AVALIAÇÃO DA TENACIDADE DE ARGAMASSAS COLANTES SUBMETIDAS A ESFORÇOS SIMULTÂNEOS DE TRAÇÃO E CISALHAMENTO[1]

SILVA, A.C.M. (anne.carolinemelo@hotmail.com) – Universidade Católica de Pernambuco;
COSTA E SILVA, A.J. (angelo@tecomat.com.br) – Universidade Católica de Pernambuco;
TORRES, S.M. (sandromardentorres@yahoo.co.uk) – Universidade Federal da Paraíba;
CAMARA, F.F.L. (eng2.felipe@gmail.com) – Universidade de Pernambuco.

ABSTRACT

In Brazil, the most used methodology to evaluate the adhesion of ceramic coatings is the adhesion strength test to direct traction, however, such evaluation may be insufficient to verify the adhesion quality of the coatings to the substrate, since, several researchers consider that the adhesion of the system results not only from the tensile strength, but also from the shear bond strength and the adhesion extension of the mortar. This project aims to contribute to the study and understanding of the influence of the type of adhesive mortar through the analysis of the toughness obtained from the area under the Force x Displacement curve in mixed mode of stresses. The main parameters considered in the test were the type of adhesive mortar used, the size of the contact failure in the adhesion extension between the mortar and the ceramic plate, and the thickness of the adhesive mortar mattress. The experimental results show that, for all analyzed situations, AC III mortar obtained higher toughness results than AC II mortar, confirming the performance of AC III from the point of view of adhesion strength.

***Keywords**: Mixed Mode. Adhesive Mortar. Tenacity.*

1 INTRODUÇÃO

Os revestimentos de argamassa de base cimentícia são utilizados em várias partes do mundo como uma camada de proteção e vedação da estrutura, e em alguns casos ele também funciona como acabamento decorativo. Apesar de sua longa tradição de uso, os revestimentos de argamassa apresentam pontos relativos ao seu desempenho que ainda não foram completamente estudados, como o seu comportamento mecânico quando submetido a esforços simultâneos de tração e cisalhamento.

Para que o nível de desempenho de uma argamassa de revestimento seja mantido durante toda a sua vida útil, é preciso que o sistema consiga suportar os agentes naturais de degradação, e também as ações oriundas das deformações da base de suporte.

Segundo Carasek (2007), as deformações podem ser de grande ou de pequena amplitude, e as argamassas de revestimento precisam possuir capacidade de absorver parte desses esforços, em espcial aqueles que

[1] SILVA, A.C.M.; COSTA E SILVA, A.J.; TORRES, S.M.; CÂMARA, F.F.L. Avaliação da tenacidade de argamassas colantes submetidas a esforços simultâneos de tração e cisalhamento. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 17., 2018, Foz do Iguaçu. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2018.

decorrem da ação da umidade ou da temperatura.

De acordo com Maciel, Barros e Sabbatini (1998), a capacidade de absorver deformações é a propriedade que o revestimento apresenta quando exposto a pequenas tensões, devendo suportar as mesmas sem apresentar rupturas ou deformações que comprometam sua estrutura, aderência, estanqueidade e durabilidade. Os autores ainda complementam dizendo que a capacidade de uma argamassa de absorver deformações depende do módulo de deformação da argamassa colante; da espessura das camadas, deve-se tomar cuidado para não se ter espessuras excessivas que poderão comprometer a resistência de aderência e; das juntas de trabalho do revestimento. As juntas delimitam panos com dimensões menores, compatíveis com as deformações, contribuindo para a obtenção de um revestimento sem fissuras prejudiciais.

A tenacidade à fratura (KIC) de um material pode ser considerada como uma propriedade que caracteriza sua resistência ao crescimento de uma trinca. Esta propriedade é uma maneira quantitativa de expressar a resistência à fratura frágil de um material quando uma trinca está presente. Caso um material possua um alto valor de tenacidade à fratura este terá características de material dúctil. Um baixo valor de tenacidade à fratura caracteriza um material frágil (CALLISTER, 2008). Os materiais frágeis como as argamassas colantes por exemplo, devido ao seu baixo valor de tenacidade são vulneráveis a falhas de grande proporção e prejuízo.

Dependendo de como a tensão atua sobre o material, as tensões ficam distintas umas das outras: compressão, tração, flexão, cisalhamento e torção. A relação tensão-deformação nos materiais geralmente é expressa em termos de resistência, módulo de elasticidade, ductilidade e tenacidade. A quantidade de deformação inelástica que pode ocorrer antes da ruptura é uma medida da ductilidade do material. A energia necessária para romper o material, o produto da força vezes distância, é representada pela área sob a curva tensão-deformação. O termo tenacidade é usado como uma medida dessa energia. A diferença entre tenacidade e resistência deve ser destacada. A primeira é uma medida de energia, enquanto a segunda é a medida da tensão necessária para fraturar o material. Assim, dois materiais podem ter resistências idênticas, mas com diferentes valores de tenacidade. Em geral, porém, quando a resistência do material cresce, a ductilidade e a tenacidade do material caem (MEHTA; MONTEIRO, 2014).

Não se tem disponível um amplo catálogo de trabalhos com a utilização do ensaio de modo misto como avaliação mecânica de aderência e fraturas entre argamassas cimentícias e placas cerâmicas, embora seja possível verificar estudos realizados com materiais polímericos adesivos com aplicações distintas.

Criar parâmetros de referecia quanto a utilização do ensaio de modo misto na avaliação do compotamento adesivo entre placas cerâmicas e argamassas colantes é um dasafio que já começou a ser observado e desenvolvido.

Para Soares (2015), o ensaio de modo misto, ou também chamado Single-Leg Bending (SLB), aplicado a juntas adesivas, baseia-se na atuação de uma força a meio vão de um corpo de prova formado por dois substratos paralelos colados com um determinado adesivo, onde o substrato superior é mais comprido que o inferior. Desta forma, na extremidade onde se encontra localizada a pré-fenda, o apoio é apenas realizado pelo substrato superior.

Segundo Rêgo (2008), os ensaios experientais fornecem um parêmetro qualitativo, qual seja o tipo de dano observado em cada interface. Esses tipos podem ser adesivos, quando a fissura se propaga na interface entre a cola e o material estrutural sem haver transferencia de material adesivo para o substrato que, no caso de cerâmicas e porcelanatos, é o tardoz. Outro tipo de dano é o coesivo. Neste caso, parte do material colante fica aderido ao tardoz das peças, enquanto que no caso do dano tipo misto tanto o adesivo como o coesivo ocorrem simultaneamente.

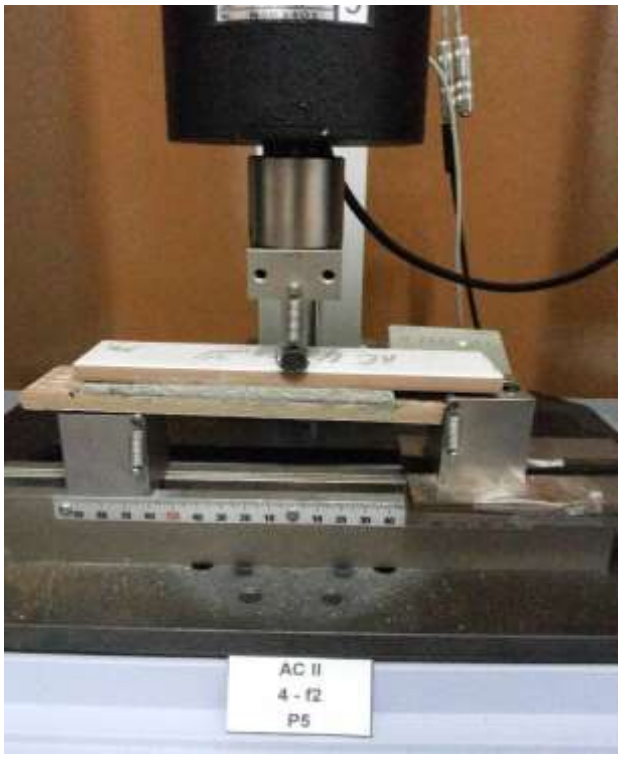
Esse trabalho tem por objetivo avaliar comparativamente a tenacidade de duas argamassas colantes através de ensaios experimentais de laboratório em que foram consideradas simultaneamente as tensões de tração e cisalhamento (modo misto) sendo esta a condição de trabalho majoritariamente observada nos revestimentos argamassados externos, dentre outros. Neste experimento, foram levados em consideração a espessura da argamassa colante no comportamento do sistema, sendo verificadas individualmente, três espessuras distintas (7mm, 4mm, 2mm). Considerou-se também, três situações diferentes na extensão de aderência dos corpos de prova produzidos. As falhas induzidas na extensão de aderência, representavam para este corpo de prova, uma falha de colagem entre a argamassa colante e a placa cerâmica de 3,5%, 7,0% e 14% da área total.

2 MÉTODO EXPERIMENTAL

Os ensaios de mecânicos em modo misto de tensões (tração e cisalhamento) realizados nesta pesquisa foram conduzidos no laboratório de solidificação rápida da Universidade Federal da Paraíba (UFPB), através do equipamento de ensaios universais da Shimadzu Servopulser, com velocidade de aplicação de 0,5 mm/s e célula de carga com capacidade máxima de 10 KN, conforme apresentado na

Figura 1.

Figura 1 - Ensaio mecânico em modo misto



Fonte: Os autores

2.1 Produção dos corpos de prova

Para a confecção dos corpos de prova utilizados no ensaio mecânico de modo misto, inicialmente foram feitos os cortes na cerâmica para ajustá-la ao tamanho desejado, uma vez que a cerâmica utilizada nesta pesquisa possuía as dimensões de (60x60x0,7) cm, e o tamanho desejado da cerâmica para os corpos de prova seria de (16x4) cm. Para isto, utilizou-se o cortador profissional indicado para cortar pisos cerâmicos e porcelanatos até 10 mm de espessura.

Para que a espessura da argamassa no corpo de prova fosse controlada, foram confeccionados espaçadores de material emborrachado EVA (acetato-vinilo de etileno). Estes espaçadores também foram utilizados para delimitar a área que não receberia argamassa. Logo, foram confeccionados nove tipos de espaçadores, tendo, três tipos diferentes de espessura (2, 4 e 7 mm) e três tipos diferentes de largura (5, 10 e 20 mm) que caracterizariam a área que ficaria sem argamassa no corpo de prova, promovendo a falha de colagem de 3,5%, 7% e 14% (

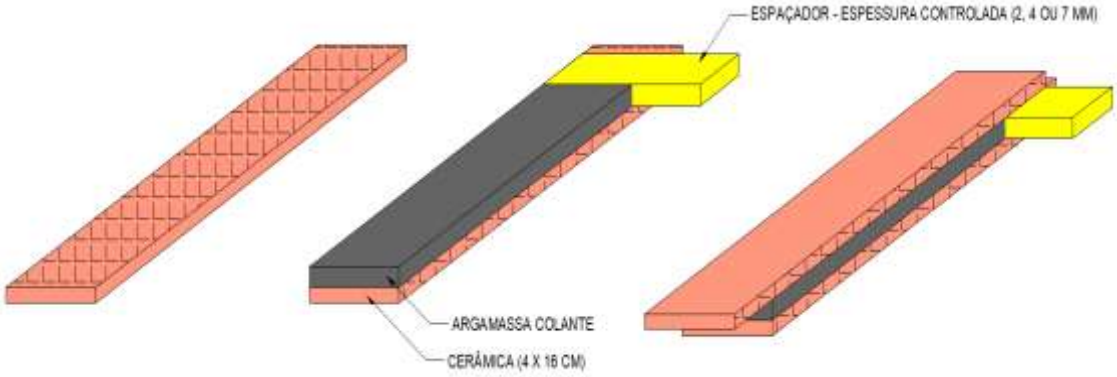
Figura 2).

A pasta de argamassa foi produzida rigorosamente conforme as instruções do fabricante, e a água utilizada na mistura foi a fornecida pela concessionária abastecedora de água do Estado de Pernambuco.

Ao todo, foram produzidos 120 corpos de prova, agrupados em 24 famílias, cuja diferenciação entre elas foi estabelecida pelo tipo de argamassa utilizada, a

espessura da argamassa e a falha de colagem nos corpos de prova.

Figura 2 - Esquema dos corpos de prova produzidos

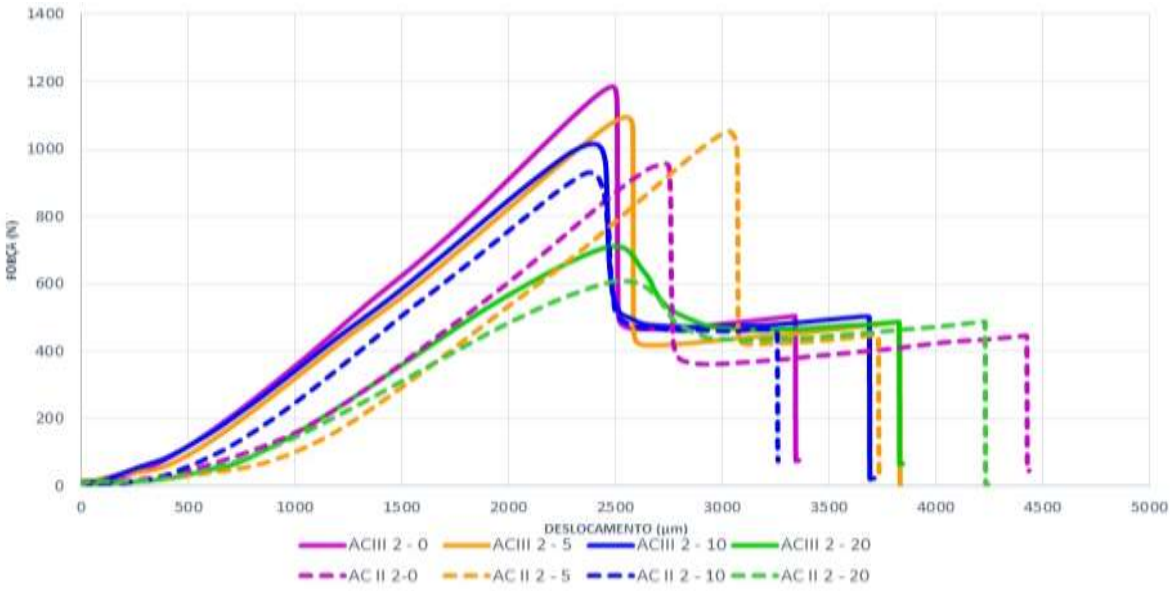


Fonte: Os autores

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

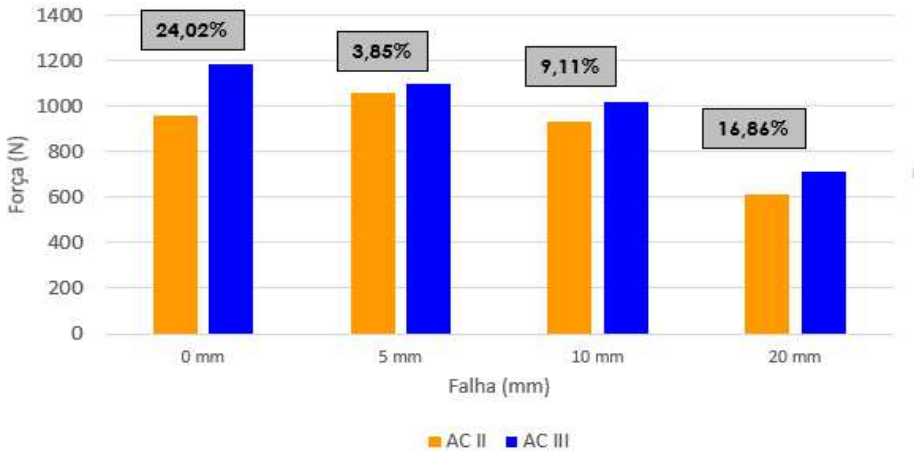
A Figura 3 mostra as curvas obtidas das duas argamassas para a espessura de 2 mm, nele observa-se que a argamassa AC III, representada pelas curvas cheias, estão sempre acima das curvas pontilhadas que representam a argamassa AC II, indicando que a energia necessária para que se propague a fissura é maior quando utilizamos a argamassa AC III, em outras palavras, sua resistência de aderência foi superior. A Figura 4 apresenta a diferença percentual entre as forças máximas atingidas pelas argamassas analisadas

Figura 3 - Resultados MMF AC II 2mm x AC III 2mm



Fonte: Os autores

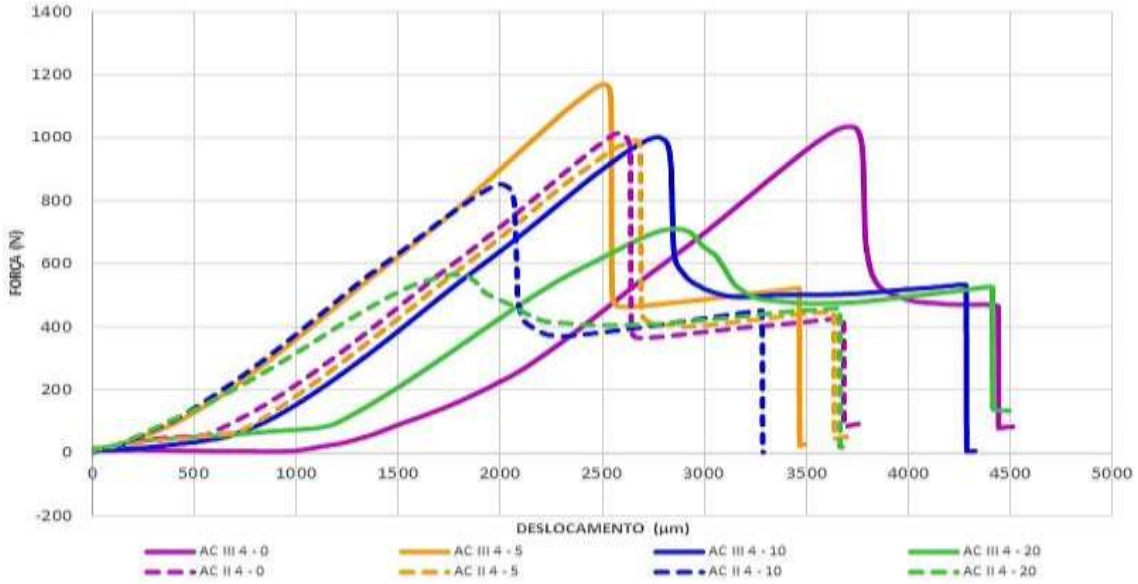
Figura 4 - Diferença percentual entre as forças máximas entre AC II 2mm e AC III 2mm



Fonte: Os autores

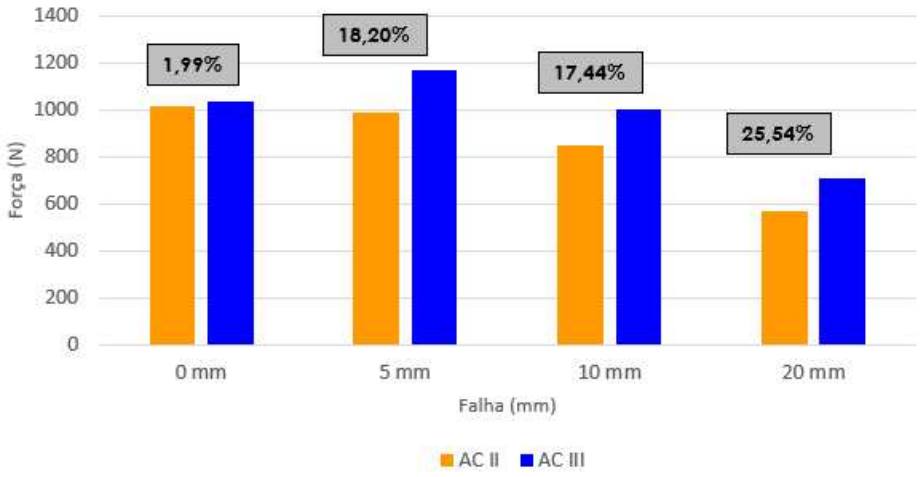
Quando a espessura do colchão de argamassa do CP foi dobrada de 2 mm para 4 mm, foi observado o mesmo comportamento verificado no grupo com 2 mm de espessura. A argamassa AC II ainda possui resistência de aderência inferior à argamassa AC III conforme Figuras 5 e 6.

Figura 5 - Resultados MMF AC II 4mm x AC III 4mm



Fonte: Os autores

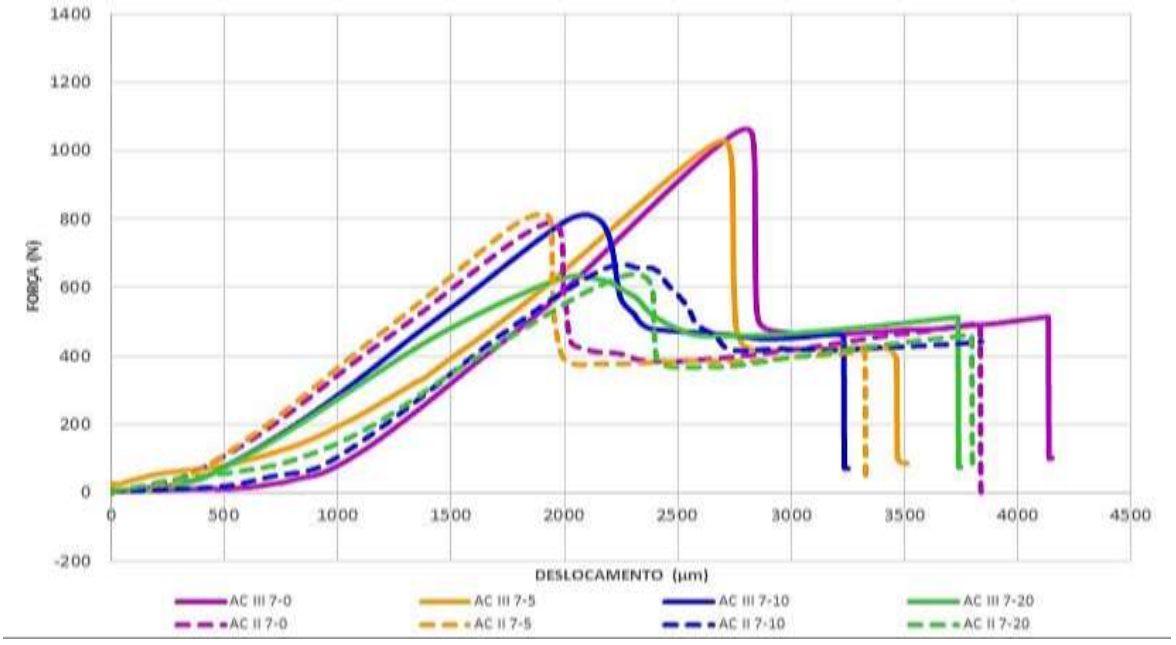
Figura 6 - Diferença percentual entre as forças máximas entre AC II 4mm e AC III 4mm



Fonte: Os autores

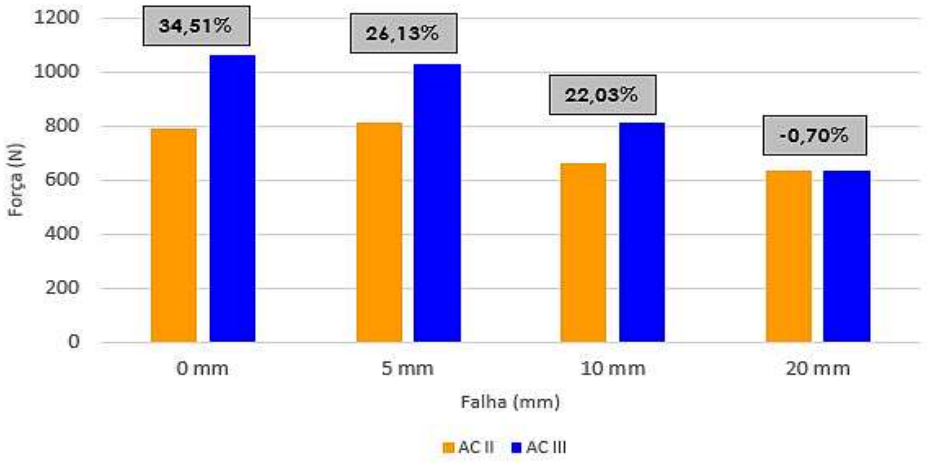
O grupo com espessura de 7 mm (Figura 7) continuou apresentando desempenho superior da argamassa AC III em relação a argamassa AC II no aspecto de força máxima atingida como vê-se na Figura 8.

Figura 7 - Resultados MMF AC II 7mm x AC III 7mm



Fonte: Os autores

Figura 8 - Diferença percentual entre as forças máximas entre AC II 7mm e AC III 7mm

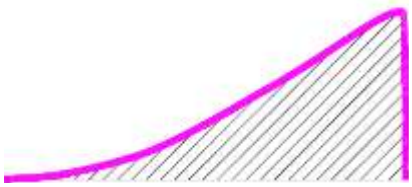


Fonte: Os autores

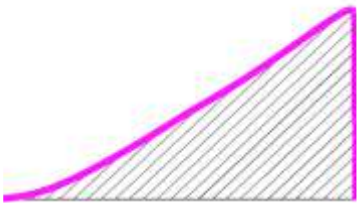
Para o cálculo da tenacidade, os gráficos obtidos no ensaio de modo misto de fratura (MMF) foram plotados em uma plataforma AutoCad Civil 3D e AutoCad2D, que permitiu calcular a área da curva força x deslocamento formada para cada família estudada (Figuras 9, 10 e 11).

Figura 9 - Tenacidade calculada através da área sob a curva. Espessura = 2mm

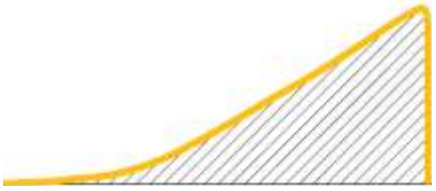
AC *II* 2-0



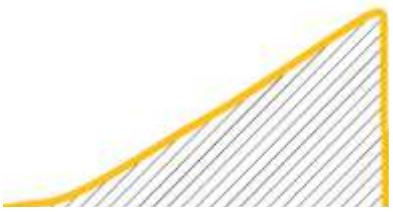
AC *III* 2-0



AC *II* 2-5

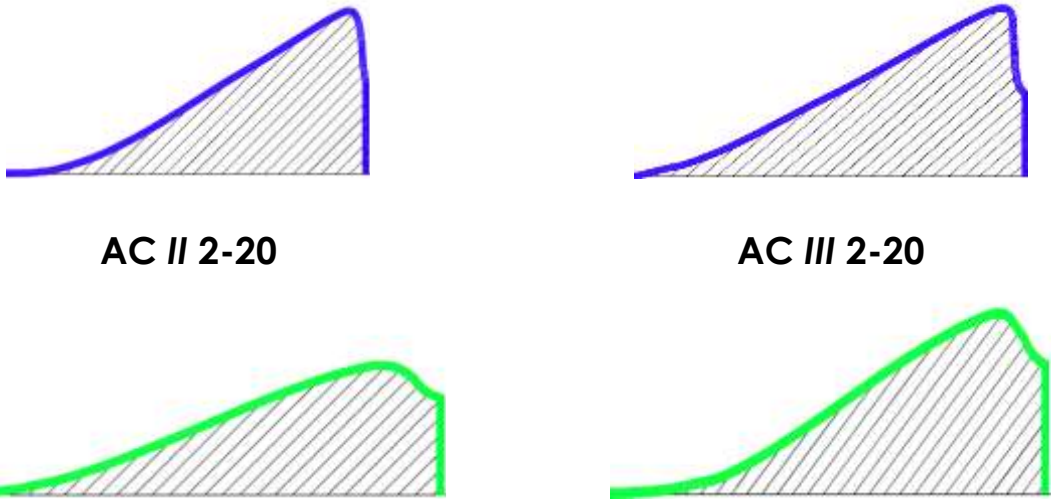


AC *III* 2-5



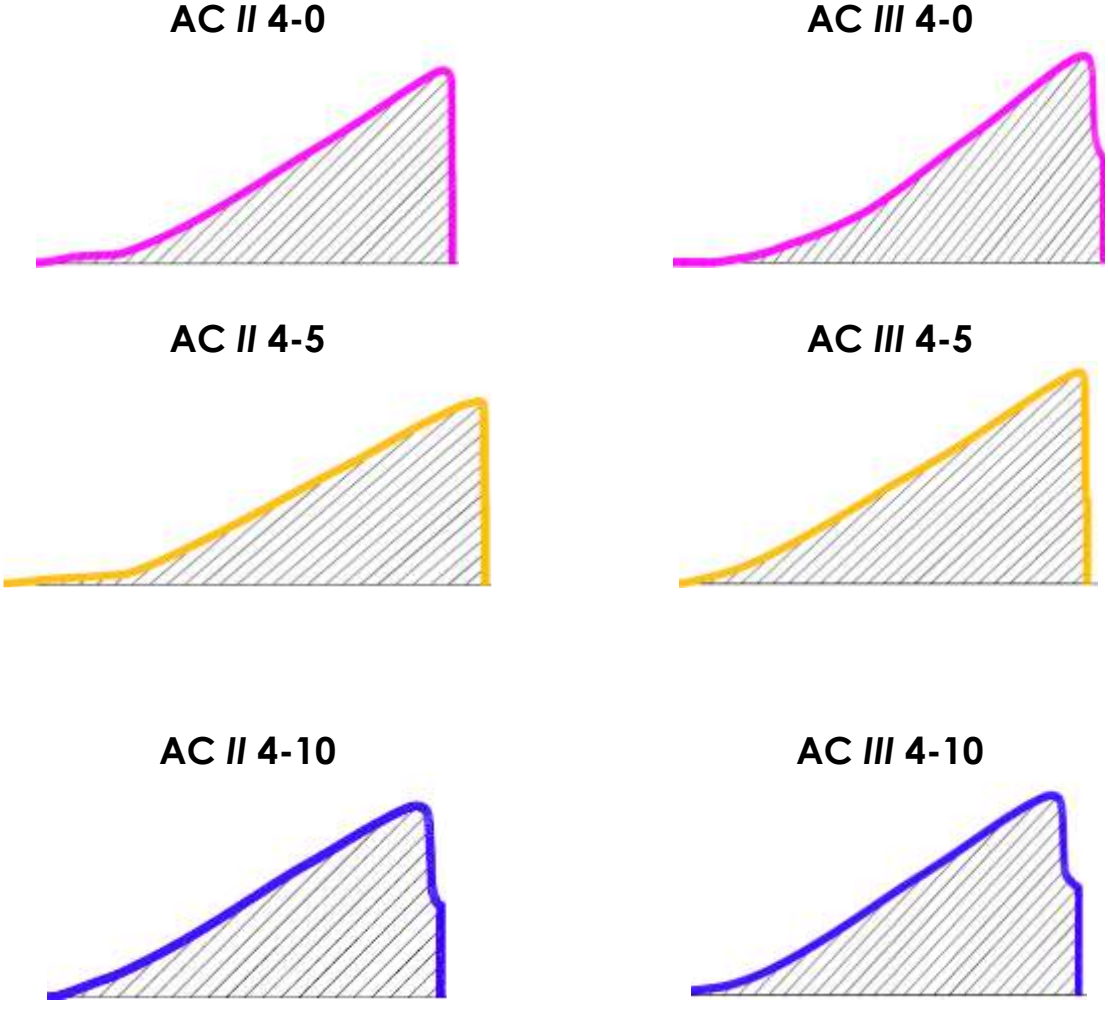
AC *II* 2-10

AC *III* 2-10

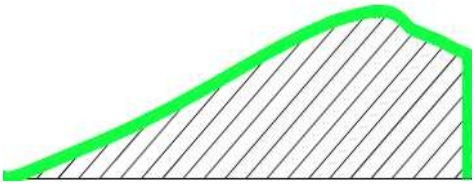


Fonte: Os autores

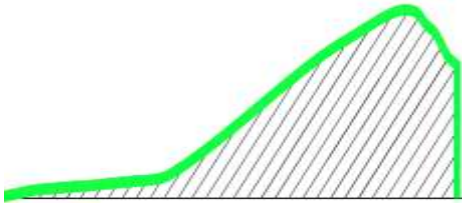
Figura 10 - Tenacidade calculada através da área sob a curva. Espessura = 4mm



AC *II* 4-20



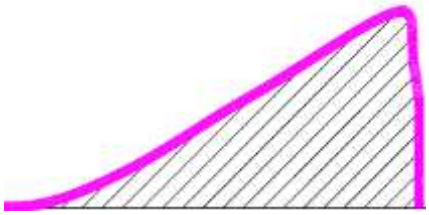
AC *III* 4-20



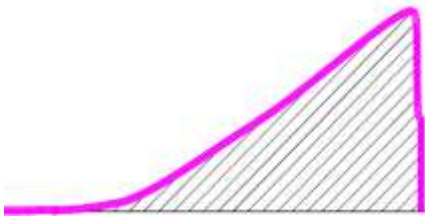
Fonte: Os autores

Figura 11 - Tenacidade calculada através da área sob a curva. Espessura = 7mm

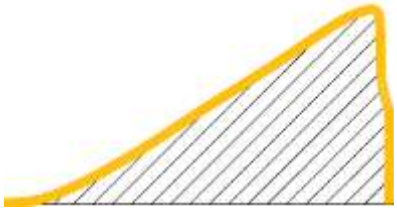
AC *II* 7-0



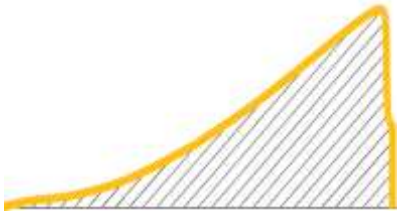
AC *III* 7-0



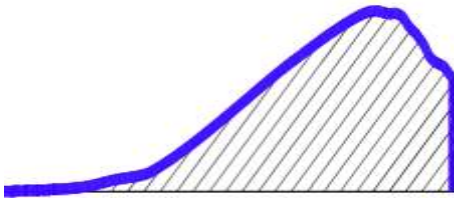
AC *II* 7-5



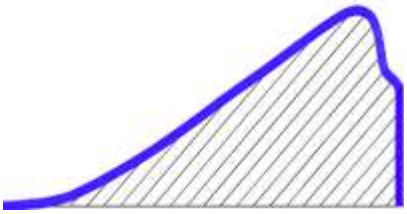
AC *III* 7-5



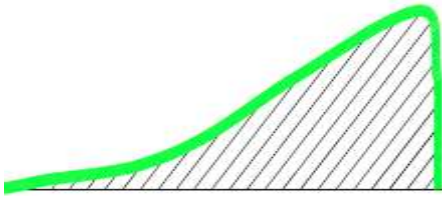
AC *II* 7-10



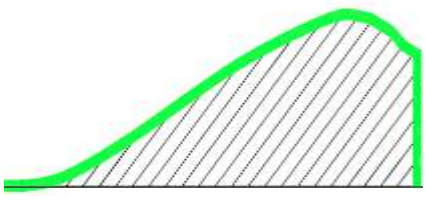
AC *III* 7-10



AC *II* 7-20



AC *III* 7-20



Fonte: Os autores

Na Tabela 1 são apresentados os valores de tenacidade medidos para as famílias de estudo ensaiadas. Em todos os casos, como era esperado, a energia necessária para a ruptura da aderência na interface entre a placa cerâmica e a argamassa foi majorada para as argamassa colantes do tipo ACIII, em comparação com a ACII. Também se pode perceber que, conforme já destacado por Maciel, Barros e Sabbatini (1998), o aumento da espessura não resulta em maiores níveis de tenacidade, ou capacidade de suporte.

Tabela 1 - Valores de tenacidade das famílias ensaiadas

AC II		AC III		DIFERENÇA PERCENTUAL	
FAMÍLIA	**TENACIDADE (N/mm²)**	**FAMÍLIA**	**TENACIDADE (N/mm²)**		
2-0	85.3	2-0	107.4	→	25.91%
2-5	98.5	2-5	101.8	→	3.40%
2-10	82.5	2-10	98.2	→	19.02%
2-20	67.6	2-20	74.9	→	10.69%
4-0	90.4	4-0	106.5	→	17.75%
4-5	87.9	4-5	109.4	→	24.37%
4-10	72.0	4-10	98.9	→	37.35%
4-20	57.3	4-20	80.0	→	39.65%
7-0	60.0	7-0	88.4	→	47.44%
7-5	60.9	7-5	90.2	→	48.11%
7-10	65.6	7-10	72.1	→	9.85%
7-20	53.3	7-20	68.7	→	29.04%

Fonte: Os autores

4 CONCLUSÕES

De modo geral, verificou-se que os valores de tenacidade da AC III foram superiores aos da AC II em todas as situações analisadas, reforçando o conceito consagrado de que o tipo de argamassa colante utilizada resulta em um ganho expressivo na aderência do sistema (conjunto AC-Cerâmica), com valores que podem alcançar uma superioridade de até 34,51 % de carga máxima, e 48,11% de tenacidade, quando comparadas as duas argamassas. Esses resultados, reforçam a importância do tipo de argamassa colante, e a assertividade da atualização da NBR 13755 (ABNT, 2017), que recomenda o uso de argamassa colante AC III para os revestimentos cerâmicos em fachadas, exceto em algumas condições especiais.

Os resultados encontrados por Rêgo (2008), em que foi considerada a influência da temperatura em corpos de prova submetidos ao ensaio de modo misto com diferentes substratos (porcelanto e cerâmica semi-porosa), também constataram que embora as argamassas colantes ACII e ACIII apresentem características mecânicas semelhantes, em especial a

temperaturas elevadas, a última proporcionou melhor resultado para todos os sistemas confeccionados, ratificando os resultados encontrados na presente pesquisa.

O ensaio de propagação da primeira fissura em modo misto de tensões, largamente utilizado na pesquisa de colagem com adesivos estruturais, mostrou-se aplicável para a determinação da resistência de aderência na interface de revestimentos cerâmicos colados com adesivos cimentícios.

A metodologia utilizada para o cálculo da área sobre a curva, que é numericamente igual a tenacidade, utilizando os recursos práticos e acessíveis dos softwares Autocad Civil 3D e Autocad 2D, contribuiu para que estudantes e profissionais da engenharia civil conheçam um outro recurso para o cálculo da tenacidade quando não dispuserem de softwares específicos de análise.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13755 – Revestimentos cerâmicos de fachadas e paredes externas com utilização de argamassa colante — Projeto, execuerâmicos de fachaceitato, — Procedimento.** Rio de Janeiro, 2017.

CALLISTER JR.,WILLIAM D. (1940). **Ciência Engenharia de Materiais – Uma Introdução**. Rio de Janeiro: LTC, 2008.

CARASEK, Helena. **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais**. São Paulo, IBRACON, 2007.

MACIEL, Luciana Leone. BARROS, Mércia M. S. Bottura. SABBATINI, Fernando Henrique. **Recomendações para Execução de Revestimentos de Argamassa para paredes de vedação internas e externa e tetos**. São Paulo, 1998

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais-** 2ª Edição. São Paulo, 2014.

RÊGO, S.R. (2008). **Aderência de placas cerâmicas submetidas a variações térmicas cíclicas.** Dissertação de mestrado apresentada à Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, PB.

SOARES, A. P. O. A. L. **Determinação da tenacidade à fratura de adesivos estruturais em modo misto pelo ensaio Single-Leg Bending.** Dissertação de mestrado apresentada ao Instituto Superior de Engenharia do Porto – Departamento de Engenharia Mecânica – Porto, 2015.