

Análise da resistência à compressão de alvenarias de blocos cerâmicos assentados com argamassa cimentícia e composto polimérico

Analysis of compressive strength of masonry of ceramic blocks placed with cementitious mortar and polymeric compound

Matheus Donadello¹, Hinoel Zamis Ehrenbring¹, Fernanda Pacheco¹,
Roberto Christ¹, Bernardo Fonseca Tutikian¹

¹Performance, UNISINOS, Av. Unisinos, 950. São Leopoldo, RS, Brasil
e-mail: mdonadello@unisinos.br, hzamis@unisinos.br, fernandapache@unisinos.br, rchrist@unisinos.br, btutikian@unisinos.br,

RESUMO

O uso dos compostos poliméricos se limita às alvenarias de vedação no Brasil, devido aos critérios da NBR 16590 [1]. No entanto, deve-se avaliar o quanto este material pode contribuir quando aplicado em alvenarias estruturais. Sendo assim, esse estudo investigou o funcionamento de um tipo de composto polimérico, quando aplicado em alvenarias estruturais, realizando ensaios de caracterização química e física do material e de aderência na interface entre bloco e o ligante. Além dessas, foram investigadas a resistência à compressão axial de paredes em escala real, sendo uma amostra executada com as juntas horizontais preenchidas por argamassa cimentícia e outras duas contendo composto polimérico, com 2 e 4 filetes para assentamento dos blocos. Os resultados de caracterização do material ligante e interface mostraram que o composto polimérico possui maior resiliência e melhor desempenho à aderência, quando comparado à argamassa cimentícia. Já na análise global do sistema, verificou-se que a alvenaria construída com 4 filetes de composto polimérico atingiu a mesma resistência à compressão da amostra construída com argamassa cimentícia convencional (~138 kN/m na ruptura), a amostra com 2 filetes apresentou maior deformação vertical, 25 % em relação as demais, mostrando o potencial de utilização do composto polimérico em alvenaria estrutural.

Palavras-chave: Alvenaria estrutural. Composto polimérico. Argamassa polimérica.

ABSTRACT

The use of polymeric compounds is limited to sealing masonry in Brazil, due to the criteria of the NBR 16590 [1]. However, one must evaluate how much this material can contribute when applied to structural masonry. Thus, this study investigated the operation of a type of polymeric compound when applied in structural masonry, performing chemical and physical characterization tests and adhesion at the interface between block and binder. Besides these, we investigated the axial compressive strength of full-scale walls was investigated. One sample was made with horizontal joints filled with cementitious mortar and two containing polymeric compound, with 2 and 4 fillets for settlement the blocks. The characterization results of the binder material and interface showed that the polymeric compound has greater resilience and better adherence performance when compared to cementitious mortar. In the overall analysis of the system, it was found that masonry built with 4 fillets of polymeric composite achieved the same compressive strength of the sample built with conventional cement mortar (~ 138 kN/m at break), the sample with 2 fillets presented higher vertical deformation, 25% in relation to the others, showing the potential use of the polymeric compound in structural masonry.

Keywords: Structural masonry. Polymeric compound. Polymeric mortar.

1. INTRODUÇÃO

As alvenarias foram concebidas para assegurarem a integridade física dos usuários da edificação, bem como promover a habitabilidade. As alvenarias são rápidas, práticas, duráveis, econômicas e garantem a compartimentação da edificação [2-4].

O contexto competitivo e a necessidade de cumprir prazos com custos controlados obrigou empresas da construção civil a investirem no aperfeiçoamento dos processos construtivos [5]. Assim, o mercado continua em constante desenvolvimento. No Brasil, embora sistemas artesanais ainda sejam os mais utilizados, a NBR 15575 [6] provocou a aplicação e evolução de sistemas industrializados nos últimos anos.

As alvenarias estruturais e de vedação são sistemas construtivos compostos por elementos distintos que interagem entre si [7]. Podem ser empregados componentes cerâmicos assentados sobre uma matriz cimentícia ligante [9], normalmente com a aplicação de argamassas cimentícias. A maior parte das argamassas de assentamento são produzidas em obra, estando susceptíveis aos erros de dosagem (proporção dos materiais), o que acarreta o surgimento de manifestações patológicas no sistema, como: fissuras, deslocamentos, mapeamento dos blocos, entre outras [9]. Uma das soluções implementadas nos canteiros de obra foi a substituição desta produção artesanal por argamassas cimentícias industrializadas e estabilizadas. Os processos de logística e qualidade do material foram melhorados, porém os desperdícios, métodos e velocidade de aplicação foram pouco impactados.

Buscando melhorar os processos construtivos envolvendo a execução de alvenarias, desenvolveram-se os compostos poliméricos. Tais compostos são produzidos por processos industrializados e têm na sua composição nano partículas minerais, aditivos químicos, água e polímeros. Seu processo de cura inicia no instante em que o aglomerante é exposto aos gases O_2 e CO_2 presentes na atmosfera. Diferente dos materiais cimentícios, os compostos poliméricos possuem um tempo de cura de 72h para atingir sua resistência à compressão, tração e de aderência potencial [10, 11].

Em sua composição não há adição de materiais cimentícios, o que representa um menor impacto ambiental frente às argamassas convencionais [12]. SILVA *et. al* [13] acrescentam que a produção do composto polimérico não emite gás na atmosfera, enquanto o setor da indústria cimentícia é responsável por 5% de toda a emissão de CO_2 no meio ambiente, entre outros gases poluentes.

Atualmente, no Brasil, a NBR 16590 [1] restringe a aplicação de compostos poliméricos para a produção de alvenarias de vedação. Logo, pesquisas devem ser desenvolvidas para mensurar o desempenho mecânico desse material em sistemas estruturais, embasando, futuramente, sua aplicação segura.

Segundo LIAO [14], em alvenarias estruturais, a função principal da argamassa cimentícia é transmitir uniformemente os esforços gerados pela edificação aos demais elementos do sistema. Por outro lado, os compostos poliméricos não atuam como transmissores dos esforços, mas sim como adesivo entre os blocos, a fim de tornar a alvenaria um sistema monolítico. AMIT, ARUN e UDAY [15] explica que, para que a argamassa apresente o comportamento esperado, é necessário que tenha resiliência, a qual representa a capacidade do material de se deformar sem romper, e de retornar a dimensão inicial. Amthauer [16] complementa que, quanto maior a resiliência, menor é o módulo de elasticidade, possibilitando maiores movimentações sem que ocorram danos à matriz. Além da resiliência, é necessário que o ligante possua resistência menor que a do bloco [17-20].

Para analisar o desempenho mecânico do composto polimérico são necessários ensaios de caracterização, sendo eles: determinação da resiliência, aderência e resistência à compressão. RAYMUNDO *et al.* [21] identificaram que o método de aplicação do composto polimérico deve ser revisto, uma vez que é aplicada sob pressão pelo operário, resultando no estrangulamento do cordão de argamassa ou descontinuidade deste, antes mesmo do assentamento do bloco. Os autores afirmam que garantir a uniformidade do cordão do composto polimérico pode gerar resultados superiores às argamassas cimentícias. O método e o volume de material aplicado podem alterar totalmente o comportamento do sistema. De acordo com SILVA *et. al* [13], a resistência à compressão de alvenarias com o uso de composto polimérico foi 72% maior em relação aos sistemas com argamassas convencionais feitas com mistura de cimento, cal e areia.

Assim, este trabalho visa comparar a resistência à compressão axial em paredes estruturais, em tamanho real, assentadas com argamassa cimentícia, com dois e quatro filetes de composto polimérico na mesma região dos blocos. Para tal, foi conduzida a caracterização dos materiais, compreendendo os ensaios de espectroscopia por absorção no infravermelho (FTIR) e análise termogravimétrica (TGA) do composto polimérico, resiliência, análise por microscopia eletrônica de varredura (MEV) e resistência de aderência à tração das misturas.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

O programa experimental foi elaborado visando avaliar o desempenho mecânico de alvenarias de blocos cerâmicos assentados com argamassa cimentícia e composto polimérico, com dois e quatro filetes. Foram ensaiadas 3 amostras em escala real. O ensaio é descrito na NBR 15812-3 [22] para testar a segurança e a estabilidade estrutural dos sistemas construídos com blocos cerâmicos. As idades dos ensaios foram determinadas com base no período de cura recomendado para cada material de assentamento, sendo o cimentício 28 dias e 7 dias para os poliméricos. Além dos ensaios mecânicos do sistema, realizou-se a caracterização química do composto polimérico, física dos materiais utilizados na junta de assentamento e análise de aderência das interfaces.

2.1 Caracterização dos materiais

A argamassa cimentícia empregada era composta por cimento Portland CPII-F, agregados naturais, aditivos químicos e água. O ensaio de resistência característica à compressão e tração baseou-se nos métodos da NBR 13279 [23], tendo como resistência à compressão e à tração os valores de 8,5 e 2,9 MPa, respectivamente.

O composto polimérico era constituído de carga mineral, água e blenda de resinas poliméricas, atendendo às exigências da NBR 16590-2 [24] (ver Tabela 1). Sua caracterização química foi feita por meio dos ensaios de espectroscopia por absorção no infravermelho (FTIR) e análise termogravimétrica (TGA). A curva apresentada na Figura 1 corresponde a uma resina acrílica estirenada.

Tabela 1: Análise termogravimétrica (TGA)

RESULTADO DO COMPOSTO POLIMÉRICO		NBR 16590-2 [24]	
PERDA DE MASSA	QUANTIDADE (%)	PERDA DE MASSA	LIMITE (%)
27°C até 120°C	10,4	25°C até 120°C	18
120°C até 550°C	7,0		
550°C até 820°C	30,4	850°C	52

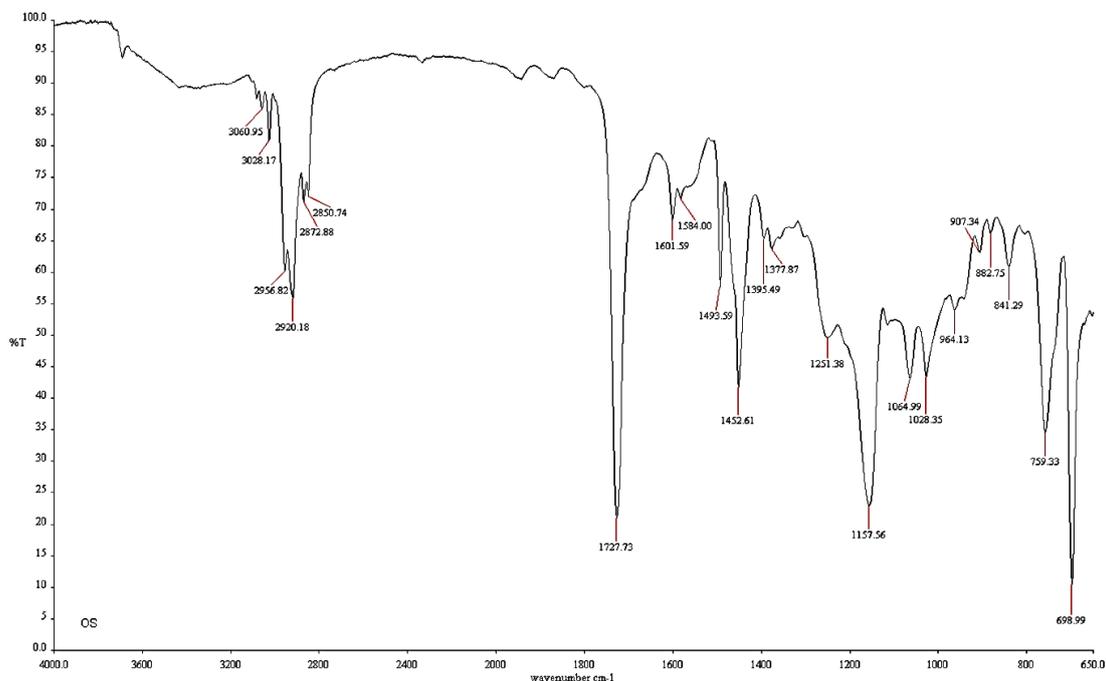


Figura 1: Espectroscopia por absorção no infravermelho (FTIR)

A Figura 1 ilustra a quantidade de energia absorvida pelos materiais (Transmitância T%) que constituem o composto polimérico nas diferentes frequências (*wavenumber* 1/cm) em que foi exposta, sendo essas frequências padrões do ensaio. Através das curvas do gráfico é possível determinar a composição do material e suas ligações, pois estas possuem comportamento padrão para cada material em determinada frequência. O padrão espectroscópico expresso na Figura 1 é compatível ao de uma resina acrílica estirenada atendendo ao requisito da NBR 16590-2 [24].

2.2 Descrição das amostras

As amostras para caracterizações físicas foram confeccionadas em local com temperatura e umidade controladas e mantidas nestas condições durante o tempo de cura de cada material, bem como as paredes estruturais submetidas a compressão axial.

Análise da resiliência dos materiais da interface

O ensaio de resiliência tem como objetivo determinar a capacidade do material ligante de absorver energia sem sofrer maiores danos retornando a sua forma inicial quando aliviado. Essa característica é importante, pois, assim, torna possível a dissipação dos esforços ao longo do sistema, impedindo cargas excessivas nos blocos que, quando fragilizados, comprometem a integridade do sistema. A análise visual do tipo de aderência de cada argamassa fez-se necessária para melhor análise da ruptura.

Foram moldadas peças utilizando o método convencional para a argamassa cimentícia, com dimensões de 25x25 mm e espessura de 10 mm, seguindo os requisitos da ASTM F36-15 [25]. Para o composto polimérico a moldagem foi realizada sobre base reta e paredes laterais não aderentes e impermeáveis, removidas após 4 horas, para que o material pudesse ficar em contato com o ar, possibilitando as reações químicas.

Análise microscópica e resistência de aderência (interface)

Foram extraídos corpos de prova com dimensões de 10 x 10 x 10 mm da região de interface das paredes do ensaio de compressão axial e submetidos à análise microscópica (ver Figura 2).

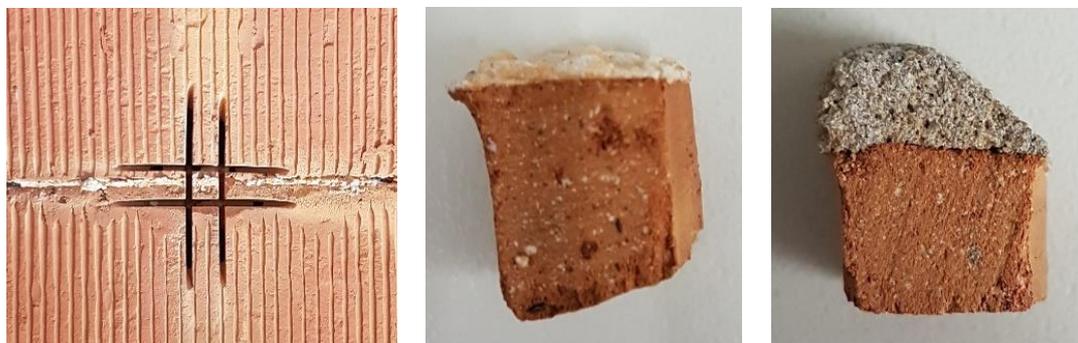


Figura 2: Região e amostras extraídas para a análise microscópica

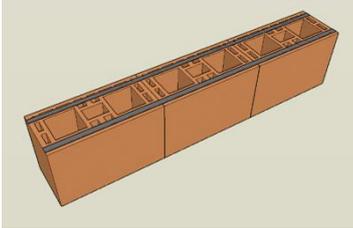
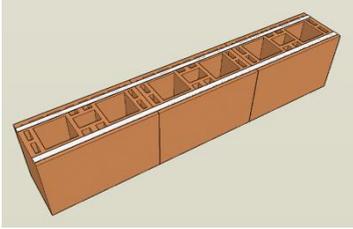
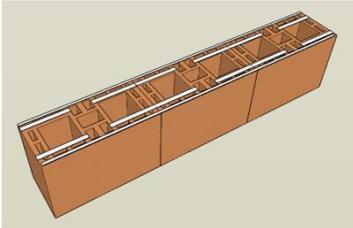
Resistência à compressão axial

Nas paredes submetidas a compressão axial, foram preenchidas apenas as juntas horizontais das bordas longitudinais no assentamento dos blocos cerâmicos, com argamassa cimentícia e filetes de 1 cm de diâmetro nas amostras com composto polimérico. As amostras não receberam revestimento.

As amostras foram confeccionadas sobre base nivelada, compondo o conjunto os tipos apresentados na Tabela 2. As paredes utilizadas para o ensaio de compressão axial foram confeccionadas com blocos cerâmicos estruturais de dimensão 14x19x29 cm e resistência à compressão característica de 6 MPa, encaixando-se na classificação EST60 da NBR 15270-1 [26]. As dimensões finais das amostras eram de 145 cm de largura por 240 cm de altura, com 12 fiadas cada, sem revestimento. Na amostra assentada com argamassa cimentícia, a junta horizontal foi de 10 mm, enquanto na amostra com composto polimérico foi de 3 mm. A regularização da face superior das amostras foi realizada com o uso de argamassa cimentícia, não excedendo

10 mm, visando obter uma distribuição uniforme das cargas oriundas do dispositivo de ensaio.

Tabela 2 – Detalhamento e representação das amostras investigadas

IDENTIFICAÇÃO	DESCRIÇÃO	ILUSTRAÇÃO	
AC-C	Sistema com blocos assentados sobre 2 filetes de argamassa convencional		
CP2-C	Sistema com blocos assentados sobre 2 filetes de composto polimérico		
CP4-C	Sistema com blocos assentados sobre 4 filetes de composto polimérico		

Legenda: (AC-C) – Argamassa cimentícia - compressão; (CP2-C) – Composto polimérico 2 filetes - compressão; (CP4-C) – Composto polimérico 4 filetes - compressão.

2.3 Ensaios de caracterização das amostras

2.3.1 Análise da resiliência dos materiais da interface

Após 7 dias de cura do composto polimérico e 28 dias da argamassa cimentícia, mediu-se as espessuras e então, foram submetidas ao ensaio. A taxa de aplicação de carga foi de 25 N/s, até atingir a carga de 750 N, mantendo-a por 60 segundos. Após, os testemunhos foram descarregados, verificando a espessura residual. O deslocamento instantâneo utilizado na análise foi o indicado pela prensa universal.

2.3.2 Análise microscópica e resistência de aderência (interface)

A superfície de análise da amostra foi submetida a um processo de polimento e em seguida metalizada com uma fina camada de ouro, para torná-la condutora e melhorar a interação com o feixe de elétrons do Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV).

Após preparação, a amostra foi introduzida no compartimento do MEV e as imagens foram adquiridas utilizando-se o detector de Elétrons retro espalhados (BSE). As análises microscópicas foram realizadas com aumento do foco em 250 vezes.

2.3.3 Compressão axial

Para a realização dos ensaios de compressão axial, as amostras foram posicionadas sobre o pórtilho de reação, sendo instrumentadas por pistão hidráulico, célula de carga e medidor de deformação vertical (LVDT). Os

dispositivos são comandados e integrados por uma central de comando. Os ensaios foram realizados conforme recomendações da NBR 15812-3 [22], tendo taxa de aplicação de 10 e 20 kN/min para cada ciclo de carregamento. A Figura 3 apresenta a instrumentação do ensaio de compressão axial.

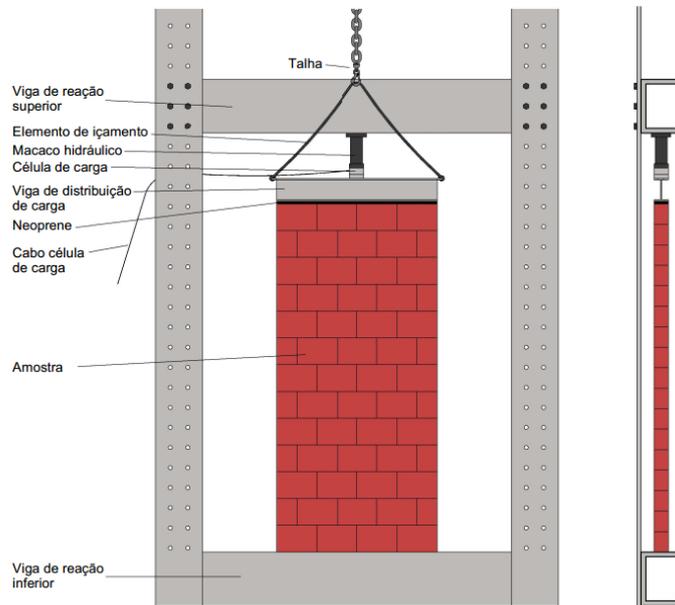


Figura 3: Conjunto de equipamentos utilizados

3. RESULTADOS

3.1 Análise da resiliência dos materiais da interface

Argamassa Cimentícia

A Figura 4 apresenta as curvas de comportamento à compressão da argamassa cimentícia durante o ensaio de resiliência, conforme ASTM F36-15 [25].

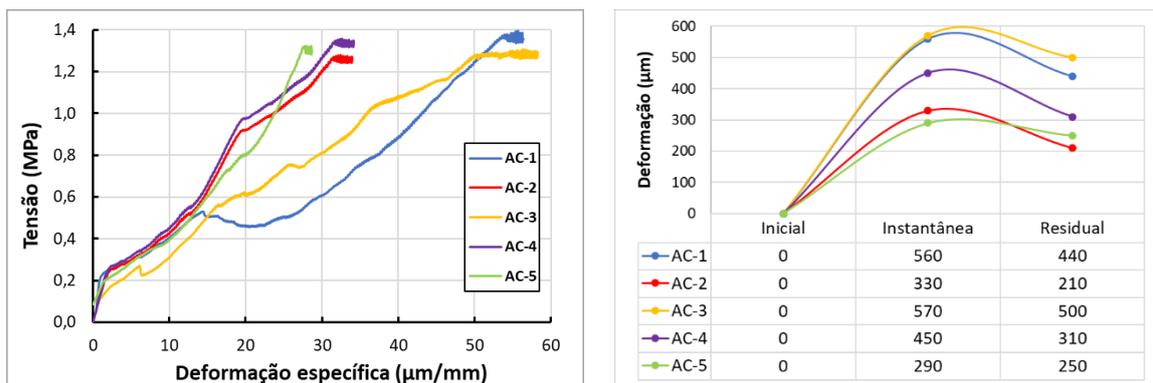


Figura 4: Resultados da argamassa cimentícia no ensaio de resiliência

Apesar da não linearidade entre as amostras durante o carregamento, estas apresentaram deformações residuais próximas. Após o carregamento de 750 N as amostras deformaram em média 440 µm e demonstraram capacidade de retorno média de 23% da deformação total, quando aliviadas. Esse resultado pode repre-

sentar a fragilidade da argamassa que, quando submetida à sobrecargas, resulta na nucleação de microfissuras características dos materiais frágeis (baixa capacidade elástica). A nucleação de fissuras é representada pelas variações na inclinação das curvas ascendentes das amostras na Figura 4. De acordo com Filomeno [27], para as argamassas cimentícias, entende-se resiliência como a capacidade de absorver deformações por meio das microfissuras, mesmo possuindo baixo módulo de elasticidade. Mohamad *et al.* [28], Sabbatini [29] e Haach, Vladimir, Vasconcelos [30] descrevem a resiliência como propriedade da argamassa endurecida de se deformar, sem romper.

3.2 Composto polimérico

A Figura 5 exibe as curvas obtidas no ensaio de resiliência no composto polimérico.

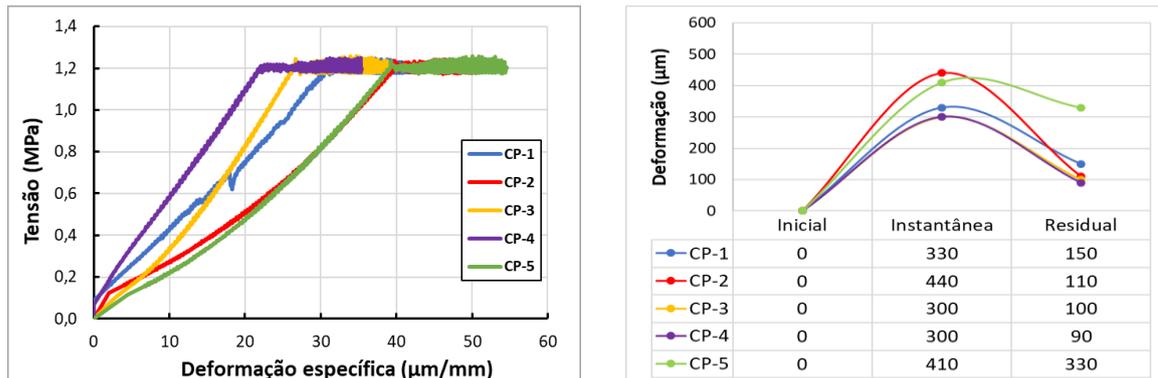


Figura 5: Resultados do composto polimérico no ensaio de resiliência

O composto polimérico apresentou uniformidade em todas as amostras, pois manteve-se íntegro durante o ensaio. Os resultados apresentam que este material possui uma maior resiliência que o material cimentício, uma vez que, após o carregamento de 750 N, deformou em média 356 µm e demonstrou capacidade de retorno média de 200 µm quando aliviado, ou seja, retornou, em média, 56% da deformação absorvida. A amostra CP-2 atingiu deformação de 440 µm e, após alívio da carga apresentou uma espessura final de 9,89 mm.

A deformação observada durante o ensaio é explicada por CARUSO [31], onde polímeros, por serem dúcteis, durante um ensaio de compressão aumentam sua largura, em forma de barril e quando ultrapassado o regime elástico apresentam deformação do tipo disco. A Figura 6 apresenta as condições das amostras de argamassa cimentícia e composto polimérico antes e durante o ensaio de resiliência e após a tentativa de estimar o limite de compressão das amostras.

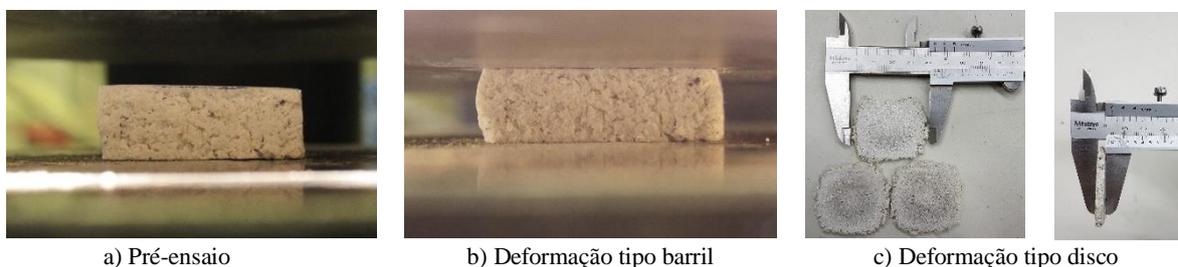


Figura 6: Condições do composto polimérico no ensaio de resiliência e compressão

O composto polimérico, por ter menor módulo de elasticidade e maior deformabilidade, obteve deformações residuais próximas às iniciais, mesmo apresentando formato de disco sem indícios de pré-ruptura.

Apesar atingir deformação máxima semelhante à argamassa cimentícia, para o carregamento analisado, o composto polimérico manteve-se no regime elástico, pois suportou as tensões com comportamento linear, conforme Figura 5.

Os resultados obtidos no ensaio de resiliência dos diferentes materiais de ligação demonstraram a maior resiliência e elasticidade do composto polimérico. As argamassas cimentícias utilizadas em alvenarias estruturais devem ser resistentes, mas não a ponto de excederem a resistência dos blocos cerâmicos [32]. O mesmo pesquisador lembra também o desafio de serem produzidas argamassas com menor resistência que mantenham sua eficiência de aderência.

3.3 Análise microscópica e resistência de aderência (interface)

A Figura 7 apresenta a análise das interfaces entre os diferentes materiais de ligação analisados. Na região superior das imagens estão os materiais ligantes e na inferior o bloco cerâmico estrutural.

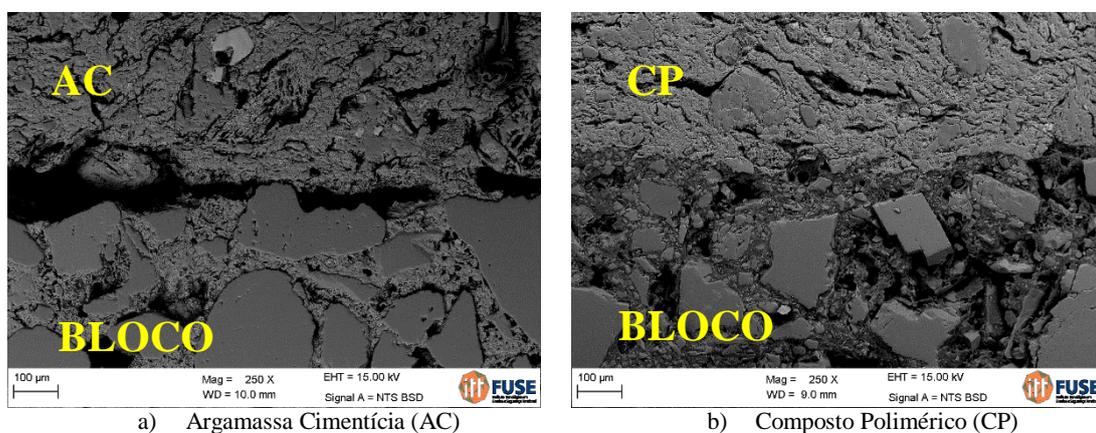


Figura 7: Análise microestrutural das interfaces entre os diferentes materiais de ligação analisados, magnificação de 250x em ambas

É possível observar a zona de transição entre os materiais ligantes com o bloco cerâmico, possibilitando comportamentos diferentes entre si nos dois conjuntos. A argamassa cimentícia apresentou baixa acomodação sobre a superfície do bloco cerâmico, aderindo-se superficialmente aos grãos em uma porção de 22,7 % da extensão analisada. CARASEK [33] explica que a argamassa endurecida se adere ao substrato basicamente por penetração da pasta aglomerante nos poros. MELO *et al.* [34] afirmam que a argamassa cimentícia adere-se apenas por processos físicos, quando a pasta aglomerante e a água de amassamento, que contém os componentes do aglomerante, penetram nos poros e na rugosidade do substrato, endurecendo e causando ancoragem mecânica.

Observou-se que o composto polimérico se aderiu fisicamente aos blocos cerâmicos em toda a superfície, o que pode indicar um ganho na resistência de aderência. COSTA [35] confirma que a o aumento da resistência de aderência está ligada com o aumento da área de contato.

MENDEZ *et al.* [36] mediram a resistência de aderência à tração do composto polimérico quando assentado sob substrato padrão, chegando a valores de 2,9 MPa, enquanto VAZ *et al.* [37] indicaram que em uma das pesquisas analisadas a resistência de aderência das argamassas industrializadas em obra contendo 2465 ensaios válidos é de 0,43 MPa.

3.4 Compressão Axial

As curvas da Figura 8 representam o comportamento mecânico das paredes em tamanho real, quando submetidas aos ensaios de compressão axial. Nota-se que o desenvolvimento da curva *carga vs. deslocamento* entre as amostras foi semelhante.

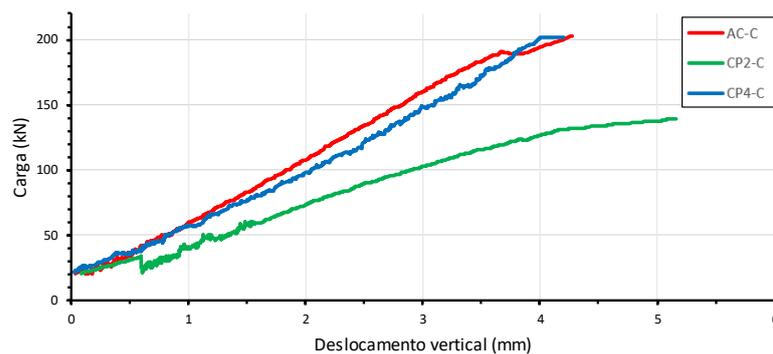


Figura 8: Comportamento dos sistemas quando submetidos à compressão axial

A alvenaria assentada com argamassa cimentícia apresentou a maior carga de ruptura, seguida da executada com 4 filetes de composto polimérico (200 kN). A amostra CP2-C sofreu alterações pontuais na capacidade de carga (140 kN) e deslocamento (> 5,0 mm), nota-se também uma maior acomodação no sistema quando a carga de 25 kN é atingida.

A amostra CP4-C apresentou uma reta constante até 200 kN, quando apresentou maior deformação (ponto de fissuração) e então ruptura. A amostra AC-C teve comportamento muito semelhante, porém, com maior deformação (ponto de fissuração) em 190kN, após, foram elevadas as tensões até sua ruptura. Esse comportamento apresentado nas duas amostras mais resistentes é descrito por [30, 38] como dúctil, pois a argamassa deformou, gerando esforços de tração nas faces dos blocos. Este tipo de comportamento é o ideal, visto que em edificações possibilitaria a manutenção previa à ruptura. Pode-se observar que dois materiais frágeis, bloco cerâmico e argamassa cimentícia, foram capazes de gerar um sistema dúctil, mas quando foi utilizado um material frágil, bloco cerâmico, e um dúctil, composto polimérico, a ductibilidade do sistema foi maximizada.

FORTES *et. al.* [39] indicaram como ruptura ideal aquela em que o sistema rompe por tração lateral dos blocos, ocorrendo quando a argamassa possui resistência moderada. Os mesmos autores explicam o comportamento, afirmando que a argamassa é confinada lateralmente pelos blocos na interface resultando em compressão triaxial na argamassa e tração bilateral com compressão axial nos blocos.

Foi constatada a ocorrência do esforço de tração nas paredes dos blocos das amostras CP4-C e AC-C (ver Figura 9), por conta da quantidade de material utilizado na interface dos blocos, a amostra CP4-C manteve-se estável e apresentou-se similar à AC-C.

Os sistemas verticais, quando carregados e submetidos à compressão axial, proporcionam a movimentação e acomodação dos blocos, os quais são expostos à compressão e tração em faces opostas, conforme apresenta a Figura 9. O esforço de tração necessita da boa resistência à aderência da argamassa para manter-se estável. Na amostra CP4-C, esses esforços de tração foram dissipados por toda a região superior da amostra, pois no assentamento não foram preenchidas as bordas transversais dos blocos (ver Figura 9), tornando-se este o ponto de fragilização inicial. Após essa fissuração, agindo monoliticamente, devido a aderência do composto polimérico, foram tracionadas as 4 faces dos blocos simultaneamente. SINGH e MUJAL [40] concluíram que a resistência à flexão é prejudicada quando diminuída a área de contato da argamassa com o bloco. Sendo assim, a diferença entre as amostras CP4-C e CP2-C pode estar interligada a esse fato, uma vez que os pontos tracionados também são encontrados nas juntas de assentamento. Havendo o aumento da área de aderência, melhores serão os resultados, assim como visto entre as amostras CP4-C e CP2-C.

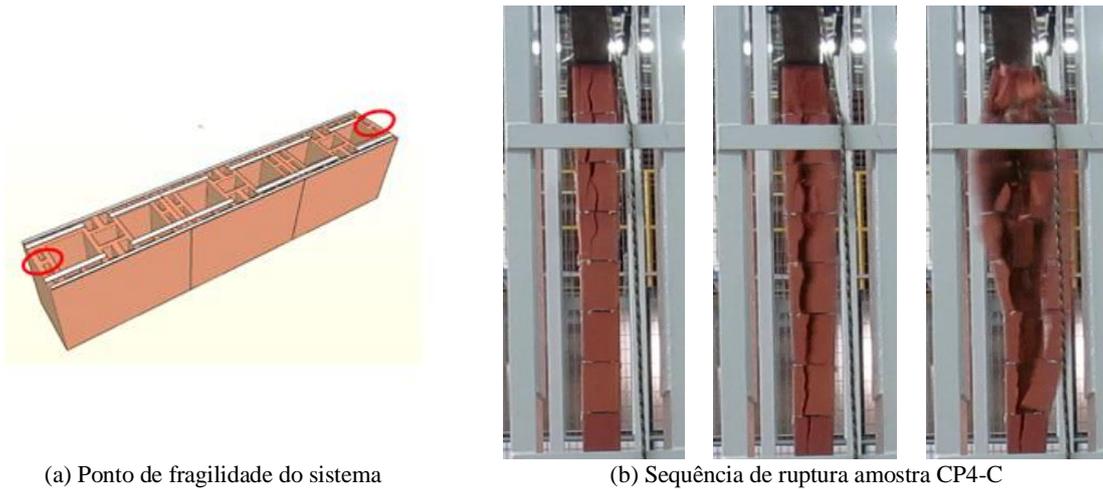


Figura 9: Modo de ruptura da amostra CP4-C

Por outro lado, dobrando a quantidade de material polimérico, obteve-se uma resistência muito similar à amostra AC-C, o que demonstra a capacidade portante e de aderência desse material. Porém, ressalta-se que, entre os três sistemas ensaiados, o que possui argamassa cimentícia é o que utilizou maior volume de material.

A Figura 10 demonstra as 3 diferentes rupturas observadas. A amostra AC-C rompeu por tração nas faces dos blocos cerâmicos individualmente sendo uma das faces mais prejudicada. A amostra CP2-C mostrou fragilização não uniforme do sistema e esmagamento da junta, o que proporcionou atrito entre os blocos, rompendo-os, pelo fato da amostra apresentar rompimento demarcado pela junta de assentamento. A amostra CP4-C demonstra o comportamento explicado anteriormente, sendo que a amostra agiu monoliticamente em sua região superior, tracionando ambas as faces de mais de um bloco simultaneamente.



Figura 10: Condições físicas das amostras após realização do ensaio de compressão axial

O estado da amostra CP2-C demonstrou ruptura nas juntas de assentamento, sendo que os esforços superaram a resistência de aderência à tração com aplicação de 2 filetes, que é o método convencional. O menor número de pontos de ligação possibilitou que a flambagem do sistema fosse maior. Na mesma amostra, observou-se que as tensões não foram transmitidas uniformemente.

4. CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos pela pesquisa é possível concluir que:

O composto polimérico é em média 33% mais resiliente que a argamassa cimentícia. Essa característica pode ser interessante à alvenaria estrutural, pois o material é capaz de absorver as deformações do sistema ao longo de sua vida útil sem apresentar fissuras, ou seja, mantém-se em seu regime elástico.

A distância entre o substrato e o composto polimérico, na zona de interface, pode ser considerada nula, visto que o material se adere por toda a superfície do bloco. Já na argamassa cimentícia, em uma extensão de 1209 μm , há poucos pontos de contato entre os elementos. A espessura da zona de transição entre a argamassa cimentícia e bloco chega a 100 μm . Os resultados de resistência de aderência à tração dos compostos poliméricos podem ser justificados devido a aderência plena ao substrato, tornando o comportamento da alvenaria como monolítico.

Em uma revisão bibliográfica foram encontrados valores de 2,9 MPa de resistência de aderência à tração do composto polimérico, enquanto a argamassa cimentícia industrializada apresenta valores de 0,43 MPa.

A amostra contendo blocos assentados com 4 filetes de composto polimérico apresentou comportamento estrutural e capacidade resistiva equivalente à amostra contendo argamassa cimentícia, porém com menor volume de material e menor tempo de cura, sendo justificado pela capacidade do sistema atuar monoliticamente com o composto polimérico.

Mesmo com os resultados obtidos neste trabalho, é necessário ampliar os estudos envolvendo os compostos poliméricos em alvenarias estruturais, uma vez que se verificou o potencial dos sistemas com tal material.

5. AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao itt Performance/UNISINOS pela possibilidade de realização dessa pesquisa.

6. BIBLIOGRAFIA

- [01] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16590-1:2017 Composto polimérico para assentamento de alvenaria de vedação. Parte 1: Requisitos. Rio de Janeiro, 2017.
- [02] CICHELERO, G.Z., MURARO, M.S. "Uso eficiência e a economia da alvenaria estrutural. Pesquisa comparativa de relação entre estruturas do sistema construtivo convencional". Trabalho de conclusão do curso de Engenharia Civil da Universidade do Sul de Santa Catarina, Florianópolis, SC, Brasil, 2017.
- [03] S.B. SINGH, PANKAJ MUNJAL. Bond strength and compressive stress-strain characteristics of brick masonry. *Journal of Building Engineering*. Volume 9, 2017. Pages 10-16, ISSN 2352-7102. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2016.11.006>.
- [04] SARANGAPANI, G., VENKATARAMA, R.B.V., JAGADISH, K.S. Brick-Mortar Bond and Masonry Compressive Strength. *JOURNAL OF MATERIALS IN CIVIL ENGINEERING*. Volume 17, Ed. 2, 2005. Pages 229-237, ISSN 0899-1561/2005/2-229-237. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0899-1561\(2005\)17:2\(229\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0899-1561(2005)17:2(229))
- [05] YOO, MOOYOUNG, HAM, NAMHYUK. 2020. "Productivity Analysis of Documentation Based on 3D Model in Plant Facility Construction Project" *Appl. Sci.* 10, no. 3: 1126.
- [06] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15575-2: Edificações habitacionais – Desempenho Parte 2: Requisitos para os sistemas estruturais. Rio de Janeiro, 2013.
- [07] BOLINA, F., TUTIKIAN, B., GONÇALVES, J. *et al.* "Numerical-experimental analysis of ceramic block walls with different thicknesses at high temperatures." *Revista de la Asociación Latinoamericana de Control de Calidad, Patología y Recuperación de la Construcción*, Vol. 10, núm.1, pp.22-35, 2020. ISSN: Disponible en : <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=4276/427661546003>
- [08] CAMACHO, J.S., FELIPE, A.S., PARSEKIAN, G.A., *et al.* Adhesion of ceramic tile coating system on concrete block wall. *Construction and Building Materials* 244, (2020).
- [09] CASTRO, V.A., ANJOS M.A.S., BORJA, E.V., *et al.* "Caracterização de argamassa para uso em sistemas de vedação vertical externo (SVVE)". *Holos*, Ano 26, Vol. 5 pp. 28–36, 2010.
- [10] AGGARWAL, L.K., THAPLIYAL, P.C., KARADE, S.R.. Properties of polymer-modified mortars using epoxy and acrylic emulsions. *Construction and Building Materials*. Volume 21, Issue 2, 2007. Pages 379-383, ISSN 0950-0618, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2005.08.007>.

- [11] EHRENBRING, H., ORTOLAN, V., BOLINA, F., *et al.* Avaliação da resistência residual de lajes alveolares em concreto armado em uma edificação industrial após incêndio. *Revista Matéria*, Volume 22, Issue 3, 2017. <https://doi.org/10.1590/S1517-707620170003.0208>.
- [12] MOREIRA, A.A.A., VERMELHO, L.C., ZANI, M.C. “Estudo da argamassa polimérica de assentamento de blocos e tijolos segundo aspectos técnicos, econômicos, mercadológicos e de clima organizacional”. *Revista Espacios*, VOL. 38 (53), pp.1-14, 2017.
- [13] SILVA, A., FELBINGER, B.C., ALMEIDA, M., *et al.* “Utilização de argamassa polimérica no assentamento de tijolos ou blocos”. Artigo, Associação Educacional Dom Bosco, Resende, RJ, Brasil. 2013.
- [14] LIAO, W. *et al.* Large scale experimental study on bond behavior between polymer modified cement mortar layer and concrete. *Construction and Building Materials*, v. 228, p. 116751, 2019.
- [15] AMIT RAJ, ARUN CH BORSAIKIA, UDAY S. DIXIT. Bond strength of Autoclaved Aerated Concrete (AAC) masonry using various joint materials. *Journal of Building Engineering*, Volume 28, 2020. ISSN 2352-7102. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2019.101039>.
- [16] MARVILA, M.T., ALEXANDRE, J., DE AZEVEDO, A.R.G. Evaluation of the use of marble waste in hydrated lime cement mortar based. *Journal of Material Cycles and Waste Management*. 21, 1250–1261 (2019). <https://doi.org/10.1007/s10163-019-00878-6>
- [17] WEIZHANG LIAO, HONGWEI WANG, MIAO LI, *et al.* Large scale experimental study on bond behavior between polymer modified cement mortar layer and concrete. *Construction and Building Materials*. Volume 228, 2019. ISSN 0950-0618. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.116751>.
- [18] AMIT RAJ, ARUN CH BORSAIKIA, UDAY S. DIXIT. Bond strength of Autoclaved Aerated Concrete (AAC) masonry using various joint materials. *Journal of Building Engineering*. Volume 28, 2020. ISSN 2352-7102. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2019.101039>.
- [19] POLETO; G., FIGUEIREDO; A., PRAGER; G. *et al.*. Performance evaluation of firestop for partitioning of hydraulic and electrical shafts. *Revista Matéria*, Volume 26, Issue 4, 2021. <https://doi.org/10.1590/s1517-707620210004.1362>
- [20] RAYMUNDO, C.A.C; PARSEKIAN, G.A; RAYMUNDO, H. “Utilização da argamassa polimérica com junta fina em alvenarias”. Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, SP, Brasil, 2017;
- [21] R. MUNCHEN; H.. EHRENBRING; A.. WIRTH; D.. *et al.* Impacto nas propriedades mecânicas do concreto curado sob baixas temperaturas. *Revista Matéria*, Volume 24, Issue 2, 2019. <https://doi.org/10.1590/s1517-707620190002.0661>
- [22] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 15812-3: Alvenaria estrutural - Blocos cerâmicos. Parte 3: Métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2017.
- [23] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13279 Argamassa para assentamento de paredes e tetos – Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão. Rio de Janeiro, 2005.
- [24] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16590-2:2017 Composto polimérico para assentamento de alvenaria de vedação. Parte 2: Métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2017.
- [25] ASTM INTERNATIONAL. F36-15 Standard test method for compressibility and recovery of gasket materials. Pensilvânia, 2015.
- [26] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15270-1: Componentes cerâmicos – Blocos e tijolos para alvenaria. Parte 1: Requisitos. Rio de Janeiro, 2017.
- [27] FILOMENO, L.O; Caracterização das argamassas de assentamento empregadas na região de Florianópolis e estudo comparativo entre argamassas de assentamento de cimento e cal e cimento e saibro. Dissertação (Mestrado do curso de Engenharia Civil) Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, 1993.
- [28] MOHAMAD, G.; ROMAN, H.R.; RIZZATTI, E.; *et al.* Alvenaria Estrutural. In: ISAIAS, G. C. (Ed.) *Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciências e Engenharia de Materiais*. Iphis Gráfica e Editora, São Paulo, Cap. 30. p. 1007 – 1036. 2007.
- [29] SABBATINI, F.H; Argamassas de Assentamento para paredes de Alvenaria Resistente. ABC, 2.ed., 44p. São Paulo. 1998.
- [30] HAACH, V.G., VASCONCELOS, GRAÇA, LOURENÇO, PAULO B. Influence of aggregates grading and water/cement ratio in workability and hardened properties of mortars. *Construction and Building Materials*, Volume 25, Issue 6. 2011, Pages 2980-2987, ISSN 0950-0618. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2010.11.011>.
- [31] CARUSO, J.G. Desenvolvimento numérico experimental de corpos de prova aplicáveis a ensaios de tração, compressão e torção de polímeros. Dissertação (Mestrado do curso de Engenharia Mecânica) Centro Universitário da FEI. São Bernardo do Campo, São Paulo. 2015.
- [32] VANIN, F.; ZAGANELLI, D.; PENNA, A., *et al.* Estimates for the stiffness, strength and drift capacity of stone masonry walls based on 123 quasi-static cyclic tests reported in the literature. *Bull Earthquake Eng* 15, 5435–5479, 2017. <https://doi.org/10.1007/s10518-017-0188-5>

- [33] CARASEK, H. Argamassas. In: ISAIAS, G. C. (Ed). Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais. Ispis Gráfica e Editora, São Paulo. Cap. 26. p. 863 – 904. 2007.
- [34] MELO, A.C., COSTA E SILVA, A.J., TORRES, S.M., *et al.* Influence of the contact area in the adherence of mortar – Ceramic tiles interface. *Construction and Building Materials*, Volume 243. 2020. ISSN 0950-0618. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.118274>.
- [35] COSTA, E.B.C. Análise de parâmetros influentes na aderência de matrizes cimentícias. Tese (Doutorado do curso de Pós-Graduação de Engenharia-Civil) Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo 2014.
- [36] MENDEZ, B.; CADORE, B.; PERICO, R.; *et al.* Análise da viabilidade de uso de composto polimérico para assentamento de revestimento cerâmico. In: Congresso brasileiro de patologia das construções, 2018, Campo Grande. Anais de congresso CBPAT, v. 1. P 1-10, 2018.
- [37] VAZ, F.H.B.; CARASEK, H. Resistência de aderência de revestimentos de argamassa - contribuição por meio de mapeamento e revisão sistemática de literatura para futuras pesquisas no tema. *Cerâmica* vol. 65 no. 374 São Paulo Apr./June 2019 Epub June 06, 2019.
- [38] PACHECO, F.; PERICO, R.; CHRIST, R.; *et al.* Determination of volume and distribution of pores of concretes according to different exposure classes through 3D microtomography and mercury intrusion porosimetry. *Structural Concrete*, Volume 19, Issue 5, 2019. <https://doi.org/10.1002/suco.201800075>
- [39] FORTES, E.S.; PARSEKIAN, G.A.; CAMACHO, J.S. *et al.* Resistência a compressão da alvenaria estrutural com blocos de concreto de alta resistência. *Revista Ibracon de estrutura e Materiais*, Vol. 10, nº 6, p. 1273 - 1319. 2017.
- [40] SINGH, S.B; MUNJAL, P. Bond strength and compressive stress-strain characteristics of bricks masonry. *Journal of Building Engineering*, 9:10-16, <https://doi.org/10.1016/j.job.2016.11.006>. 2016.
- [41] DAPPER, P.; EHRENBRING, H.; PACHECO, F.; *et al.* Ballistic Impact Resistance of UHPC Plates Made with Hybrid Fibers and Low Binder Content. *Sustainability* 2021, 13, 13410. <https://doi.org/10.3390/su132313410>.

ORCID

Matheus Donadello	https://orcid.org/0000-0003-1172-9916
Hinoel Zamis Ehrenbring	https://orcid.org/0000-0002-0339-9825
Fernanda Pacheco	https://orcid.org/0000-0003-3455-491X
Roberto Christ	https://orcid.org/0000-0003-1367-8972
Bernardo Fonseca Tutikian	https://orcid.org/0000-0003-1319-0547