

Verificação da influência da exposição às altas temperaturas na aderência do revestimento de argamassa de paredes de alvenaria de blocos cerâmicos

Verification of the influence of high temperatures on the adhesion of the mortar coating of masonry walls

Guilherme Manfredini Bueno¹, Marco Aurélio Stumpf Gonzalez²
Bernardo Fonseca Tutikian²

¹Mestre em Engenharia Civil pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PPGEC) – Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS), Avenida Unisinos, 950, 93022-750, São Leopoldo, Rio Grande do Sul, Brasil

²Professor no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PPGEC) e no Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo - UNISINOS, Avenida Unisinos, 950, 93022-750, São Leopoldo, Rio Grande do Sul, Brasil.
e-mail: guilherme-m-b@hotmail.com, mgonzalez@unisinos.br, bftutikian@unisinos.br

RESUMO

Durante um incêndio, a alvenaria pode se degradar devido a ação das altas temperaturas. O revestimento de argamassa, sendo o último componente da alvenaria, pode sofrer uma redução considerável em suas propriedades mecânicas. O estudo de alterações macroestruturais, como a resistência de aderência à tração em argamassas de revestimento diante da exposição da alvenaria a altas temperaturas, é importante para compreender o nível de degradação das paredes de alvenaria para que se possa aperfeiçoar as recomendações de projeto e garantir a segurança dos usuários durante uma situação de incêndio. Neste sentido, esta investigação busca analisar a resistência de aderência à tração do revestimento de argamassa em paredes de alvenaria, em condições de temperatura ambiente e em altas temperaturas. O programa experimental consistiu em confeccionar uma parede de alvenaria em escala real e submetê-la à curva padrão ISO 834 durante 240 minutos. Antes do programa térmico iniciar, foram realizados os ensaios de resistência à tração do revestimento de argamassa nas extremidades da parede, região que não é afetada pela ação térmica. Após o ensaio de resistência ao fogo foi verificada a resistência de aderência à tração na superfície não exposta e os resultados foram submetidos a uma análise estatística. Apesar da alvenaria ter mantido sua estabilidade e estanqueidade durante os 240 minutos do ensaio de resistência ao fogo, foi classificada como EI-180, visto que a capacidade de isolamento térmico se manteve por 193 minutos. Observou-se uma redução de 71,4% na resistência de aderência do revestimento de argamassa com o substrato após a exposição da parede às altas temperaturas, indicando uma variância estatisticamente significativa.

Palavras-chave: altas temperaturas, revestimento de argamassa, aderência à tração, paredes de alvenaria.

ABSTRACT

During a fire, the masonry can degrade due to the action of high temperatures. Mortar coating, being the last component of masonry, can suffer a considerable reduction in its mechanical properties. The study of macrostructural changes, such as the tensile bond strength in coating mortars when masonry is exposed to high temperatures is important to understand the level of degradation of masonry walls to allow the improvement of the design recommendations and ensure the user safety during a fire situation. In this sense, this investigation seeks to analyze the tensile bond strength of the mortar coating on masonry walls at ambient temperature and high temperature. For the experimental study, a full-scale masonry wall was built and submitted to the ISO 834 standard curve for 240 minutes. Before the thermal program starts, the tensile bond strength tests of the mortar coating were carried out at the ends of the wall which is a region that is not affected by the thermal action. After the fire resistance test, the tensile bond strength on the unexposed surface was verified and the results were subjected to statistical analysis. Although the wall maintained its stability and integrity during

the 240 minutes of the fire resistance test, it was classified as EI-180, since the thermal insulation capacity was maintained for 190 minutes. A reduction of 71.4% in the tensile bond strength of the mortar coating with the substrate was observed after the exposure of the wall to high temperatures, indicating that the variance is statistically significant.

Keywords: high temperatures, mortar coating, tensile bond strength, masonry walls.

1. INTRODUÇÃO

Para garantir o bom desempenho da alvenaria revestida com argamassa, é fundamental que exista aderência entre a argamassa e o substrato. Conforme a EN 1015-12:2016 [1], a resistência de aderência à tração é considerada a máxima tensão aplicada por uma carga perpendicular a um revestimento de argamassa em um substrato. De acordo com a ASTM D4541-17:2017 [2], o resultado dessa resistência tem influência das propriedades da argamassa e substrato, e também do equipamento utilizado nas medições.

VAZ e CARASEK [3] relatam que os diferentes traços e materiais possíveis de serem empregados na composição das argamassas de revestimento estão entre os fatores que mais exercem influência na aderência com o substrato. Conforme ANTUNES [4], após conhecer o coeficiente de dilatação dos materiais a serem empregados na mistura de argamassa, pode-se determinar sua dosagem, chegando a uma mistura em que o coeficiente da argamassa e o coeficiente do substrato a ser revestido sejam os mais próximos possíveis para evitar grandes diferenças de desempenho causadas pela dilatação, ajudando assim a prevenir possíveis ocorrências, como o surgimento de fissuras. Além disso, o emprego de adições e aditivos em argamassas pode melhorar o comportamento aderente, assim como piorar. Segundo STOLZET *et al.* [5], os principais mecanismos de aderência entre materiais cimentícios (revestimento de argamassa) e cerâmicos (substrato) são a adsorção e a adesão mecânica, fazendo com que os materiais se atraiam através de forças intermoleculares, e assim a argamassa penetra nos poros do revestimento cerâmico. De acordo com BOTAS *et al.* [6] e ZANELATO *et al.* [7], a aderência entre a argamassa e o substrato é influenciada pelas propriedades do substrato, propriedades da argamassa, cura do revestimento e pela forma como a argamassa foi aplicada no substrato. A aderência à tração dos revestimentos também é influenciada pelo índice de absorção de água e temperatura de queima dos blocos cerâmicos [8, 9], pela rugosidade do substrato [10-13] e área de contato entre a argamassa e o substrato [14]. ZANELATO [15] relata que para argamassas com baixa retenção de água, mas alto valor de ar incorporado, pode haver uma diminuição na resistência de aderência à tração do revestimento.

Um revestimento de argamassa perde a aderência quando está submetido a tensões que superam a capacidade aderente das ligações, ocasionando processos que levam a falhas ou ruptura na interface da base ou substrato ou na interface das camadas constituintes do revestimento [16]. Em relação à ruptura da aderência na alvenaria, pode ocorrer de duas formas, sendo a primeira do tipo adesiva, ocorrendo nas interfaces (regiões de contato entre substrato/argamassa, substrato/chapisco e chapisco/argamassa) ou do tipo coesiva, ocorrendo no interior de algum material constituinte do revestimento (substrato, argamassa e chapisco) [17].

As paredes de alvenaria podem sofrer ação de altas temperaturas durante um incêndio e se degradarem. O seu comportamento durante a exposição térmica está relacionado, principalmente, com as propriedades dos materiais componentes, como os blocos e argamassa de assentamento e revestimento [18]. Como o revestimento de argamassa faz parte da última camada da alvenaria, este subsistema é o mais afetado pela ação térmica, estando sujeito a alterações a nível macroestrutural, como é o caso da resistência de aderência à tração [19]. Nestes casos, é fundamental entender o comportamento da alvenaria para fornecer um correto diagnóstico sobre o impacto do sinistro sobre a edificação. SCHAFER [19] concluiu que a degradação do revestimento de argamassa ocorre em faixas de temperaturas superiores a 500 °C, sendo que o seu desprendimento da alvenaria acontece a partir da temperatura de 700°C. RIGÃO [20] constatou que, independente da resistência da argamassa, a exposição em temperaturas da ordem de 900 °C provoca sua completa deterioração.

Dentro deste contexto, o objetivo desta pesquisa é verificar a influência da exposição as altas temperaturas na resistência de aderência à tração do revestimento de argamassa de paredes de alvenaria de blocos cerâmicos.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Uma parede de alvenaria em escala real, com dimensões de (3,0 x 3,0) m, foi construída no Instituto Tecnológico em Desempenho da Construção Civil (ittPerformance)/ UNISINOS. Na confecção foram usados blocos cerâmicos denominados EST70 (7,0 MPa de resistência) com dimensões (14 x 19 x 29) cm e meio blocos (14 x 19 x 14) cm. Os blocos foram caracterizados com base na NBR 15270:2017 [21a, 21b] e estavam em conformidade em relação à geometria e propriedades físicas e mecânicas. O assentamento foi realizado com argamassa industrializada e as juntas de 10 mm desencontradas (horizontais e verticais). O chapisco da parede, com espessura de 5 mm em cada superfície e traço 1:3 (cimento:areia grossa, em volume), foi feito com cimento CP II F – 32. Já para o revestimento de 20 mm em ambos os lados da parede, utilizou-se argamassa usinada estabilizada, com tempo de utilização de 36 horas e traço 1:5 (cimento, areia, em volume), sendo

ainda adicionado 0,35% de aditivo incorporador de ar e 1% de aditivo aerador de pega, sobre a massa do cimento. A empresa que produziu a argamassa usinada estabilizada, devido a motivos comerciais, não fez a divulgação do traço que empregou na dosagem e nem forneceu os materiais para ser realizada a caracterização, informando somente sua composição. Assim, foi realizada apenas a caracterização do produto final, ou seja, da argamassa que foi recebida no ittPerformance e utilizadas na confecção da parede. As Tabelas 1 e 2 mostram a caracterização do revestimento de argamassa, no estado fresco e endurecido, respectivamente.

Tabela 1: Caracterização da argamassa de revestimento no estado fresco.

Características avaliadas	Resultados	Método de ensaio
Índice de consistência por espalhamento (mm)	248,70	NBR 13276:2016 [22]
Densidade de massa (kg/m ³)	1729,80	NBR 13278:2005 [23]
Teor de ar incorporado(%)	16,00	NBR 16887:2020 [24]

Tabela 2: Caracterização da argamassa de revestimento no estado endurecido.

Características avaliadas	Resultados	Método de ensaio
Resistência à compressão (MPa)	4,18	NBR 13279:2005 [25]
Resistência à tração na flexão (MPa)	1,69	NBR 13279:2005 [25]
Densidade de massa (kg/m ³)	1583,17	NBR 13280:2005 [26]
Coefficiente de capilaridade (g/dm ² .min ^{1/2})	3,03	NBR 15259:2005 [27]
Índice de vazios (%)	19,83	NBR 9778:2009 [28]

Um forno vertical com estrutura metálica, revestimento de fibra cerâmica, e alimentado por gás liquefeito de petróleo (GLP) foi usado para submeter a parede às altas temperaturas. Outras pesquisas, como a de BOLINA *et al.* [29], MANICA *et al.* [30] e SOUZA *et al.* [31] também seguiram o mesmo procedimento. Após o período de cura ambiente em sala não climatizada, que durou 68 dias, foi feito o ensaio de aderência do revestimento e, posteriormente, a parede foi acoplada ao forno para ser exposta às altas temperaturas. Cabe mencionar que o período de cura superior a 28 dias foi escolhido para promover uma redução no teor de umidade do revestimento de argamassa, devido as reações de hidratação da pasta de cimento, bem como a evaporação da água. A exposição às altas temperaturas da parede foi de acordo com as recomendações de testes de resistência ao fogo, incluindo as normas ASTM E 119:2014 [32], AS 1530:2005 [33], BS 476:2004 [34] e NBR 10636:1989 [35]. A evolução da temperatura seguiu a Equação 1, correspondente a curva ISO 834:1999 [36], onde T consiste na temperatura média do forno (°C), T₀ na temperatura no início do ensaio (°C) e t no tempo de ensaio (minutos), para descrever a evolução da temperatura ao longo do ensaio.

Durante o programa térmico, também foram analisados os critérios de estabilidade, estanqueidade e isolamento térmico da parede. A verificação da estabilidade foi feita com o auxílio de uma estação total que ficou posicionada em frente à parede durante o ensaio e os dados processados no *software* CloudCompare. Para a estanqueidade, utilizou-se um chumaço de algodão posicionado nos locais de maior temperatura e regiões com fissuras. Ocorre a perda da estanqueidade nos casos em que o algodão entra em ignição. Já para o isolamento térmico, utilizou-se uma câmera termográfica posicionada na frente da parede e também termopares, posicionados diretamente na parede conforme as posições apresentadas na Figura 1. A NBR 10636:1989 [35] estabelece que a propriedade de isolamento térmico da parede se mantém enquanto a temperatura média aritmética na superfície não exposta às chamas for menor que 140 °C, e em qualquer um dos termopares externos for menor que 180 °C, considerando o acréscimo da temperatura ambiente no início do ensaio.

$$T = T_0 + 345 \log_{10}(8t + 1) \quad (1)$$

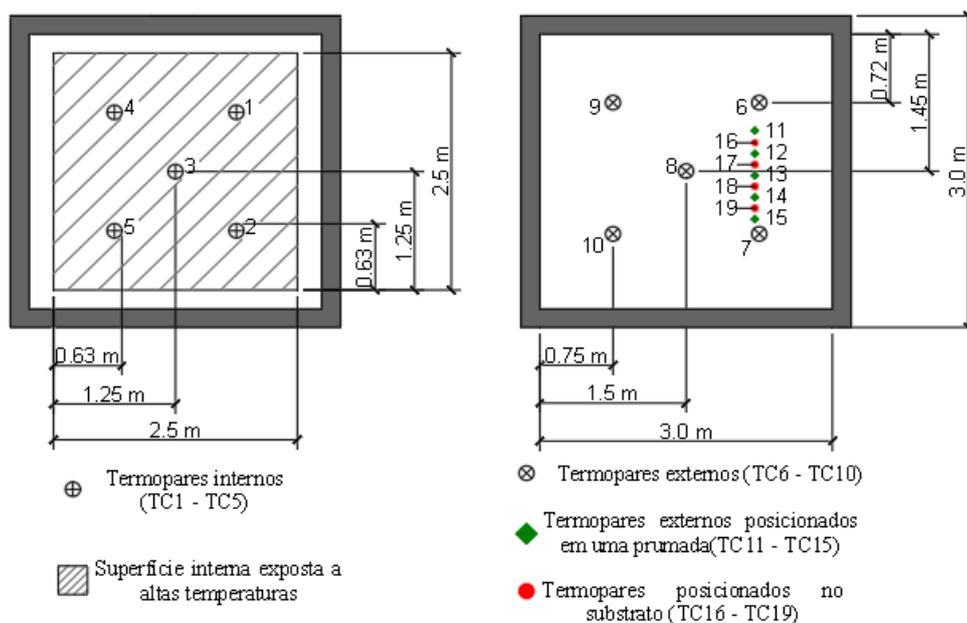


Figura 1: Posicionamento dos termopares, esquerda: face interna, direita: face externa.

A resistência de aderência à tração do revestimento de argamassa foi determinada através dos procedimentos estabelecidos na NBR 13528:2019 [37a, 37b, 37c]. Os testes de aderência foram realizados antes de expor a parede às altas temperaturas, e para fins de comparação, após a parede ter sido exposta à curva-padrão ISO 834:1999 [36].

Para a extração das amostras, foram feitos furos de 50 mm de diâmetro, nos locais mostrados na Figura 2, com uma furadeira conectada a uma broca serra-copo. Posteriormente, foi realizada a limpeza da superfície na região dos furos e então foram coladas, com o auxílio de resina epóxi, pastilhas circulares, que possuem um local para acoplar o dinamômetro de tração, que é o equipamento que realiza a tração. Em seguida, posicionou-se o dinamômetro de tração sobre cada pastilha para realizar o arrancamento e fornecer a carga de ruptura. Finalmente, foi feita a análise do tipo de ruptura e o cálculo da resistência de aderência à tração de cada amostra extraída.

A extração consistiu em sete amostras antes da exposição às altas temperaturas e doze amostras após a exposição térmica. Conforme mostrado na Figura 2, percebe-se que os ensaios de aderência antes e após a submissão às altas temperaturas foram feitos em faces distintas da parede. Porém utilizou-se o mesmo revestimento de argamassa em todas as faces, do tipo usinado industrializado. Além disso, a execução do revestimento foi realizada com a mesma mão-de-obra em ambas as faces e ocorreu no mesmo dia, em ambiente fechado e com controle de temperatura, umidade e velocidade do ar. Cabe ainda destacar que a espessura do revestimento de argamassa adotada foi a mesma em ambas as faces da parede, sendo rigorosamente controlada com o auxílio de uma régua de alta precisão. Desta forma, pode-se garantir que ambas as faces da parede eram idênticas.

Salienta-se que, como ambos os lados da parede eram iguais, pouco importava qual lado seria testado antes de expor a parede as cargas térmicas para determinar a resistência à tração do revestimento de argamassa. Então, selecionou-se o lado que seria exposto diretamente às altas temperaturas para determinar a resistência de aderência à tração. Porém, para não danificar o sistema (que ainda iria passar pelo ensaio de resistência ao fogo), isto é, coletando amostras na área de exposição e diminuindo a espessura efetiva, foi determinado que o local de realização do ensaio de aderência seria nas extremidades da parede, fora da área efetivamente que é exposta termicamente (2,5 x 2,5) m. Assim, foram selecionados sete locais de extração em regiões distribuídas conforme a delimitação da área fora da exposição direta as cargas térmicas, sendo considerado um número suficiente de exemplares nas regiões extremas da parede, visando não coletar em áreas que teriam contato com chamas e gases quentes.

Por outro lado, assim como num ensaio para determinar a resistência ao fogo de elementos de vedação ou com função estrutural, os dados que servem para caracterizar a amostra quanto ao tempo de resistência ao fogo (TRF) são medidos na face do elemento não exposta diretamente às elevadas temperaturas. Neste sentido, para determinar a resistência à tração do revestimento de argamassa após a submissão da parede às altas temperaturas, as amostras foram extraídas da face não exposta às altas temperaturas, sendo definidos doze pontos de extração.

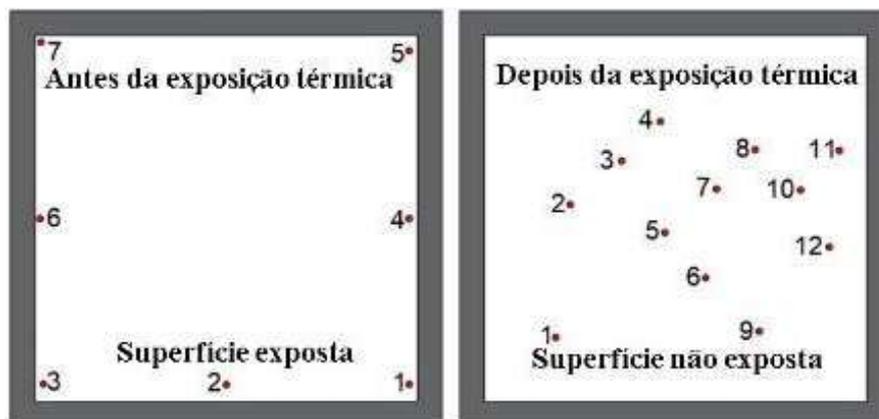


Figura 2: Locais de realização do ensaio de resistência a tração: antes de expor a parede às altas temperaturas (à esquerda) e depois de expor a parede às altas temperaturas (à direita).

A NBR 13749:2013 [38] estabelece a resistência de aderência à tração mínima em função do local da parede (ambiente externo ou interno), conforme mostrado na Tabela 3. Para verificar estatisticamente se houve diferença na tensão de aderência antes e depois da exposição às altas temperaturas, foi realizado o teste t com o auxílio do *software* Statistica 13.5, presumindo variâncias equivalentes, considerando-se a hipótese da diferença de média igual a zero, para um nível de significância de 5 %.

Tabela3: Resistência potencial de aderência à tração (NBR 13749:2013) [38].

Local	Acabamento	Resistência de aderência à tração (MPa)
Interna	Pintura ou base para reboco	$\geq 0,20$
	Cerâmica ou laminado	$\geq 0,30$
Parede Externa	Pintura ou base para reboco	$\geq 0,30$
	Cerâmica	$\geq 0,30$

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Resistência ao fogo da parede

No instante em que o ensaio de resistência ao fogo teve início, as condições ambientais no laboratório foram medidas com o auxílio do termohigrômetro Instrutemp ITMP 600, sendo registrada a temperatura ambiente de 24,4 °C, umidade relativa do ar de 65,3% e velocidade do ar de 0 m/s.

Após o registro da nuvem de pontos com a deformação lateral pela estação total, os dados foram processados no *software* CloudCompare, contribuindo na verificação da estabilidade da parede. Observou-se que o deslocamento horizontal máximo (42,376 mm) ocorreu na região central, com a curvatura no sentido das altas temperaturas, aos 20 minutos de ensaio (Figura 3a). Até este instante foi constatado o surgimento de fissuras no revestimento de argamassa da parede, posteriormente, foi observado a presença de umidade nas fissuras, extremidades e bordas da parede e, daí em diante a deformação foi diminuindo, indicando um alívio nas tensões. A partir dos 60 minutos, notou-se que a deformação se estabilizou, variando $\pm 1,0$ mm até o final do ensaio, quando a curvatura no sentido das altas temperaturas era de 35,537 mm na região central da parede (Figura 3b). Mesmo diante das fissuras e manifestações, a deformação da parede não provocou o seu colapso, tampouco revelou sinais de instabilidade, exprimindo, assim, que a parede preservou sua estabilidade durante os 240 minutos de ensaio. Investigações com paredes de alvenaria cerâmica de vedação conduzidas por NguYEN e MEFTAH [39], revelam que a exposição térmica à curva ISO 834:1999 [36] acarretou num encurvamento lateral máximo da alvenaria de cerca de 40 mm, indo ao encontro do valor registrado para a parede investigada.

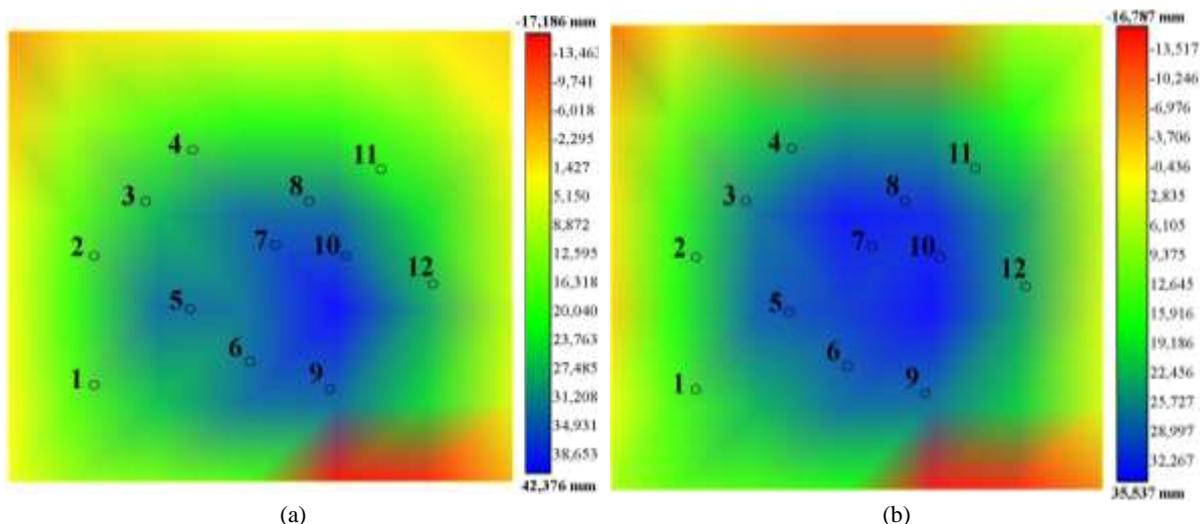


Figura 3: Deformação lateral* da parede: (a) máxima, aos 20 minutos de ensaio e (b) no final do ensaio, aos 240 minutos. * Estão representados os locais de realização do ensaio de resistência à tração depois de expor a parede às altas temperaturas.

No decorrer do ensaio, para determinar a resistência ao fogo da parede, foi feita a aproximação de chuvaços de algodão nos locais com presença de fissuras, assim como nos locais com registro de maiores temperaturas, porém, em nenhuma das tentativas ocorreu a inflamação do algodão, o que assegura que a parede manteve sua estanqueidade à passagem de chamas e gases quentes por 240 minutos.

Pode-se observar na Figura 4a que a temperatura média dentro do forno atendeu os limites mínimos e máximos estabelecidos na ISO 834:1999 [36] durante o ensaio de resistência ao fogo, chegando a 1148,1 °C no término do teste. Os termopares TC1 a TC5 que faziam o registro da temperatura na amostra, indicaram pelo TC2 que a temperatura na face exposta alcançou 1140,3 °C (Figura 4b). Devido a problemas técnicos na transmissão dos dados, o registro de temperatura pelos termopares TC4 e TC5 passaram a não ser processados por volta dos 15 minutos de ensaio.

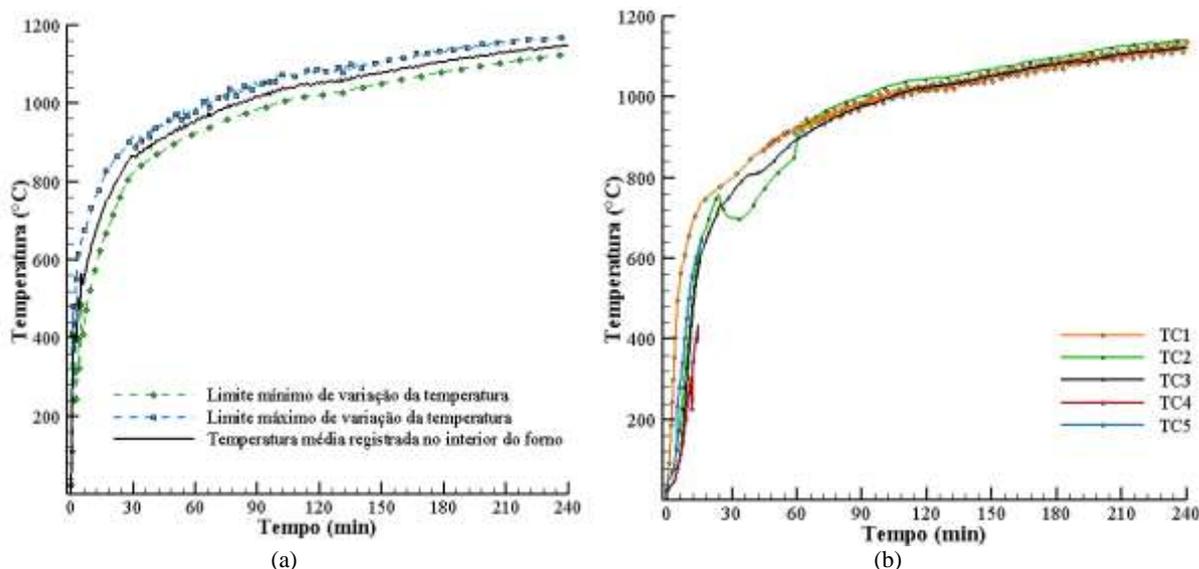


Figura 4: Evolução da temperatura: (a) no forno e (b) na superfície exposta da parede.

Quando o ensaio iniciou, foi registrada a temperatura ambiente de 24,4 °C, desta forma, o isolamento térmico da parede resiste até a temperatura média de 164,4 °C (T_{med} limite de resistência ao fogo) e temperatura pontual de 204,4 °C (T_{max} pontual). Com os termopares TC6 a TC15 foi verificada a capacidade de isolamento térmico (Figura 5a), exceto o termopar TC11 que falhou ao transmitir os dados do ensaio. Constatou-se que o sensor TC14 alcançou o limite de temperatura pontual, qualificando a parede como TRF 193

minutos.

Os termopares TC16 a TC19 (Figura 5b), posicionados no substrato cerâmico, indicaram que o termopar TC17 atingiu a temperatura máxima pontual aos 178 minutos, demonstrando que a presença do revestimento de argamassa de 20 mm em ambos os lados da parede proporcionou um aumento de 15 minutos no TRF da parede. Nota-se que a temperatura aumentava de forma estável até os 100 °C e, depois, ocorreu um pico de aquecimento, representando o calor latente de vaporização da umidade presente na alvenaria.

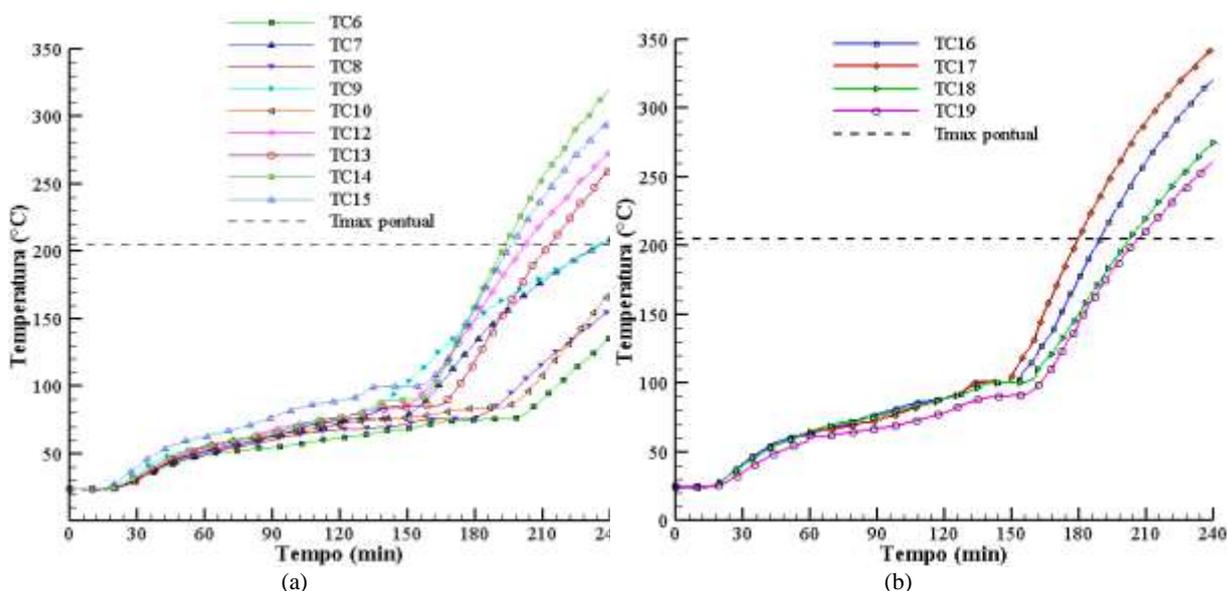


Figura 5: Evolução da temperatura pontual na superfície não exposta: (a) termopares posicionados no revestimento e (b) termopares posicionados no substrato.

Durante a ação das altas temperaturas sob a parede de alvenaria, foram geradas tensões diferenciais entre o revestimento de argamassa e o substrato cerâmico, devido aos diferentes coeficientes de dilatação térmica. Os blocos cerâmicos têm coeficiente de dilatação térmica médio de $6 \times 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$, enquanto a argamassa possui um coeficiente de dilatação térmica médio de $11 \times 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ [40-43]. Em consequência das tensões provocadas pelo aquecimento, a amostra se curvou, além de ter sofrido alterações nas propriedades dos materiais empregados na execução da alvenaria. Esses fatores têm influência direta na aderência à tração do revestimento, afetando seu desempenho.

A exposição a altas temperaturas de materiais à base de cimento, como a argamassa aplicada no revestimento, provoca mudanças físicas e químicas e, por consequência, afeta negativamente suas propriedades. MEHTA e MONTEIRO [44] relatam que durante a ação térmica, a temperatura de concretos ou argamassas, em função do grau de hidratação e umidade, não aumenta até a evaporação completa de toda a água do material. Além disso, ocorre uma transformação da porosidade, formando uma nova dimensão dos poros e surgimento de microfissuração [45]. Ainda, ocorrem alterações químicas que degradam o material e diminuem sua durabilidade [4]. Conforme PAES [46], quando a água da argamassa migra para o substrato cerâmico ou evapora para o ambiente, ocorre uma modificação a nível microestrutural na argamassa e na interface argamassa-substrato, influenciando nas propriedades do revestimento e na aderência da interface.

Em relação as alterações físicas, KIRCHHOF [45] menciona que as altas temperaturas provocam a evaporação da água presente em materiais cimentícios, como a argamassa, aumentando até $1\mu\text{m}$ o tamanho dos poros da pasta de cimento desidratada, sendo este comprimento já considerado uma microfissura. KIMET *al.* [47] relatam que, além do aumento da porosidade, a densidade da argamassa diminui. A partir de $400 \text{ }^\circ\text{C}$ a principal mudança física na argamassa é a desidratação causada pela decomposição dos principais produtos de hidratação: silicato de cálcio hidratado (C-S-H) e portlandita (CH), impulsionando a fissuração térmica. Quando a temperatura atinge $700 \text{ }^\circ\text{C}$, a desidratação é quase integral, podendo ocorrer o lascamento do material. A composição de uma pasta de cimento Portland hidratada inclui silicato de cálcio hidratado (C-S-H), hidróxido de cálcio e sulfoaluminatos de cálcio hidratados. Dentre as reações químicas que ocorrem ao submeter uma argamassa a altas temperaturas, destaca-se a perda de água em temperaturas da ordem de $300 \text{ }^\circ\text{C}$. Ao atingir 400 até cerca de $700 \text{ }^\circ\text{C}$, o hidróxido de cálcio começa a se decompor, assim como passa a ocorrer a destruição do gel de C-S-H, em contrapartida, o óxido de cálcio aumenta gradativamente. Em temperaturas

acima de 900°C, o C-S-H se decompõe completamente [44, 47, 48].

Além de alterações físicas e químicas, a ação das altas temperaturas na argamassa também afeta suas propriedades mecânicas, uma vez que resistência à compressão e o módulo de elasticidade diminuem, enquanto a porosidade e absorção de água aumentam [49-51].

A temperatura média registrada no substrato (TC16 a TC19) era praticamente a mesma no revestimento da superfície não exposta (TC6 a TC15) até os 30 minutos de ensaio. Posteriormente, a temperatura média registrada foi inferior no revestimento externo até cerca de 60 minutos. Adiante, a temperatura média foi maior no revestimento externo, prevalecendo com este comportamento até o final do ensaio. Em geral, notou-se que a temperatura média registrada foi maior no substrato cerâmico da parede e o revestimento proporcionou um prolongamento no tempo de resistência ao fogo (ver Figura 6), indo de encontro com o esperado.

Considerando as temperaturas médias, constatou-se que a temperatura registrada no substrato cerâmico pelos termopares TC16 a TC19 foi maior em comparação aos termopares TC6 a TC15, posicionados no revestimento. Conforme visualiza-se na Figura 6, a temperatura limite de 164,4 °C para a capacidade de isolamento térmico foi superada após 178 minutos de ensaio no substrato e após 203 minutos no revestimento de argamassa. Diante dos resultados obtidos em relação as temperaturas médias, pode-se afirmar que a presença do revestimento gerou um aumento de 15% ou 25 minutos na capacidade de isolamento térmico da parede, demonstrando sua importância na execução de alvenarias para promover uma maior resistência ao fogo. Tais resultados reforçam o que já fora investigado pela literatura técnica como MANICA *et al.* [52] e SOUZA *et al.* [31], indicando que o revestimento promove um melhor isolamento térmico para as paredes de compartimentação. Conforme já discorrido anteriormente, pode-se observar que a elevação da temperatura era estável até os 100 °C e posteriormente, ocorreu uma eminência na curva do acréscimo de temperatura devido ao calor latente de vaporização da umidade presente na alvenaria.

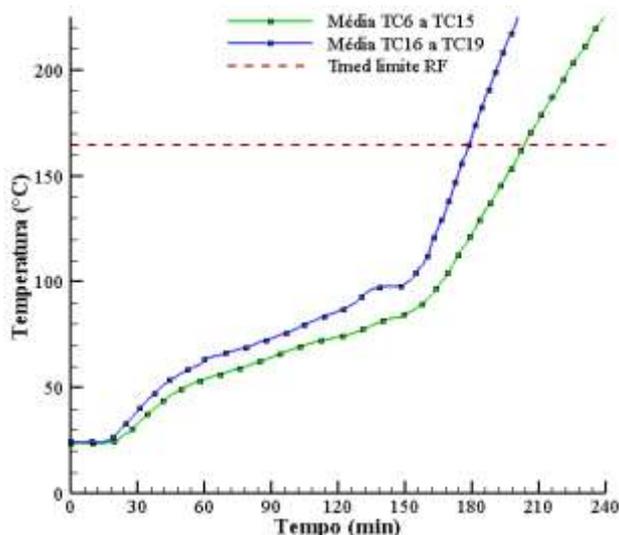


Figura 6: Evolução da temperatura pontual na superfície não exposta: substrato cerâmico versus revestimento de argamassa.

Da imagem registrada pela câmera termográfica aos 240 minutos de ensaio (Figura 7), pode-se observar que as maiores temperaturas estavam concentradas nos terços laterais da parede.

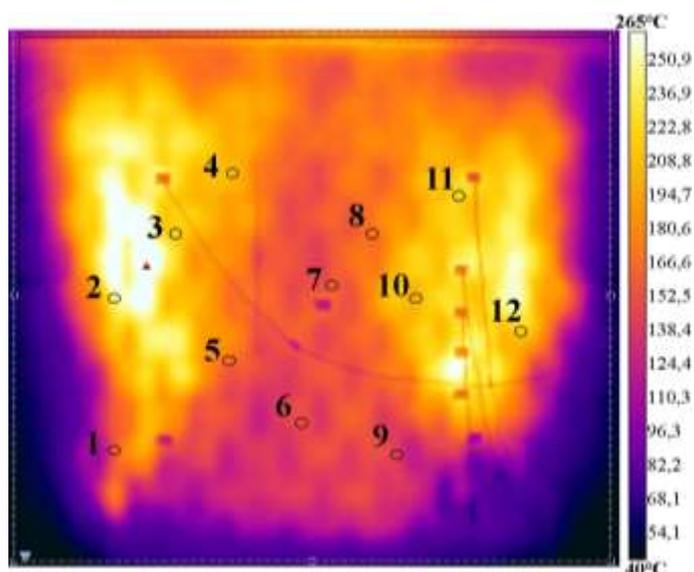


Figura 7: Imagem térmica da parede aos 240 minutos de ensaio.

* Estão representados os locais de realização do ensaio de resistência à tração depois de expor a parede às altas temperaturas.

Ao longo do ensaio de resistência ao fogo, não foram observados sinais ou ruídos que demonstrassem que o revestimento na face exposta estava deslocando. Porém, ao término do ensaio, a parede emitiu ruídos que sinalizavam a ocorrência de deslocamento do revestimento de argamassa, assim como o desprendimento de partições lascadas do substrato cerâmico. Após desacoplar a parede do forno, observou-se o seu aspecto na superfície exposta (Figura 8a) e na superfície não exposta às altas temperaturas (Figura 8b). Observou-se que na superfície exposta, ocorreu o lascamento do substrato em mais de 70% da área superficial da parede, enquanto na área restante o revestimento apresentou inúmeras fissuras, indicando a sua fragilidade após a exposição térmica. Do outro lado, na superfície não exposta, se manifestaram algumas fissuras no revestimento, contudo as mesmas não comprometeram a estanqueidade da parede diante das verificações realizadas ao longo do ensaio de resistência ao fogo.



Figura 8: Aspecto final da parede: (a) superfície exposta e (b) superfície não exposta.

3.2 Resistência de aderência à tração do revestimento de argamassa

Os ensaios de determinação da resistência de aderência à tração do revestimento de argamassa foram realizados conforme os procedimentos descritos na NBR 13528: 2019 [37], nos locais descritos na Figura 2. A NBR 13749:2013 [38] prevê que a argamassa atinja uma resistência de aderência com o substrato de pelo menos 0,20 MPa para paredes internas e 0,30 MPa para as externas, o que foi atendido em todos os ensaios antes da exposição às altas temperaturas, conforme mostrado na Figura 9. Na sequência, encontrou-se que a resistên-

cia de aderência potencial média foi 0,61 MPa.

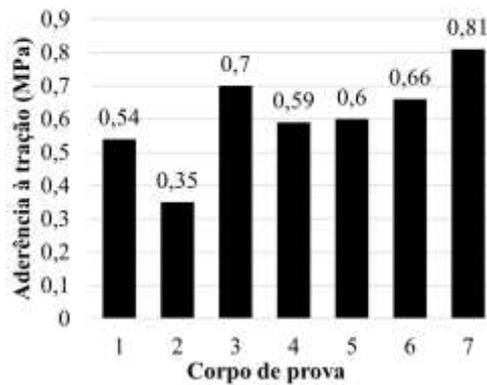


Figura 9: Tensão de ruptura de aderência antes da exposição da alvenaria as altas temperaturas.

O modo predominante de ruptura entre as amostras ensaiadas antes da exposição às altas temperaturas foi a falha na argamassa, com 52,9% do total, indicando uma predominância de ruptura coesiva, pois ocorreu no interior da argamassa do revestimento. Posteriormente, os tipos de ruptura foram na interface chapisco/argamassa (17,1%), chapisco (15,7%) e substrato/chapisco (14,3%), conforme representado na Figura 10. Os outros modos de ruptura previstos pela norma de ensaio não ocorreram nos ensaios, como é possível observar na Figura 11.

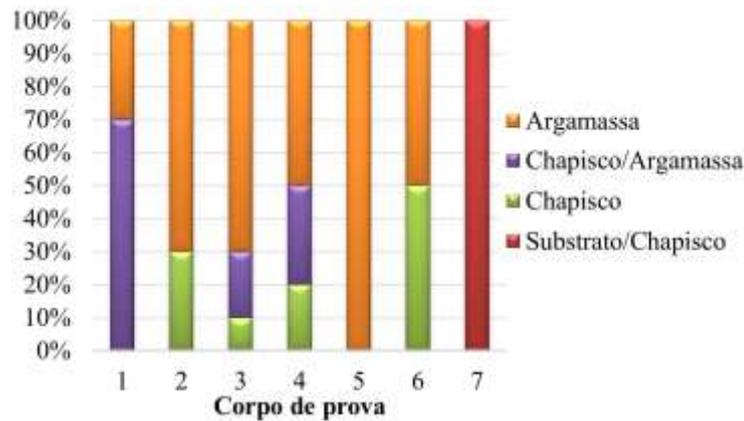


Figura 10: Forma de ruptura do ensaio de resistência de aderência à tração antes da exposição da alvenaria as altas temperaturas.

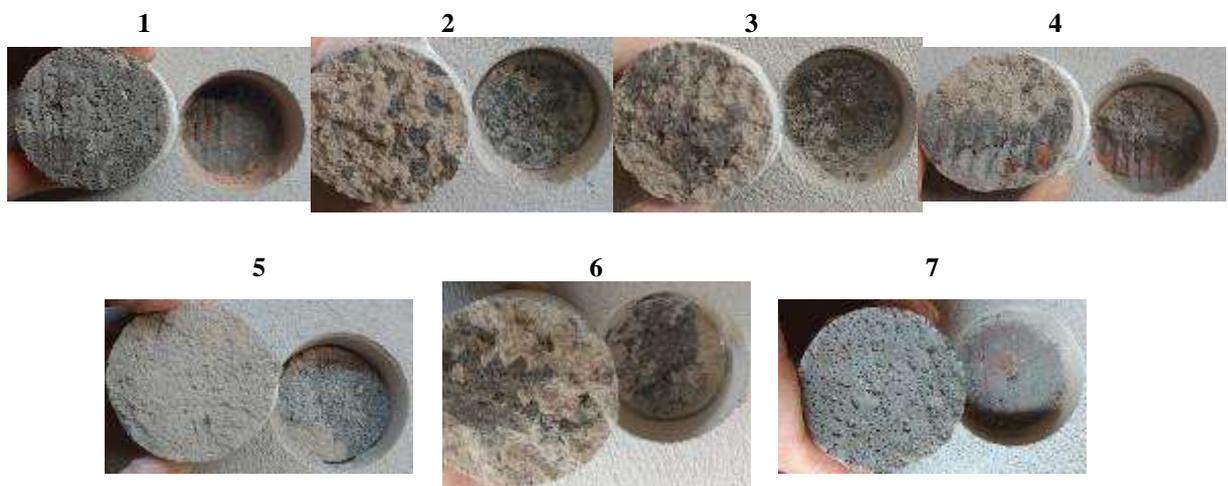


Figura 11: Amostras analisadas no ensaio resistência de aderência à tração antes da exposição da alvenaria as altas temperaturas.

É possível ver na Figura 12 a superfície não exposta da parede após o ensaio de resistência ao fogo. Também se observa os locais de ensaio para determinação da resistência de aderência à tração do revestimento de argamassa.



Figura 12: Parede após o ensaio de resistência ao fogo: superfície não exposta depois do ensaio de resistência de aderência a tração.

Após a exposição às altas temperaturas, a resistência de aderência à tração do revestimento de argamassa média foi de 0,17 MPa, ou seja, apenas 28,6% da resistência encontrada antes da exposição térmica. Assim, de acordo com a NBR 13749:2013 [38], que estabelece uma tensão de aderência mínima de 0,20 MPa, o revestimento de argamassa na superfície não exposta da parede está comprometido quanto à aderência com substrato, apesar da parede ter mantido a estanqueidade às chamas e gases durante os 240 minutos de ensaio. Os resultados de cada ensaio podem ser observados na Figura 13. Como durante a realização do ensaio de aderência, ao acoplar o dinamômetro de tração nas amostras 9 e 12, ocorreu o descolamento da pastilha circular na qual as amostras estavam coladas, os resultados dessas amostras foram desconsiderados na análise. Conforme já exposto na análise da resistência ao fogo, a exposição às altas temperaturas gerou tensões na alvenaria devido aos diferentes coeficientes de dilatação térmica, provocando alterações físicas, mecânicas e químicas nos materiais componentes da alvenaria, afetando negativamente a resistência de aderência à tração do revestimento e refletindo na redução drástica desta propriedade.

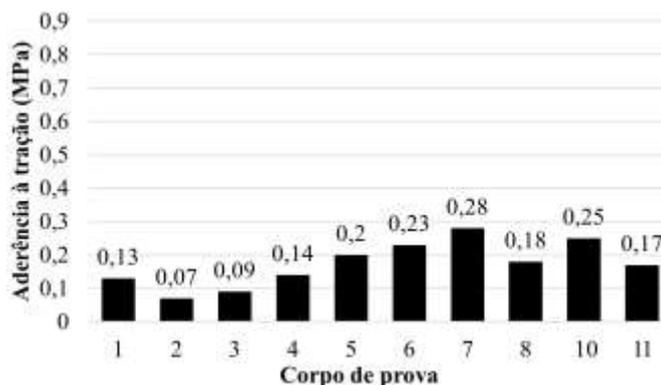


Figura 13: Tensão de ruptura de aderência depois da exposição da alvenaria as altas temperaturas.

Com relação ao modo de ruptura, observou-se que houve uma predominância na interface chapisco/argamassa (46%). Também notou-se uma porcentagem relativamente alta das rupturas ocorreu na interface substrato/chapisco (30%) e na argamassa (21%), enquanto em 3% dos casos a ruptura se deu na cola. Esses resultados indicam que após o ensaio a região mais fraca do revestimento é na interface entre materiais

diferentes. A Figura 14 ilustra os tipos de ruptura obtidos nos ensaios. A ruptura de cada amostra ensaiada é mostrada na Figura 15.

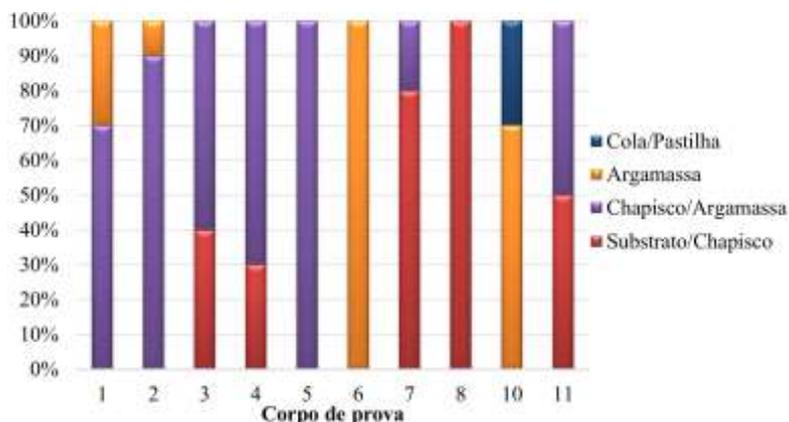


Figura 14: Forma de ruptura do ensaio de resistência de aderência à tração depois da exposição da alvenaria as altas temperaturas.

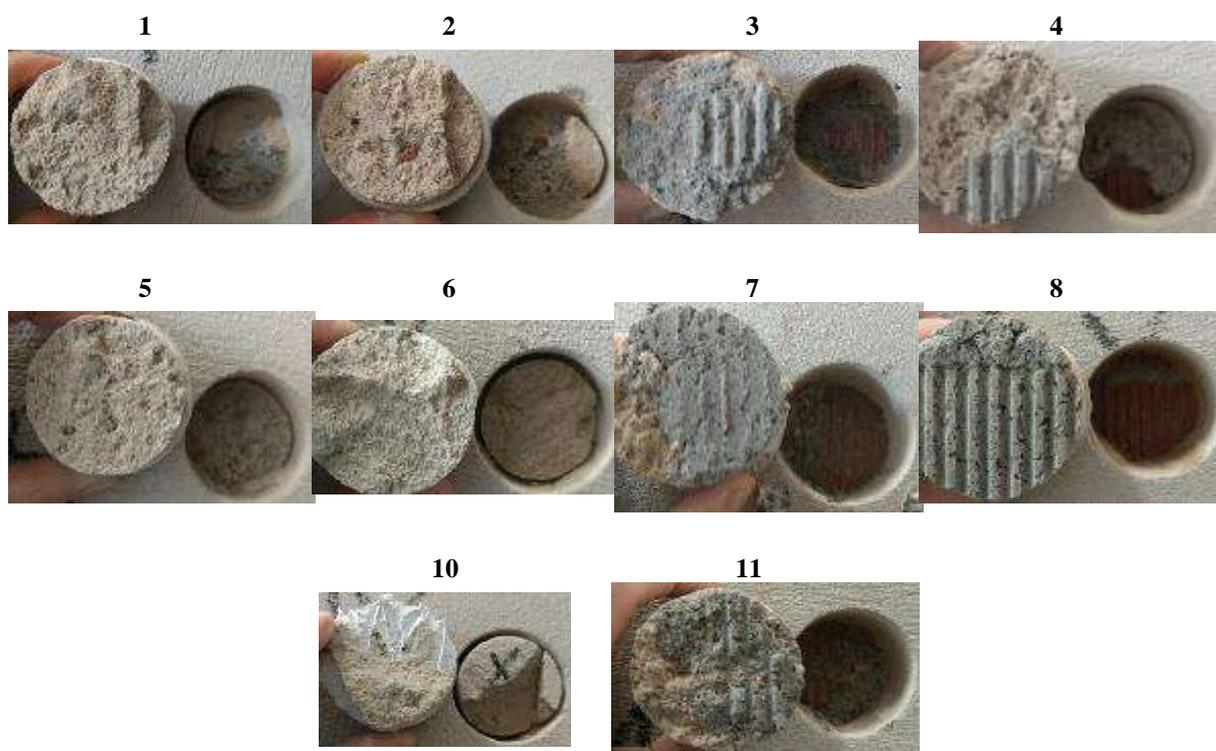


Figura 15: Amostras analisadas no ensaio resistência de aderência à tração depois da exposição da alvenaria as altas temperaturas.

Fazendo uma associação da deformação e temperatura que a parede alcançou ao final do ensaio (240 minutos de exposição) com a resistência de aderência à tração do revestimento, ao observar as Figuras 3 e 7, percebe-se que na região central da parede, onde ocorreu a maior curvatura, a temperatura era menor em relação aos terços laterais. Nesta região, as amostras com numeração 5 a 10 foram extraídas para avaliar a resistência de aderência à tração e constatou-se que a maioria dos exemplares perdeu a aderência na interface chapisco/argamassa (34%), seguido pela ruptura no substrato/chapisco (12%) e argamassa (4%). Por outro lado, os terços laterais tiveram um resultado inverso ao da região central, apresentando menor curvatura e maiores temperaturas. A forma de ruptura predominante ocorreu na interface substrato/chapisco (18%), seguido pela ruptura na argamassa (17%), interface chapisco/argamassa (12%) e cola/pastilha (3%).

Com base nos resultados apresentados, foi realizada a análise estatística para verificar se houve diferença significativa na tensão de aderência antes e depois da exposição térmica. Os resultados desta análise são mostrados na Figura 16. O teste indicou que a tensão de aderência média era maior antes do ensaio de exposição às altas temperaturas. Ao analisar o resultado do p-valor que foi menor que 0,05, constatou-se que há diferença significativa na tensão de aderência antes e depois da exposição da parede à curva ISO 834:1999 [36], evidenciando que diante da exposição às altas temperaturas, a aderência do revestimento fica insuficiente ao mínimo estabelecido na NBR 13749:2013 [38], o que pode comprometer ainda mais a segurança caso o revestimento se desprenda da parede.

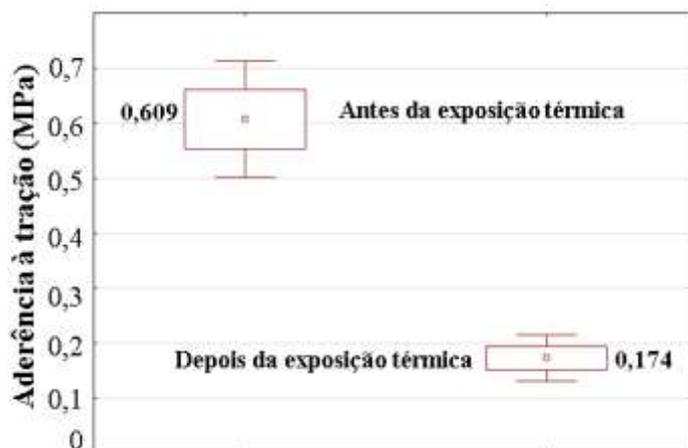


Figura 16: Teste t: resistência de aderências antes e depois da exposição às altas temperaturas.

4. CONCLUSÕES

Neste trabalho foi feita a análise experimental de uma parede de alvenaria construída em escala real com blocos cerâmicos e revestimento de argamassa e submetida à curva padrão ISO 834:1999 [36] por 240 minutos para investigar a aderência do revestimento de argamassa antes e depois da exposição térmica. A parede manteve suas características de estabilidade e estanqueidade durante os 240 min de ensaio, contudo, a capacidade de isolamento térmico falhou aos 193 minutos do ensaio, classificando a amostra como EI-180, em conformidade com a EN 13501-2:2016 [53].

Observou-se uma redução de 71,4% na resistência de aderência do revestimento de argamassa após a exposição da alvenaria às altas temperaturas. Concluiu-se que a resistência residual após a exposição térmica é estatisticamente significativa e não atende o mínimo estabelecido na NBR 13749:2013 [38], demonstrando que o revestimento de argamassa pode se deslocar da parede e prejudicar ainda mais a segurança durante um sinistro. Quanto à forma de ruptura predominante, esta se deu na argamassa em 52,9% dos casos antes de expor a amostra às altas temperaturas, e em 46% dos casos na interface chapisco/argamassa após a exposição térmica. Tais resultados demonstram que em temperatura ambiente as rupturas que se manifestam com maior frequência são do tipo coesivas, no interior do material constituinte do revestimento, enquanto após a exposição térmica a falha mais recorrente é do tipo adesiva, na interface entre dois materiais. Ao fazer uma correlação entre a deformação lateral e temperatura ao término do ensaio de resistência ao fogo com a resistência de aderência a tração do revestimento, conclui-se que em locais com maior curvatura e menor temperatura, o modo predominante de ruptura é na interface chapisco/argamassa, enquanto em locais com maior temperatura e menor curvatura o modo de falha predominante é na interface substrato/chapisco.

Por fim, buscou-se com esta pesquisa contribuir para um melhor entendimento do comportamento aderente do revestimento de argamassa de uma parede de alvenaria com blocos cerâmicos com função de compartimentação, diante da exposição à altas temperaturas e auxiliar no diagnóstico de eventuais sinistros que possam vir a acometer as edificações.

5. AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

Os autores também agradecem ao Instituto Tecnológico em Desempenho e Construção Civil (itt Per-

formance) pelo apoio com os equipamentos utilizados na realização dos ensaios desta investigação.

6. BIBLIOGRAFIA

- [1] EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. *EN 1015-12: Methods of test for mortar for masonry - part 12: determination of adhesive strength of hardened rendering and plastering mortars on substrates*. Brussels, 2016.
- [2] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS (ASTM). *ASTM D4541-17: Standard test method for pull-off strength of coatings using portable adhesion testers*, 2017.
- [3] 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*, v. 65, n. 374, p. 303-318, 2019.
- [4] ANTUNES, G.R., *Estudo de manifestações patológicas em revestimentos de fachada em Brasília - Sistematização da incidência de casos*, Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, Brasil, 2010.
- [5] STOLZ, A.M., MASUERO, A.B., PAGNUSSAT, D.T., *el tal.* “Influence of substrate texture on the tensile and shear bond strength of rendering mortars”, *Construction and Building Materials*, v. 128, n.15, p. 298-307, 2016.
- [6] BOTAS, S., VEIGA, R., VELOSA, A., “Bond strength in mortar/ceramic tile interface - testing procedure and adequacy evaluation”, *Materials and Structures*, 50:211, 2017.
- [7] ZANELATO, E.B., ALEXANDRE, J., AZEVEDO, A.R.G., *el tal.* “Evaluation of roughcast on the adhesion mechanisms of mortars on ceramic substrates”, *Materials and Structures*, 52:53, 2019.
- [8] AZEVEDO, A.R.G., FRANÇA, B.R., ALEXANDRE, J., *el tal.* “Influence of sintering temperature of a ceramic substrate in mortar adhesion for civil construction”, *Journal of Building Engineering*, v. 19, pp. 342-348, 2018.
- [9] PAGNUSSAT, D.T., *Efeito da temperatura de queima de blocos cerâmicos sobre a resistência de aderência à tração de revestimentos de argamassa*, Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil, 2013.
- [10] BAUER, E., *Revestimentos de argamassas: características e peculiaridades*, SINDUSCON-DF, Brasília, 58 p., 2005.
- [11] GONÇALVES, S.R.C., *Variabilidade e fatores de dispersão da resistência de aderência nos revestimentos em argamassa: estudo de caso*, Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade de Brasília, Brasília, DF, Brasil 2004.
- [12] HORGNIÉS, M., DARQUE-CERETTI, E., GUEIT, E., *el tal.* “Characterisation of the variations of tint and the adhesion of pigments onto the surface of mortar”, *Construction and Building Materials*, v. 94, pp. 380-386, 2015.
- [13] WINNEFELD, F., KAUFMANN, J., HACK, E., *el tal.* “Moisture induced length changes of tile adhesive mortars and their impact on adhesion strength”, *Construction and Building Materials*, v. 30, pp. 426- 438, 2012.
- [14] STOLZ, C.M., MASUERO, A.B., “Analysis of main parameters affecting substrate/mortar contact area through tridimensional laser scanner”, *Journal of Colloid and Interface Science*, v. 455, pp. 16-23, 2015.
- [15] ZANELATO, E.B., *Influência do chapisco na resistência de aderência à tração de revestimentos de argamassa em blocos cerâmicos*, Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, RJ, Brasil, 2015.
- [16] BARROS, M.M.B., TANIGUTI, E.K., RUIZ, L.B., *el tal.* “Tecnologia construtiva racionalizada para produção de revestimentos verticais”, Notas de aula: *patologias em revestimentos verticais*, São Paulo, 1997.
- [17] GONÇALVES, M.C., MARGARIDO, F. *Materials for Construction and Civil Engineering: Science, Processing, and Design*, Switzerland: Springer International Publishing, 1st ed., 902p., 2015.
- [18] HENNEMANN, G.G., GIL, A.M., BOLINA, F.L., *el tal.* “Avaliação teórico-experimental da influência da espessura de alvenaria na resistência ao fogo de sistemas verticais de vedação”, *Ambiente Construído*, v. 17(4), pp. 183-195, 2017.
- [19] SCHAFFER, M., *Análise da influência de elevadas temperaturas em revestimento de argamassa*, Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, RS, Brasil, 2015.
- [20] RIGÃO, A.O., *Comportamento de pequenas paredes de alvenaria estrutural frente a altas temperaturas*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, Brasil, 2012.

- [21a] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). *NBR 15270-1*: Componentes cerâmicos — Blocos e tijolos para alvenaria. Parte 1: Requisitos. Rio de Janeiro, 2017a.
- [21b] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). *NBR 15270-2*: Componentes cerâmicos — Blocos e tijolos para alvenaria. Parte 2: Métodos de ensaios. Rio de Janeiro, 2017.
- [22] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). *NBR 13276*: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro, 2016.
- [23] 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, 2005.
- [24] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). *NBR 16887*: Concreto - Determinação do teor de ar em concreto fresco - Método pressométrico. Rio de Janeiro, 2020.
- [25] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). *NBR 13279*: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão. Rio de Janeiro, 2005.
- [26] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). *NBR 13280*: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido. Rio de Janeiro, 2005.
- [27] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). *NBR 15259*: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da absorção de água por capilaridade e do coeficiente de capilaridade. Rio de Janeiro, 2005.
- [28] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). *NBR 9778*: Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro, 2009.
- [29] BOLINA, F.L., GIL, A.M., FERNANDES, B., *et al.* “Influence of design durability on concrete columns fire performance”, *Journal of Materials Research and Technology*, 2020.
- [30] MANICA, G.C., HENNEMANN, G.G., GIL, A.M., *et al.* “Avaliação experimental da influência da espessura do revestimento argamassado em paredes de alvenaria estrutural em situação de incêndio”, In: *X Congresso Brasileiro de Pontes e Estruturas (2018 XCBPE)*, Rio de Janeiro, 2018.
- [31] SOUZA, R.P., PACHECO, F., PRAGER, G.L., *et al.* “Verification of the Influence of Loading and Mortar Coating Thickness on Resistance to High Temperatures Due to Fire on Load-Bearing Masonries with Clay Tiles”, *Materials*, pp. 1-19, 2019.
- [32] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). *ASTM E 119*: Standard test methods for fire tests of building construction and materials. West Conshohocken, 2014.
- [33] AUSTRALIAN STANDARD. *AS 1530*: methods for fire tests on building materials, components and structures. Sydney, 2005.
- [34] BRITISH STANDARD. *BS 476-3*: fire tests on building materials and structures. Classification and method of test for external fire exposure to roofs. Londres, 2004.
- [35] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). *NBR 10636*: paredes divisórias sem função estrutural: determinação da resistência ao fogo: método de ensaio. Rio de Janeiro, 1989.
- [36] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). *ISO 834-1*: Fire resistance tests - Elements of building construction - Part 1: General requirements. Genebra, 1999.
- [37a] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). *NBR 13528-1*: Revestimento de paredes de argamassas inorgânicas - Determinação da resistência de aderência à tração. Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2019.
- [37b] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). *NBR 13528-2*: Revestimento de paredes de argamassas inorgânicas - Determinação da resistência de aderência à tração. Parte 2: Aderência ao substrato. Rio de Janeiro, 2019.
- [37c] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). *NBR 13528-3*: Revestimento de paredes de argamassas inorgânicas - Determinação da resistência de aderência à tração. Parte 3: Aderência superficial. Rio de Janeiro, 2019.
- [38] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). *NBR 13749*: Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas - Especificação. Rio de Janeiro, 2013.
- [39] NGUYEN, T.-D., MEFTAH, F., “Behavior of clay hollow-brick masonry walls during fire. Part 1: Experimental analysis”, *Fire Safety Journal*, v. 52, p. 55–64, 2012.
- [40] ANTUNES, E.G.P., Avaliação dos efeitos da expansão por umidade (EPU) das placas cerâmicas na durabilidade dos sistemas de revestimentos cerâmicos internos, Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, Brasil, 2019.
- [41] ESQUIVEL, J.F.T., *Avaliação da influência do choque térmico na aderência dos revestimentos de argamassa*, Tese (Doutorado em Engenharia Civil), Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, Brasil, 2009.

- [42] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). *NBR 16868-1: Alvenaria estrutural. Parte 1: Projeto*. Rio de Janeiro, 2020.
- [43] THOMAZ, E., *Trincas em Edifícios: causas, prevenções e recuperação*, 1949.
- [44] MEHTA, P.K., MONTEIRO, P.J.M., *Concreto: microestrutura, propriedades e materiais*, São Paulo: IBRACON, 2014.
- [45] KIRCHHOF, L.D., *Estudo teórico-experimental da influência do teor de umidade no fenômeno de spalling explosivo em concretos expostos a elevadas temperaturas*, Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil, 2010.
- [46] PAES, I.N.L., *Avaliação do transporte de água em revestimentos de argamassa nos momentos iniciais pós-aplicação*, Tese (Doutorado em Engenharia Civil e Ambiental), Universidade de Brasília, Brasília, DF, Brasil, 2004.
- [47] KIM, K.Y., YUN, T.S., PARK, K.P., “Evaluation of pore structures and cracking in cement paste exposed to elevated temperatures by X-ray computed tomography”, *Cement and Concrete Research*, v. 50, pp. 34–40, 2013.
- [48] COSTA, C.N., FIGUEIREDO, A.D., SILVA, V.P., “Aspectos tecnológicos dos materiais de concreto em altas temperaturas”, In: *Seminário Internacional Nutau 2002 – Sustentabilidade, Arquitetura e Desenho Urbano*, 15p., São Paulo, 2002.
- [49] CHEN, X.T., DAVY, C.A., SHAO, J.F., *et al.* “Experimental and micro-mechanical analysis of the mechanical and transport properties of mortar containing heat-induced micro-cracks”, *Cement and Concrete Research*, v. 32, pp. 678–685, 2010.
- [50] CÜLFİK, M.S., ÖZTURAN, T., “Effect of elevated temperatures on the residual mechanical properties of high-performance mortar”, *Cement and Concrete Research*, v. 32, pp.809–816, 2002.
- [51] YAZICI, S., SEZER, G.I., SENGUL, H., “The effect of high temperature on the compressive strength of mortars”, *Construction and Building Materials*, v. 35, pp. 97–100, 2012.
- [52] MANICA, G.C., BOLINA, F.L., TUTIKIAN, B.F., *et al.* “Influence of curing time on the fire performance of solid reinforced concrete plates”, *Journal of Materials Research and Technology*, v.9, n.2, pp.2506-2512, 2020.
- [53] EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. *EN 13501-2: Fire classification of construction products and building elements - Part2: Classification using data from fire resistance tests, excluding ventilation services*. Brussels, 2016.

ORCID

Guilherme Manfredini Bueno

<https://orcid.org/0000-0001-6590-4180>

Marco Aurélio Stumpf Gonzalez

<https://orcid.org/0000-0002-1975-0026>

Bernardo Fonseca Tutikian

<https://orcid.org/0000-0003-1319-0547>