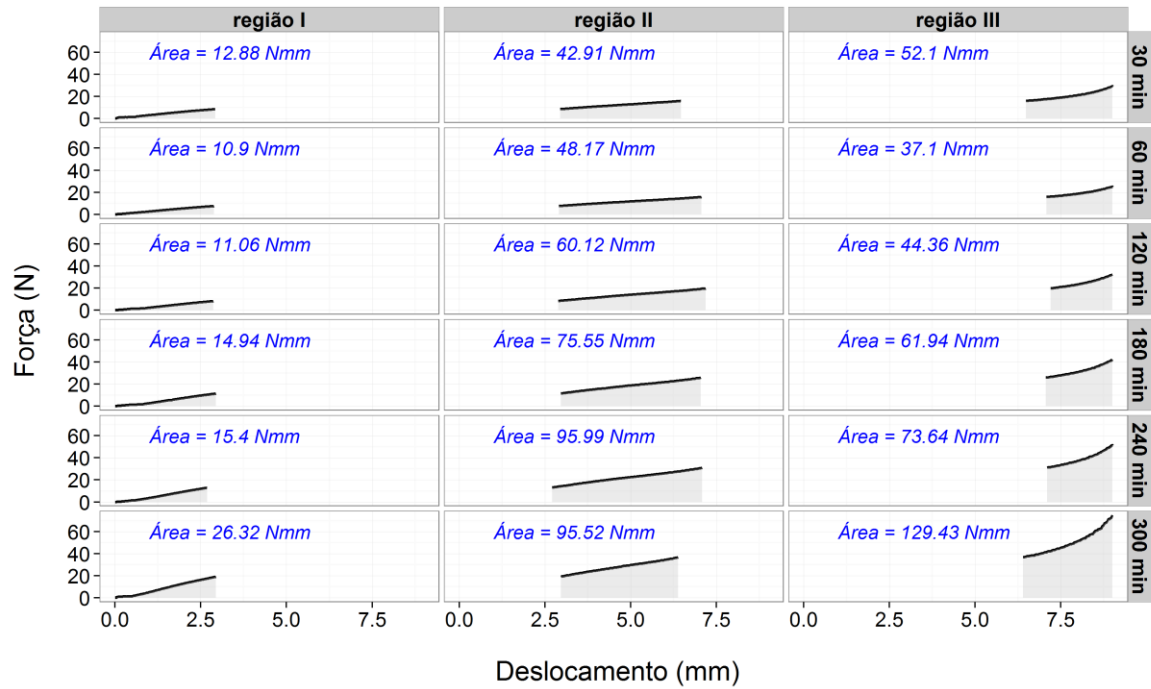
Fabricante A - Colante ACIII



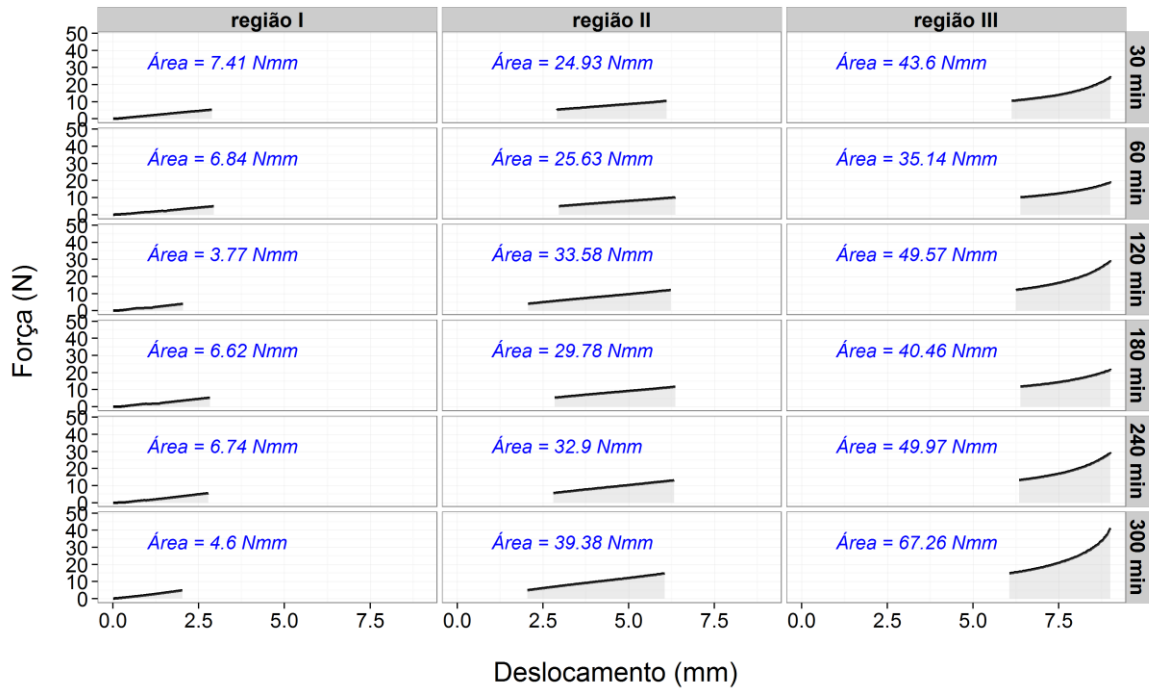
Fabricante B - Colante ACI



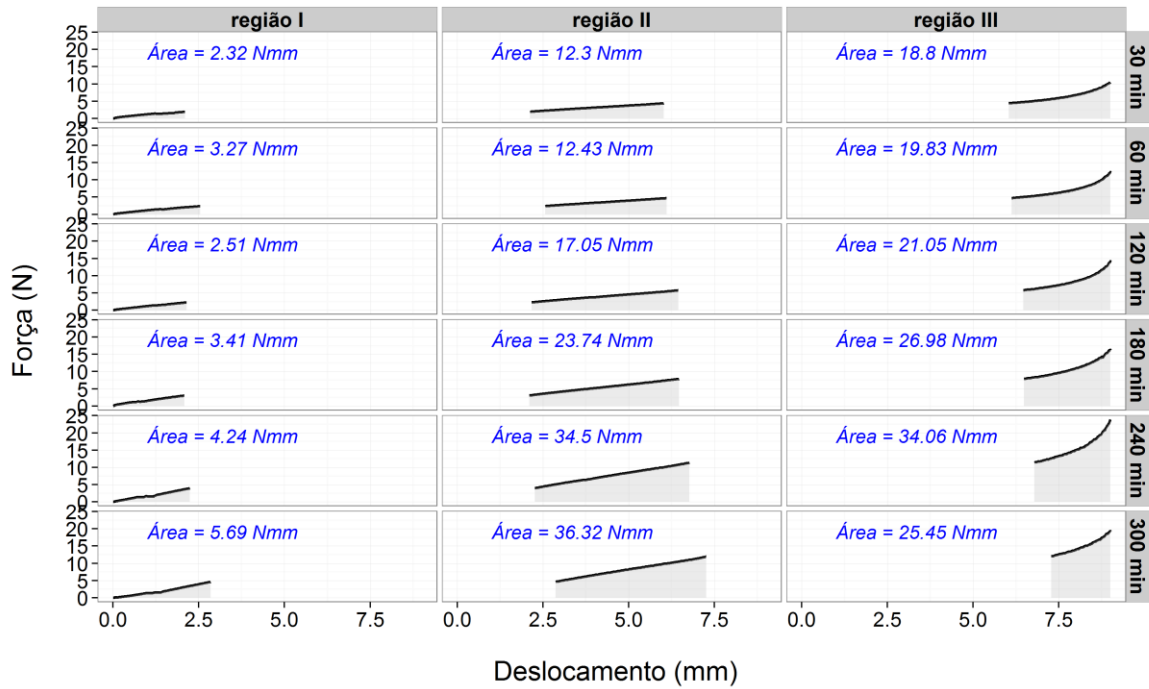
Fabricante B - Colante ACII



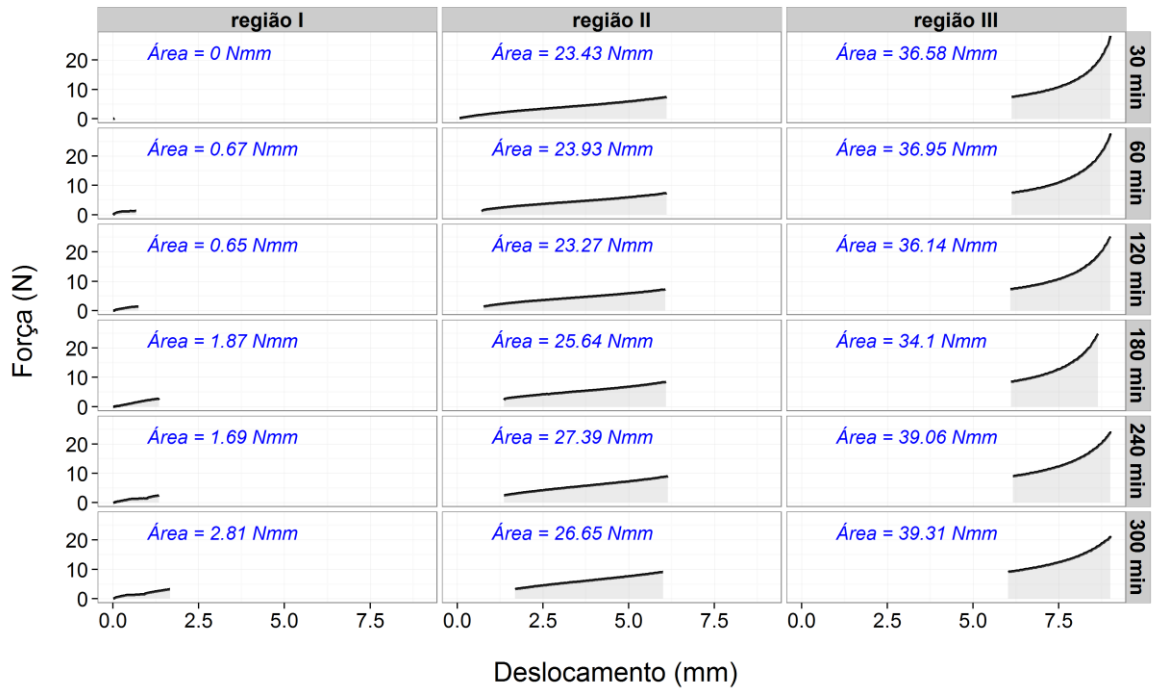
Fabricante B - Colante ACIII



Fabricante C - Colante ACI



Fabricante C - Colante ACII



Fabricante C - Colante ACIII

