

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SANTA
CATARINA – CÂMPUS FLORIANÓPOLIS
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CONSTRUÇÃO CIVIL
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

ANA MARIA MILKEVICZ

**ESTUDO COMPARATIVO DE PARÂMETROS REOLÓGICOS DE
ARGAMASSAS COLANTES DO TIPO ACI DISPONÍVEIS NO
MERCADO**

FLORIANÓPOLIS, 2025.

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SANTA
CATARINA – CÂMPUS FLORIANÓPOLIS
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CONSTRUÇÃO CIVIL
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

ANA MARIA MILKEVICZ

**ESTUDO COMPARATIVO DE PARÂMETROS REOLÓGICOS DE
ARGAMASSAS COLANTES DO TIPO ACI DISPONÍVEIS NO
MERCADO**

Trabalho de Conclusão de Curso
submetido ao Instituto Federal de
Educação, Ciência e Tecnologia de Santa
Catarina como parte dos requisitos para
obtenção do título de Engenheiro Civil.

Orientadora:
Profa. Juliana Machado Casali, Dra.

FLORIANÓPOLIS, 2025.

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor.

Milkevicz, Ana Maria

Estudo comparativo de parâmetros reológicos de argamassa colantes do tipo AC1 disponíveis no mercado / Ana Maria Milkevicz; orientação de Juliana Machado Casali.
- Florianópolis, SC, 2025.

30 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) - Instituto Federal de Santa Catarina, Câmpus Florianópolis. Bacharelado em Engenharia Civil. Departamento Acadêmico de Construção Civil.
Inclui Referências.

1. Argamassa colante. 2. Eficiência de mistura.
3. Propriedades reológicas. I. Machado Casali, Juliana. II. Instituto Federal de Santa Catarina. III. Estudo comparativo de parâmetros reológicos de argamassa colantes do tipo AC1 disponíveis no mercado.

**ESTUDO COMPARATIVO DE PARÂMETROS REOLÓGICOS DE ARGAMASSAS
COLANTES DO TIPO ACI DISPONÍVEIS NO MERCADO**

ANA MARIA MILKEVICZ

Este trabalho foi julgado adequado para obtenção do título de Engenheiro Civil e aprovado na sua forma final pela banca examinadora do Curso de Engenharia Civil do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina.

Florianópolis, 25 de fevereiro de 2025.

Banca Examinadora:

Juliana Machado Casali, Dra.

Instituto Federal de Santa Catarina

Andrea Murillo Betioli, Dra.

Instituto Federal de Santa Catarina

Luciana Maltez Calçada, Dra.

Instituto Federal de Santa Catarina

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus, que me concedeu força e sabedoria para superar mais essa etapa com êxito.

Agradeço aos meus pais, Luana dos Santos e Paulo Vilson Milkevicz pelo apoio incondicional e por estarem ao meu lado em cada momento da minha vida, sempre me incentivando.

Ao meu irmão, embora ainda não compreenda completamente a importância deste trabalho devido à sua idade, sou grata pelo carinho e pela motivação.

A minha orientadora e professora Juliana Casali, por sua orientação valiosa, paciência e dedicação, foram fundamentais para a construção deste trabalho.

Aos meus amigos, família e colegas de trabalho, que me acompanharam e forneceram apoio durante esses anos de graduação.

Por fim, todos que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação, o meu muito obrigado.

"Cada sonho que você deixa
pra trás, é um pedaço do seu
futuro que deixa de existir."

STEVE JOBS

SUMÁRIO

RESUMO.....	7
1 INTRODUÇÃO.....	8
2 MATERIAIS E MÉTODO	11
2.1 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS.....	11
2.2 MÉTODO.....	13
3 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	16
4 CONCLUSÃO.....	26
ABSTRACT.....	27
REFERÊNCIAS.....	28

ESTUDO COMPARATIVO DE PARÂMETROS REOLÓGICOS DE ARGAMASSAS COLANTES DO TIPO ACI DISPONÍVEIS NO MERCADO

Ana Maria Milkevicz^{1*}

RESUMO

O Brasil é o terceiro maior mercado consumidor mundial de revestimentos cerâmicos e louças sanitárias, segundo a Associação Nacional dos Fabricantes de Cerâmica para Revestimentos (2025). Os revestimentos cerâmicos são assentados com argamassas colantes, sendo diversos produtos disponíveis no mercado. No entanto, existem diferenças entre os mesmos em relação à forma de preparo e aplicabilidade. Assim, o objetivo deste artigo foi avaliar a eficiência de mistura e das propriedades reológicas de cinco argamassas colantes do tipo ACI disponíveis no mercado brasileiro. A eficiência de mistura foi avaliada com o preparo das argamassas em reômetro rotacional. As misturas foram caracterizadas por reometria rotacional, *Squeeze-flow* e *Pull out*. Os resultados obtidos demonstraram diferenças significativas entre as argamassas em relação à eficiência de mistura, tensão de escoamento e viscosidade plástica. Embora as argamassas tenham sido elaboradas para a mesma finalidade, essas variações demonstram que cada formulação possui características distintas, as quais podem ser aprimoradas para atender a aplicação correta.

Palavras-Chave: Argamassa Colante. Eficiência de Mistura. Propriedades reológicas.

^{1*} Ana Maria Milkevicz, Instituto Federal de Santa Catarina. Florianópolis, Santa Catarina, Brasil.

1 INTRODUÇÃO

A argamassa colante é definida pela norma NBR 14081-1 (ABNT, 2012) como um produto industrial, no estado seco, composto de cimento Portland, agregados minerais e aditivos químicos, que quando misturada com água, forma uma massa viscosa, plástica e aderente, empregada no assentamento de placas cerâmicas para revestimento. A argamassa colante é classificada em três tipos. Primeiramente como argamassa colante industrializada tipo I, conhecida como AC I, recomendadas para revestimentos internos, com exceção daqueles aplicados em ambientes que possuem variação de temperatura, como saunas e churrasqueiras. Em segundo, a argamassa colante industrializada tipo II (AC II) recomendada para revestimentos de pisos e paredes internos e externos sujeitos a variações de temperatura, umidade e ação do vento. E, por último, argamassa colante industrializada tipo III (AC III), argamassa colante industrializada que apresenta aderência superior em relação às argamassas dos tipos I e do tipo II. A NBR 14081-1 (ABNT, 2012) ainda indica que pode ser subdividida em tipo E, a qual tem tempo em aberto estendido e a tipo D, com deslizamento reduzido.

Os tipos de argamassa colante fabricados atualmente no país são preconizados na normalização brasileira NBR 14081 (ABNT, 2012), classificados em função do deslizamento, da resistência de aderência à tração, e do tempo em aberto. Porém, não possuem outros ensaios de caracterização no estado fresco além do ensaio de deslizamento. No entanto, como descrito por Marvilla (2018), as propriedades reológicas das argamassas no estado fresco são de extrema importância, uma vez que são essas características que permitem a obtenção do comportamento desses materiais quanto ao espalhamento, nivelamento e acabamento de revestimentos e que essas propriedades irão interferir diretamente no desempenho e na durabilidade das argamassas em serviço.

De acordo com a ANFACER (2025), (Associação Nacional dos Fabricantes de Cerâmica para Revestimentos, Louças Sanitárias e Congêneres), o Brasil está na terceira posição, sendo um dos maiores produtores mundiais de revestimentos cerâmicos e louças sanitárias com produção de 927 milhões de m² em 2022, atrás apenas da China e da Índia, além de posicionar-se, também, como terceiro maior mercado consumidor. Levando em consideração esse expressivo mercado em cerâmicas, existe grande utilização de argamassas colantes, na qual encontram-se

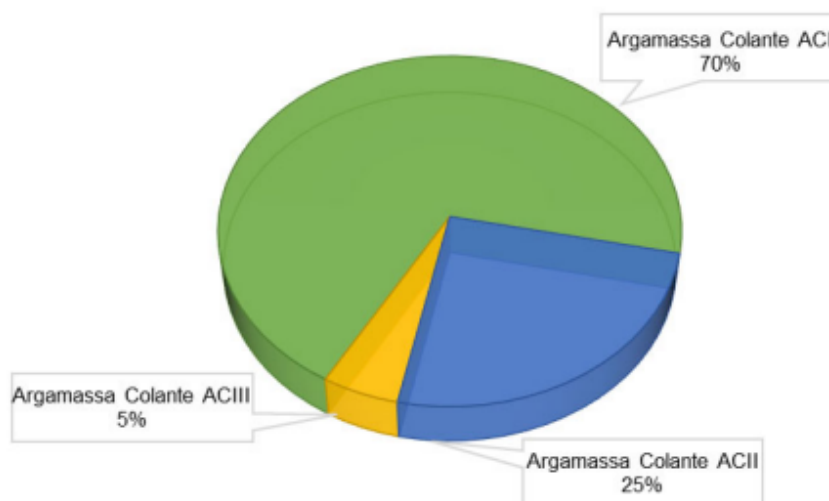
diversas indústrias no Brasil, e conseqüentemente, a qualidade desse material é um tópico relevante.

Outras autoras, como Kudo (2012), Costa (2006) e Oliveira (2015) já abordaram a argamassa colante como tema de suas pesquisas. Kudo (2012) descreve os métodos aplicados para caracterização reológica em argamassas colantes e identifica características relevantes no estado fresco. Costa (2006), realiza a caracterização do comportamento reológico das argamassas colantes por meio do ensaio *Squeeze flow*. E por sua vez, Oliveira (2015) avaliou e determinou o tempo de consolidação das argamassas colantes dos tipos ACI, ACII e ACIII por meio dos ensaios de *Squeeze flow* e *Pull out flow*, concluindo que 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.

Segundo Kudo (2012), quando a avaliação do produto é feita em campo pelo aplicador por meios de aspectos sensoriais, como a facilidade ou dificuldade de mistura da argamassa, é normalmente classificada em: pesada, leve, macia, áspera, com liga, entre outros. Porém, estas descrições são subjetivas e não qualificam a aplicabilidade do produto, além do que induzem a erros de avaliação, pois cada aplicador tem uma percepção diferente sobre o produto e a definição de trabalhabilidade não é simples.

Conforme o SINAPROCIM, com base em dados da pesquisa de fevereiro de 2023, estimou o volume total de argamassas colantes para assentamento de placas cerâmicas, indicando que 70% do mercado nacional trata-se de utilização de argamassas colantes ACI, enquanto isso a argamassa colante tipo ACII representa 25% do mercado nacional como é apresentado na Figura 1 (Programa Setorial Da Qualidade De Argamassas Colantes, 2024).

Figura 1: Percentual dos tipos de argamassas colantes em relação ao volume total nacional.



Fonte: Programa Setorial Da Qualidade De Argamassas Colantes (2024)

Sendo assim, considerando a grande utilização desse material, em específico o tipo ACI, e sua importância para construção civil por trazer benefícios como maior produtividade na execução do assentamento de placas cerâmicas; maior uniformidade do produto; menor consumo de material comparado à argamassa tradicional e redução de desperdícios na hora da dosagem e do transporte até o local do assentamento da placa cerâmica (Póvoas, 1999). Além do problema da falta de ensaios de caracterização no estado fresco e eficiência de mistura das argamassas colantes do tipo ACI. Pois as argamassas colantes são elaboradas para garantir uma adesão eficaz ao substrato, e a eficiência do processo de mistura influencia diretamente a distribuição dos agregados, aditivos e ligantes. Um processo de mistura adequado assegura a homogeneidade e a uniformidade dos componentes da argamassa. Essa eficiência é fundamental para garantir as propriedades mecânicas e adesivas do material, incluindo sua durabilidade. O objetivo geral deste trabalho é comparar os parâmetros reológicos de cinco argamassas colantes do tipo ACI comercializadas no mercado da construção civil.

Os objetivos específicos foram: selecionar e caracterizar as cinco argamassas colante presentes no mercado nacional; avaliar as propriedades reológicas das argamassas selecionadas; avaliar a eficiência de mistura das argamassas e suas

influências nas características reológicas; comparar os resultados das argamassas distintas analisadas e por fim contribuir com estudos que visem aprimorar o desempenho desses materiais.

2 MATERIAIS E MÉTODO

Primeiramente foi realizada a caracterização das argamassas do tipo ACI selecionadas para o estudo, em seguida foi feita a análise no estado fresco da eficiência de mistura e das propriedades reológicas por meio de reometria rotacional e elongacional (*squeeze e pull out*). Por fim, foi feita uma comparação dos resultados obtidos.

2.1 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

Primeiramente foi feita a seleção nas lojas de material de construção regional de cinco argamassas colantes do tipo ACI e sua caracterização, sendo realizado o levantamento com as informações da embalagem de fábrica, como modo de preparo e a proporção de água. Além das informações sobre tempo de repouso das argamassas após a mistura, caso este fosse citado.

Na sequência foi avaliada a composição do material retido na peneira 0,075 mm após a secagem do material obtido por lavagem (NBR NM 46, ABNT 2001). Com a realização da lavagem foram determinadas a proporção de material fino (cimento Portland, material pulverulento do agregado miúdo e adições) e material grosso retido na peneira 0,075mm.

Para a caracterização da argamassa anidra foi determinada a massa específica com querosene (Tabela 1), conforme a norma NBR NM 23 (ABNT, 2001). Também foi determinada a porcentagem de material pulverulento da argamassa anidra passante na peneira 0,075mm, realizado conforme a norma do teor de material pulverulento para agregados (NBR 16973, ABNT 2021) (Tabela 1). Seguida pela composição granulométrica (Tabela 02 e Figura 2). Nesta etapa foi feita a separação de uma amostra de 300g de material seco na estufa e seguido os procedimentos da norma NBR 7217 (ABNT,1987). Foi realizado, também, o ensaio de massa específica da fração grossa com picnômetro.

Tabela 1 – Característica das argamassas utilizadas

Propriedade	Argamassa 1	Argamassa 2	Argamassa 3	Argamassa 4	Argamassa 5
Massa específica da argamassa anidra (g/cm ³)	2,71	2,73	2,78	2,74	2,74
Material passante da argamassa anidra (%)	17,33	17,02	26,45	17,28	23,51

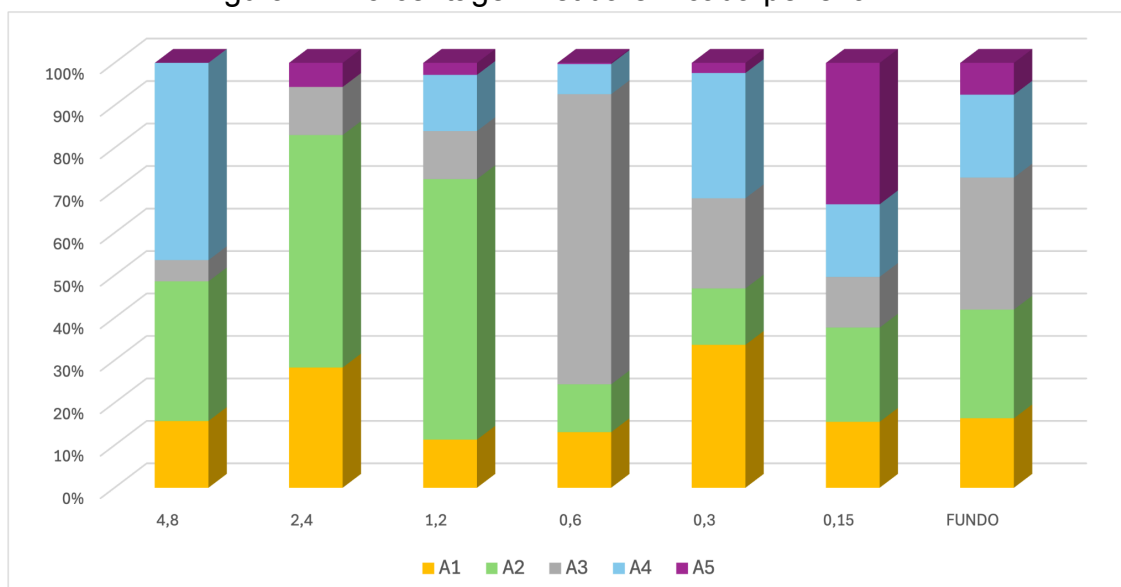
Fonte: De autoria própria, 2025.

Tabela 2 – Característica dos agregados obtidas das argamassas utilizadas

Abertura das malhas (mm)	Porcentagem Retida Acumulada (%)				
	Argamassa 1	Argamassa 2	Argamassa 3	Argamassa 4	Argamassa 5
4,8	0,22	0,46	0,07	0,65	0
2,4	0,38	0,76	0,13	0,65	0,03
1,2	0,50	1,41	0,25	0,79	0,06
0,6	4,09	4,50	18,98	2,74	0,13
0,3	45,80	20,97	45,33	39,29	3,08
0,15	88,55	82,08	78,23	86,34	94,76
FUNDO	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Massa específica da fração grossa (g/cm ³)	2,61	2,65	2,69	2,58	2,61

Fonte: De autoria própria, 2025.

Figura 2 - Porcentagem retida em cada peneira



Fonte: De autoria própria, 2025.

2.2 MÉTODO

Foram misturados 8 kg de argamassa colante do tipo I (ACI) com a proporção de água indicada por cada fabricante na embalagem (conforme Tabela 3), no reômetro Pheso com haleta giratória (Figura 3).

Figura 3 - Reômetro Pheso



Fonte: De autoria própria, 2024.

Tabela 3 – Quantidade de material utilizado e densidade teórica

Argamassa	Massa anidra (kg)	Quantidade de água (l)	Densidade de massa teórica (g/cm ³)	Tempo de descanso (min)
A1	8	1,68	2,09	15
A2	8	1,84	2,06	15
A3	8	1,90	2,07	10
A4	8	1,68	2,10	10
A5	8	1,60	2,12	15

Fonte: De autoria própria, 2025.

A mistura teve duração de 9 minutos (540 s), no qual até os primeiros 100 s era misturado o material anidro, em seguida a água era adicionada constantemente entre 100s a 200s e o restante do tempo foi destinado para a realização da mistura da argamassa, conforme realizado por Nascimento (2023).

Nesta etapa foi possível observar alguns parâmetros, conforme apresentado por Brasileiro (2023), como: o torque máximo obtido (pode estar relacionado com a

potência máxima do equipamento), a energia de mistura (a partir da área abaixo da curva - energia total utilizada para a realização do processo) e o tempo para início do platô (indicando o momento de homogeneidade do sistema). A Figura 5a apresenta o ciclo utilizado de velocidade (rpm) por tempo, assim avaliando a eficiência de mistura de cada argamassa.

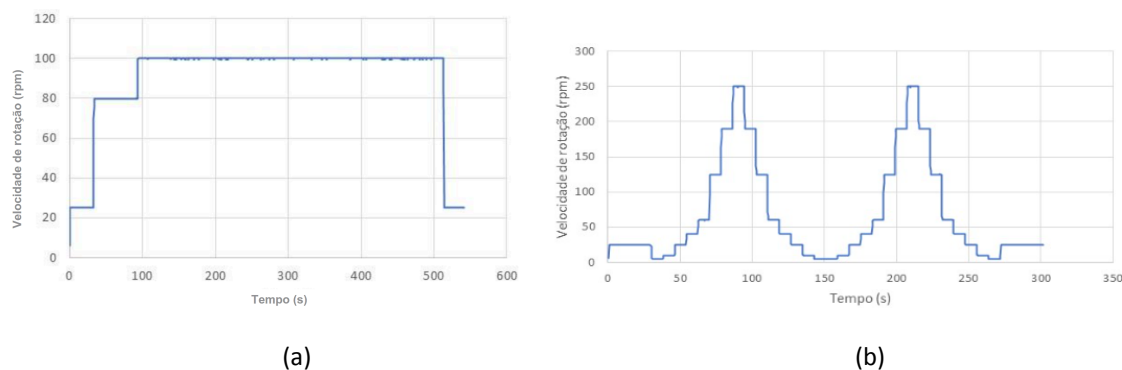
Ao finalizar o processo no Pheso, a argamassa era retirada do reômetro, e o processo de mistura terminava com mais 60 s no misturador de argamassa manual (Figura 4) para garantir a completa homogeneização. Após essa etapa era finalizado o processo de mistura e a argamassa colante permaneceu em repouso por 15 minutos. Este tempo padrão foi adotado neste trabalho com base nas referências dos fabricantes como tempo de descanso. Após esse período, a argamassa era avaliada no reômetro rotacional Pheso com eixo central. Primeiramente foi realizado um pré-cisalhamento com taxa de cisalhamento de 100 s^{-1} com duração de 60s, em seguida foi realizado o primeiro ciclo (rampa de subida de 0 a 250 rpm e rampa de descida de 250 a 0 rpm) e depois o segundo com as mesmas rampas, a partir das quais foi realizada a caracterização reológica da argamassa no reômetro Pheso (Figura 5b).

Figura 4 - Misturador de argamassa manual



Fonte: De autoria própria, 2024.

Figura 5 - a) Ciclo de eficiência de mistura e b) ciclo de avaliação realizado no reômetro Pheso



Fonte: De autoria própria, 2025.

Após as medições com o reômetro Pheso, foi determinada a densidade de massa, e o teor de ar incorporado (NBR 13278, ABNT, 2005) e era realizada a caracterização reológica por dois métodos. O primeiro método utilizado foi por reometria rotacional no reômetro Haake Mars 40 (Figura 6) utilizando-se a geometria cilindros concêntricos aletados (Vane Test) com o emprego de 25 ml de material (volumes definidos pelo fabricante do equipamento), em temperatura de $23^{\circ}\text{C} \pm 0,1^{\circ}\text{C}$ e com gap de 11 mm. Primeiramente, aplicou-se um pré-cisalhamento a uma taxa de cisalhamento de 100 s^{-1} com duração de 60s. Em seguida, a amostra foi submetida a um ciclo de aceleração (ascendente) com taxa de cisalhamento de $0,1\text{ s}^{-1}$ a 100 s^{-1} seguido de uma desaceleração (descendente) de 100 s^{-1} a $0,1\text{ s}^{-1}$. Os parâmetros reológicos foram obtidos pelo modelo de Bingham aplicado na segunda curva de descida e a viscosidade plástica na maior taxa de cisalhamento. Cabe ressaltar que devido ao fato de não haver um fluxo definido ao redor das extremidades da aleta nesta geometria, a variável M para o cálculo da taxa de cisalhamento foi intitulada como 1, conforme Brasileiro (2023).

Figura 6 - Reômetro Haake Mars 40



Fonte: De autoria própria, 2024.

O segundo método realizado foi o *Squeeze flow* e *Pull out flow*, a configuração utilizada foi a mesma empregada por Kudo (2012), punção de 50,8 mm (2 Pol), molde restritivo de 101,6 mm (4 Pol), aplicando-se taxa de deslocamento de 0,1 mm/s, e aperto até a profundidade de 10 mm, realizado em máquina universal que permitiu taxa de deslocamento controlado.

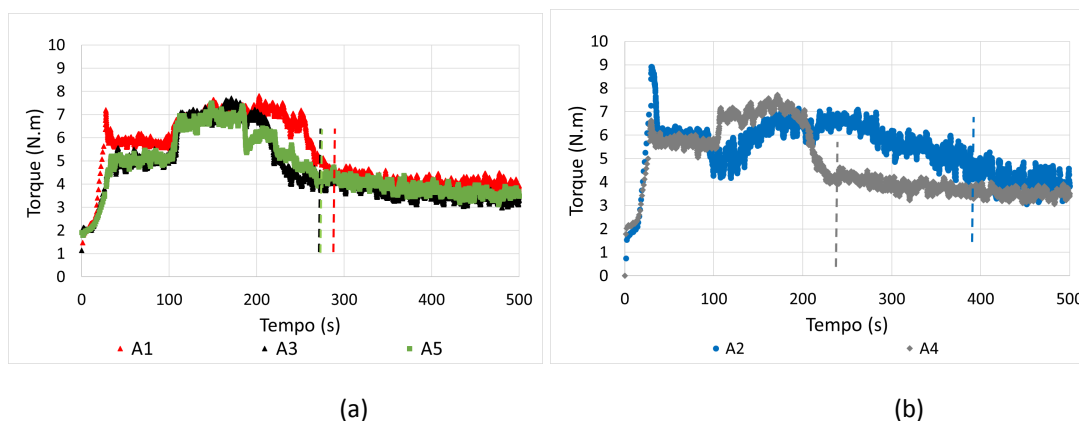
As propriedades descritas anteriormente (densidade de massa, teor de ar incorporado e caracterização reológica) foram avaliadas no tempo 0 minuto, 60 minutos e 90 minutos, considerados após os 15 minutos de repouso, posterior à mistura, com exceção da determinação das propriedades reológicas no reômetro Pheso, na qual foram realizadas apenas no tempo de 0 minutos, após o repouso. O material permaneceu armazenado em potes herméticos no período de intervalo dos ensaios e antes de iniciar era realizada uma remistura manual por 30 segundos. Cabe ressaltar que os dois equipamentos foram utilizados, pois a eficiência de mistura só era possível avaliar com reômetro Pheso. Além disso, foi possível comparar os resultados obtidos de caracterização reológica entre os equipamentos.

3 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A Figura 4 apresenta a eficiência de mistura, torque (N.m) *versus* tempo (s) obtido para as argamassas colantes ACI avaliadas. Assim, é possível analisar três

parâmetros: torque máximo (considerado somente após a adição de água), tempo para início do platô (indicada pela linha tracejada na Figura) e energia de mistura, os quais são apresentados na Tabela 4.

Figura 7 - Torque *versus* tempo: a) argamassa A1, A3 e A5 e b) argamassas A2 e A4



Fonte: De autoria própria, 2025.

Observa-se na Figura 7 que para as argamassas A1 e A2 ocorreu um pico inicial de torque ainda com o material seco. Esse material seco deve ter apresentado uma pequena resistência no momento do início da mistura. Assim, todas as análises foram realizadas a partir dos 100 s, quando era iniciada a adição de água.

O maior torque necessário para realizar a mistura foi para a argamassa A1 e o menor torque foi para a argamassa A2. No entanto, apesar de ser necessário um torque menor, o tempo de mistura para essa argamassa, A2, foi superior a todas as misturas (390 s - Tabela 4). Além disso, para a A2 foi necessário a maior energia de mistura, isto é, maior dificuldade para homogeneização. A argamassa A4 apresentou a menor energia de mistura e o menor tempo de mistura, mesmo assim o tempo observado de 240 s foi superior ao verificado por Kudo (2012) de 150 s para argamassa do tipo I (ACI). As demais argamassas, A3, A1 e A5, apresentaram tempos de mistura semelhantes para obter a homogeneidade. Desse modo, foi possível observar a influência na eficiência de mistura para as argamassas destinadas para a mesma função.

Na Tabela 4, os dados de densidade de massa e teor de ar incorporado foram apresentados em quatro intervalos de tempo, mas não houve variação ao longo do período analisado, a diferença observada pode ser atribuída à variabilidade intrínseca ao método de ensaio.

Tabela 4 – Eficiência de mistura das argamassas avaliadas

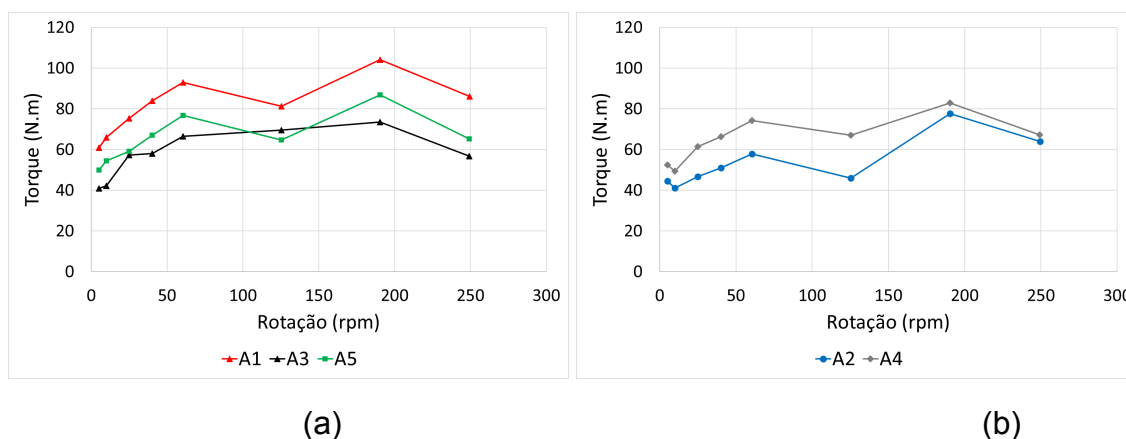
Argamassa	Torque máximo* (N.m)	Tempo de início do platô (s)	Energia de Mistura* (N.m.s)
A1	7,81	290	2240,57
A2	7,13	390	2270,98
A3	7,69	270	1983,08
A4	7,71	240	1966,56
A5	7,50	270	2016,02

* Valor considerado somente após os 100 segundos a partir da adição de água

Fonte: De autoria própria, 2025.

Os valores obtidos na avaliação das misturas no reômetro Pheso (torque *versus* rotação) estão apresentados na Figura 8 é apresentada a curva de descida no tempo de avaliação de 0 hora. Essa representação foi escolhida, pois apresentou as melhores correlações com os dados obtidos.

Figura 8 - Torque *versus* tempo: a) argamassa A1, A3 e A5 e b) argamassas A2 e A4



Fonte: De autoria própria, 2025.

Observa-se na Figura 8 que os maiores torques, independentemente da rotação avaliada, foram obtidos para a argamassa A1, semelhante ao comportamento obtido para a mistura do material (Tabela 4). Assim como os menores valores de torque foram observados para a argamassa A2, também semelhante ao obtido no toque máximo verificado na mistura (Tabela 4). Desse modo, verificou-se que o comportamento da eficiência de mistura também foi observado durante a avaliação das propriedades reológicas.

Na Tabela 5, os valores de densidade de massa e teor de ar incorporado são apresentados para os tempos pré-definidos, onde observa-se que não houve variações significativas ao longo do período analisado. Possivelmente, a diferença observada pode ser atribuída à variabilidade intrínseca ao método de ensaio, pois somente foi observada uma pequena redução do teor de ar incorporado aos 120 minutos.

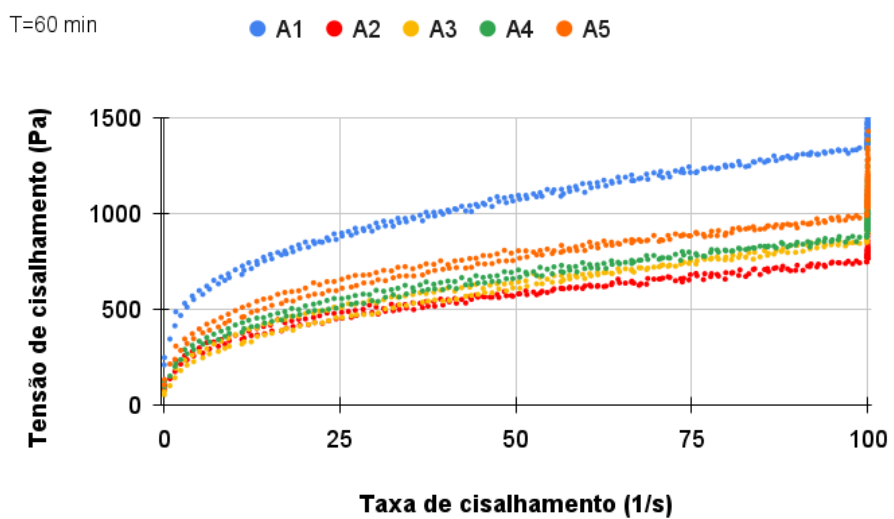
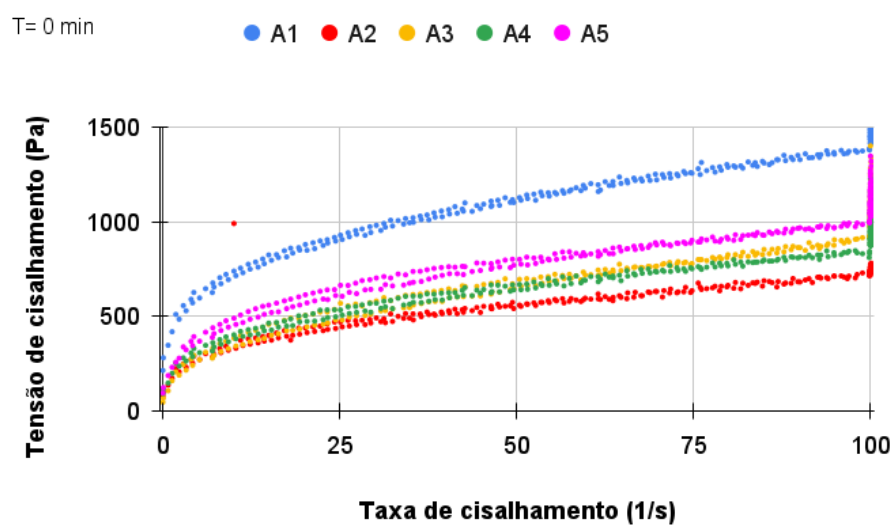
Tabela 5 – Densidade de massa e o teor de ar incorporado das argamassas estudadas ao longo do tempo de avaliação.

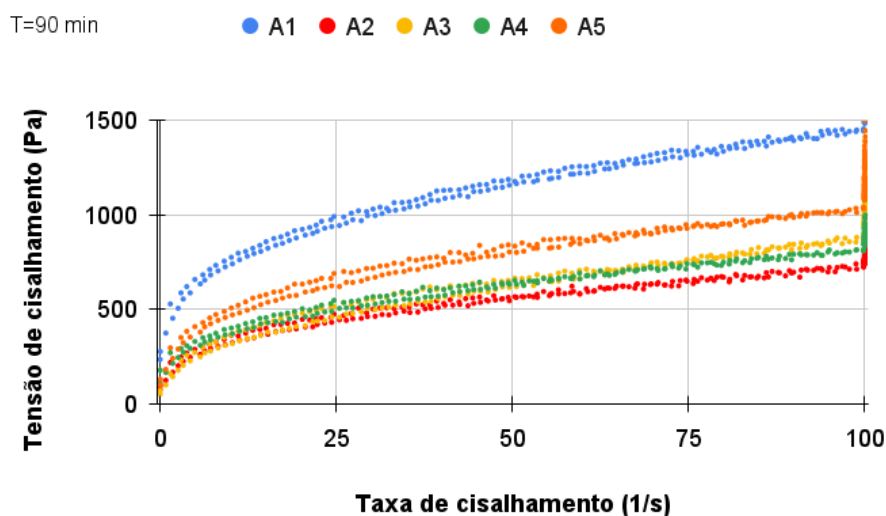
Argamassa	Densidade massa (g/cm ³)			Teor de ar incorporado (%)		
	0	60	90	0	60	90
A1	1,63	1,63	1,62	22,17	22,02	22,34
A2	1,58	1,58	1,58	23,30	23,17	23,21
A3	1,70	1,69	1,69	17,99	18,60	18,26
A4	1,71	1,70	1,71	18,73	19,27	18,84
A5	1,73	1,73	1,73	18,74	18,61	18,57

Fonte: De autoria própria, 2025.

Na Figura 9 são apresentados os valores obtidos de tensão de cisalhamento *versus* taxa de cisalhamento para as argamassas avaliadas no reômetro MARS 40 em 0h, 1h, 1,5h. Observa-se que não foram verificadas diferenças significativas entre o comportamento das argamassas ao longo do tempo estipulado de avaliação. Desse modo, seria possível utilizar essas argamassas até com 90 minutos, pois o comportamento não foi modificado e não foi observada nenhuma consolidação do material. Isso foi verificado também pela tensão de escoamento e viscosidade plástica observadas na Tabela 6.

Figura 9 - Tensão de cisalhamento *versus* taxa de cisalhamento das argamassas avaliadas em 0 min, 60 min e 90 min





Fonte: De autoria própria, 2025.

Observa-se, também, da Figura 9 e na Tabela 6, que os menores valores de tensão de cisalhamento foram observados para a argamassa A2, concordando com o comportamento obtido na Figura 8. Neste caso, também não foi observada uma diferença significativa entre os tempos de avaliação na Tabela 6, sendo observados os maiores valores para a argamassa A1, com tensão de escoamento o triplo do valor do apresentado pelas argamassas A2 e A3, as quais apresentam os menores valores, e as argamassas A4 e A5 apresentam valores intermediários. Dessa forma, pode-se concluir que quanto mais dura a argamassa, mais difícil é compactá-la, resultando em uma adesão menor. Cabe ressaltar que também é importante observar as curvas de viscosidade *versus* taxa de cisalhamento para as argamassas estudadas apresentadas na Figura 10.

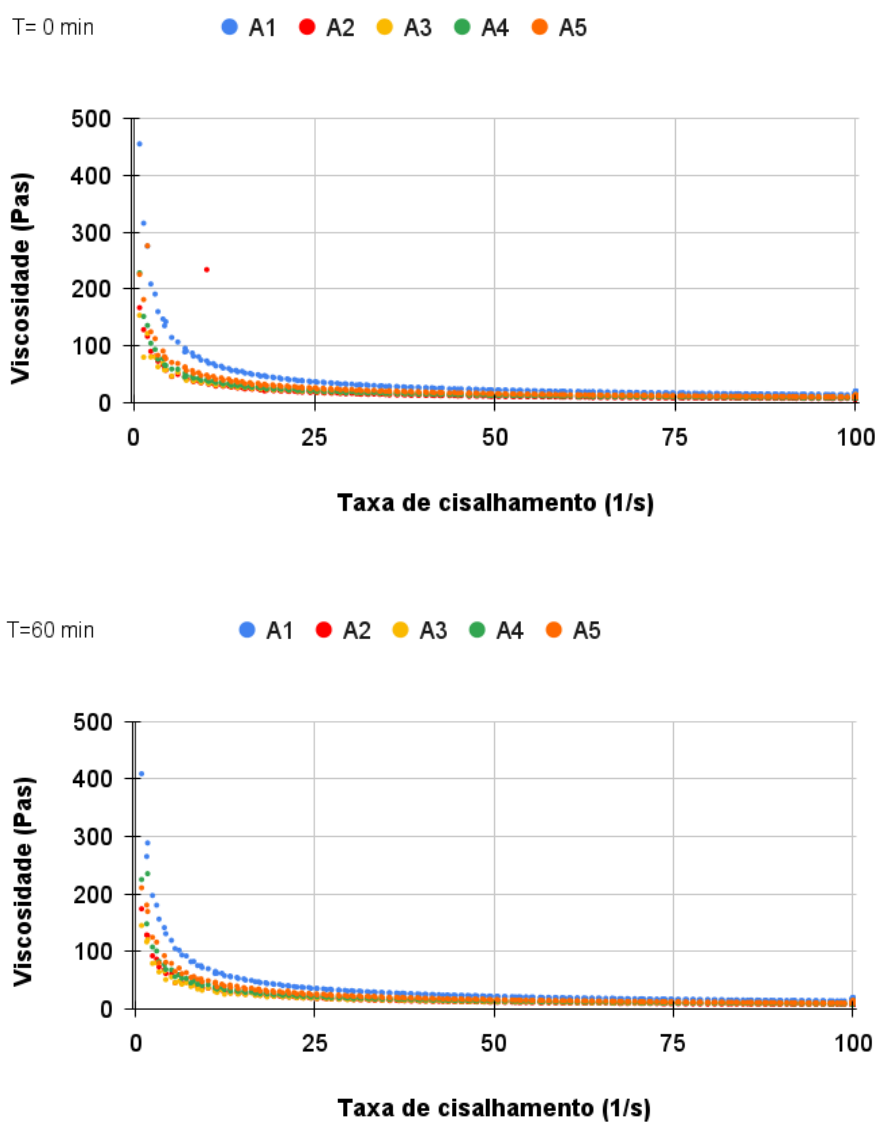
Tabela 6 – Tensão de escoamento e viscosidade plástica (máxima taxa de cisalhamento) das argamassas avaliadas conforme o tempo de avaliação

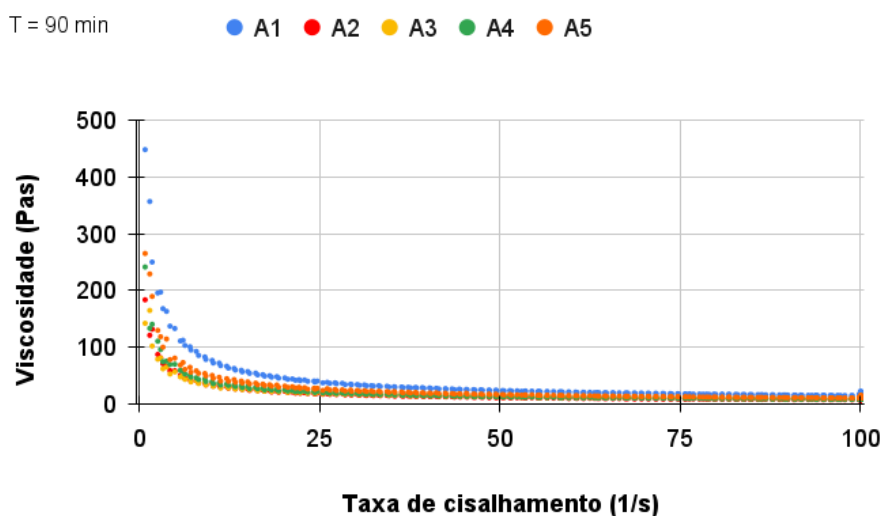
Argamassa	Tensão de escoamento (Pa)			Viscosidade plástica (Pa.s)		
	0	60	90	0	60	90
A1	654,8	627,3	682,6	13,9	13,5	14,6
A2	296,1	298,7	287,7	7,2	7,5	7,3
A3	283,5	262,0	264,4	9,2	8,6	8,8

A4	335,6	335,7	336,0	8,5	8,8	8,2
A5	408,7	409,3	421,3	10,0	10,0	10,4

Fonte: De autoria própria, 2025.

Figura 10 - Viscosidade *versus* taxa de cisalhamento das argamassas avaliadas em 0 min, 60 min e 90 min.

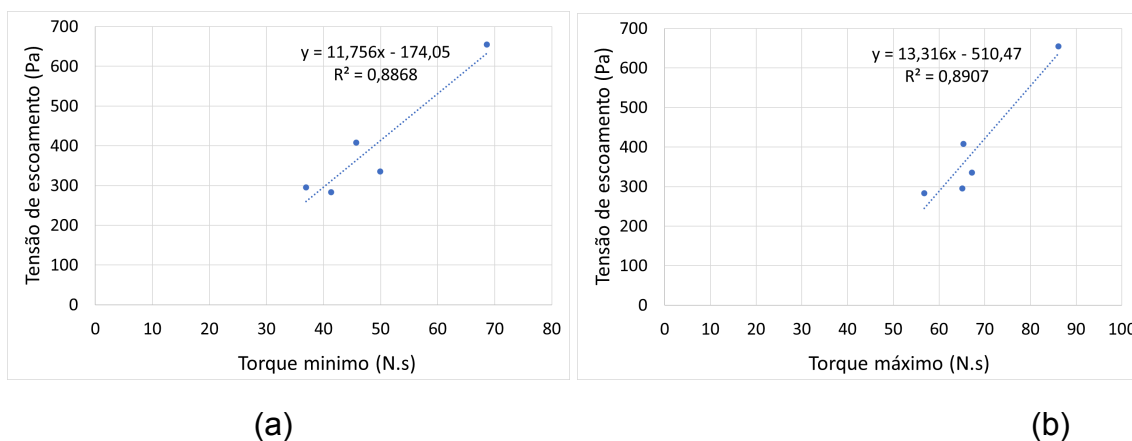




Fonte: De autoria própria, 2025.

Com os valores obtidos de parâmetros reológicos para os dois reômetros foi verificada uma boa correlação entre a tensão de escoamento (reômetro MARS 40) e último torque obtido (torque mínimo) no segundo ciclo na descida (reômetro Pheso), conforme apresentado na Figura 11a. Também foi observado uma boa relação entre a tensão de escoamento e torque máximo obtido no primeiro ciclo (Figura 8b). Assim o reômetro Pheso foi sensível para observar as diferenças obtidas nos parâmetros reológicos, como aqueles obtidos no reômetro MARS 40, pois os resultados são correlacionáveis e representativos do comportamento do material, independente do equipamento usado para a avaliação.

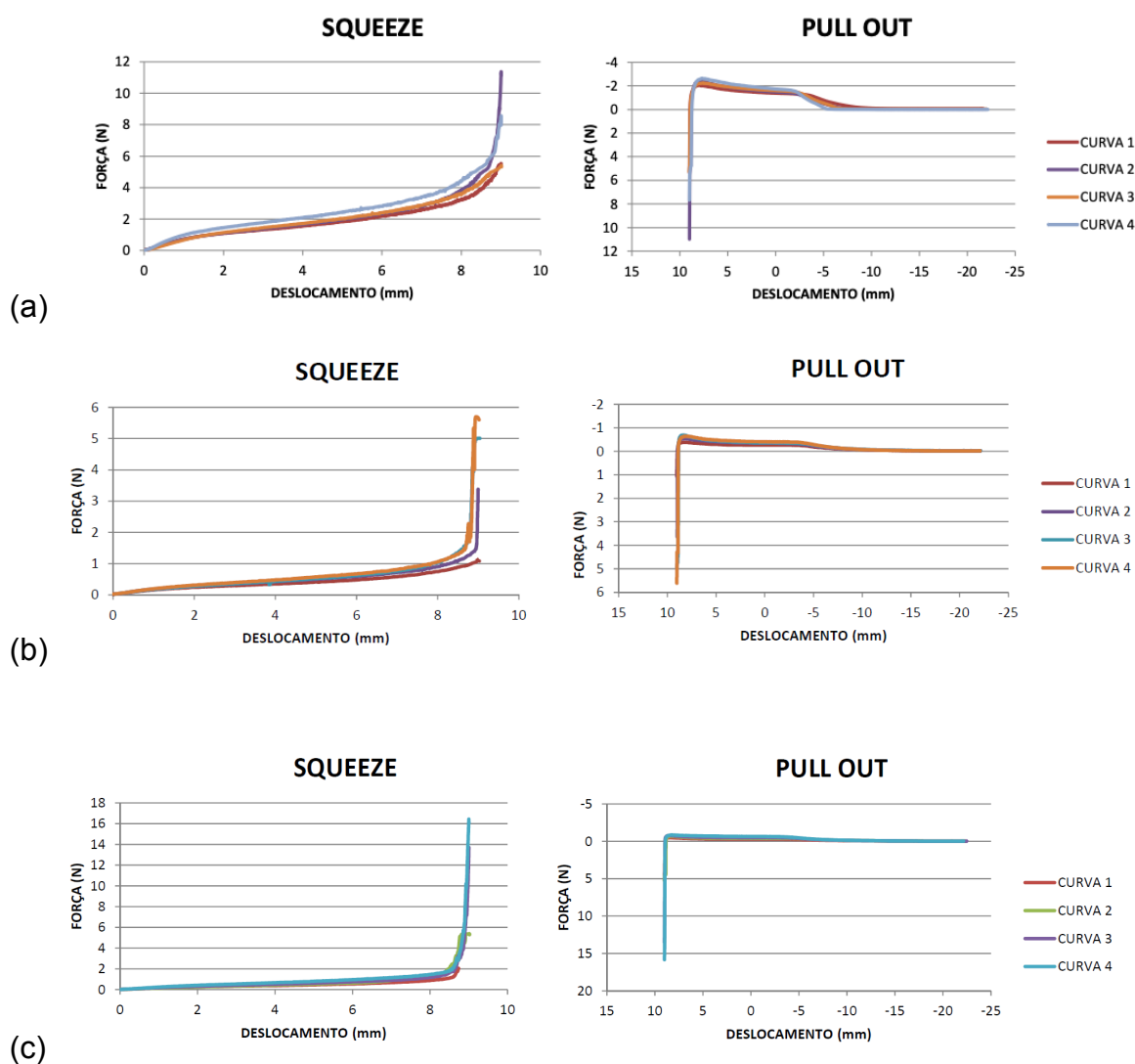
Figura 11 - a) tensão de escoamento *versus* torque mínimo e b) tensão de escoamento *versus* torque máximo.

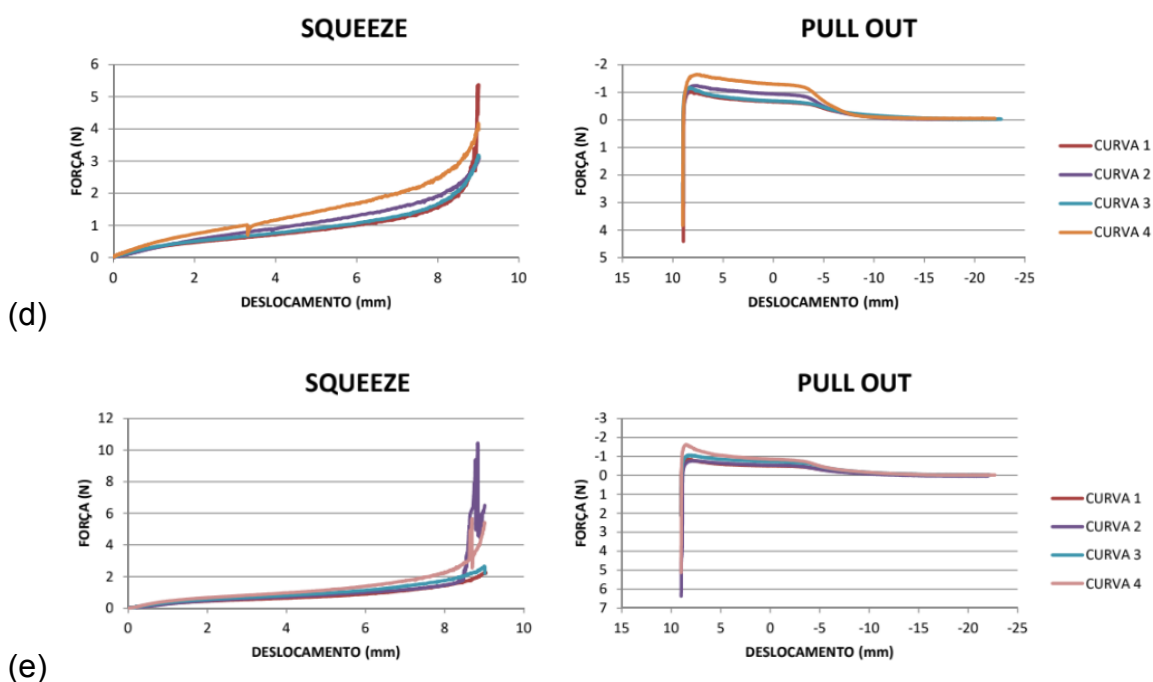


Fonte: De autoria própria, 2025.

A Figura 12 mostra o gráfico dos ensaios de Squeeze e Pull-out de cada uma das argamassas. Os resultados são semelhantes entre todas as argamassas colantes do tipo ACI. As curvas indicam que as argamassas exigem cargas maiores para se deformarem a baixos deslocamentos, mas a carga não aumenta de forma expressiva para deslocamentos maiores.

Figura 12 - Squeeze e Pull out avaliadas em 0 min, 60 min, 90 min e 120 min - (a) A1, (b) A2, (c) A3, (d) A4 e (e) A5





Fonte: De autoria própria, 2025.

No ensaio de Squeeze a argamassa colante A3 apresentou em seu perfil reológico grandes deformações sem o aumento expressivo de cargas de compressão no segundo estágio, e no terceiro estágio possui um aumento da carga de compressão elevado, superando as demais argamassas alcançando 16N. No ensaio de Pull out também apresentou comportamento distinto, mantendo uma aspecto linear, após o ponto máximo de força. Enquanto no ensaio de Squeeze a argamassa A1 apresentou a deformação plástica com maior aumento de cargas de compressão, 6N.

No ensaio Pull out flow, a argamassa colante A1 apresentou um ponto máximo de força, determinante de força adesiva do material, ultrapassando -2N. E as argamassas A2 e A3 os menores pontos máximo.

Observa-se que não foram verificadas diferenças significativas entre o comportamento das argamassas ao longo do tempo de avaliação nos dois ensaios.

4 CONCLUSÃO

A partir dos resultados obtidos, observou uma diferença significativa entre as argamassas em relação à eficiência de mistura em função da formulação das argamassas, sendo a argamassa A1 apresentando um esforço maior para a mistura e a argamassa A2 com o menor esforço, no entanto, maior tempo de mistura observado. Também foram observadas diferenças significativas entre essas duas argamassas na tensão de escoamento e na viscosidade. Cabe ressaltar que em relação ao tempo de avaliação (0 min até 90 min) não foram observadas diferenças significativas entre o teor de ar incorporado e nem nos parâmetros reológicos.

Embora as argamassas tenham sido elaboradas para a mesma finalidade, essas variações demonstram que cada formulação possui características distintas, as quais podem ser aprimoradas para atender a aplicação correta e facilidade aos usuários. Observou-se que a aplicabilidade das argamassas são distintas já durante o processo de mistura, assim como o esforço necessário para realização dos cordões e esmagamento dos mesmos para finalização do assentamento do revestimento cerâmico.

COMPARATIVE STUDY OF RHEOLOGICAL PARAMETERS OF ACI TYPE ADHESIVE MORTARS AVAILABLE ON THE MARKET

ABSTRACT

Brazil is the third-largest global consumer market for ceramic coatings and sanitary ware, according to the National Association of Ceramic Tile Manufacturers. Ceramic coatings are applied using adhesive mortars, with several products available on the market. However, there are differences between them in terms of preparation and applicability. The objective of this article was to evaluate the mixing efficiency and rheological properties of five adhesive mortars of the ACI type available on the market. Mixing efficiency was assessed by preparing the mortars using a rotational rheometer. The mixtures were characterized by rotational rheometry, Squeeze-flow, Pull-out, and setting time. The results obtained showed significant differences between the mortars regarding mixing efficiency, flow stress, and plastic viscosity. Although the mortars were formulated for the same purpose, these variations demonstrate that each formulation has distinct characteristics, which can be improved to ensure proper application.

Keywords: Adhesive Mortar. Mixing Efficiency. Rheological Properties.

REFERÊNCIAS

ANFACER. **Indústria Cerâmica Brasileira**: Perfil do setor. Disponível em: <https://www.anfacer.org.br/>. Acesso em: 20 jan. 2025.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR **14081-1**: argamassa colante industrializada para assentamento de placas cerâmicas - parte 1: requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NM **23**: cimento portland e outros materiais em pó — Determinação da massa específica. Rio de Janeiro: ABNT, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NM **52**: agregado miúdo - Determinação de massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NM **7217**: Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro: ABNT, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). 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: ABNT, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR **16973**: agregados - determinação do material fino que passa pela peneira de 75 µm por lavagem. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR **17054**: agregados - determinação da composição granulométrica - método de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2022.

BRASILEIRO, G. C. P. **Avaliação do comportamento reológico de argamassas através de reometria rotacional: variação dos tipos de geometria e protocolos de ensaio**. 2023. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2023. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3146/tde-16042024-102848/pt-br.php>. Acesso em: 12 jan. 2025.

COSTA, M. R. M. M. **Análise comparativa de argamassas colantes de mercado através de parâmetros reológicos**. São Paulo. 2006. 131 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

KUDO, E. K. **Caracterização reológica de argamassas colantes**. São Paulo, 2012. 140 f. Dissertação (Mestre em Engenharia Civil) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

MARVILA, M. T. **Desenvolvimento de uma aditivo para argamassas de múltiplo uso com uma composição argila-calcário**. 2018. 184 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil., Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro – Uenf, Campos dos Goytacazes, 2018.

NASCIMENTO, C. E. **Avaliação da influência da variabilidade de lotes de cimento Portland nas propriedades reológicas de pastas cimentícias para concretos de alto desempenho**. 2023. Trabalho de conclusão de curso (Graduação) - Instituto Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2023.

OLIVEIRA, Marcelo de Jesus Dias de. **Avaliação do tempo de consolidação de argamassas colantes através de métodos reológicos**. 2015. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2015.

PÓVOAS, Y. V. **Tempo em aberto da argamassa colante: método de medida e influência dos aditivos HEC e resina PVAc**. 1999. 156 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

PROGRAMA SETORIAL DA QUALIDADE DE ARGAMASSAS COLANTES. RELATÓRIO DE ACOMPANHAMENTO DO PROGRAMA SETORIAL DA QUALIDADE DE ARGAMASSAS COLANTES - 2023. São Paulo, 2024.