

Avaliação experimental da influência da espessura do revestimento argamassado em paredes de alvenaria estrutural em situação de incêndio

Gustavo Carniel Manica¹, Guilherme Günther Hennemann², Augusto Masiero Gil³, Fabricio Longhi Bolina⁴, Bernardo Fonseca Tutikian⁵

¹Unisinos / itt Performance / Engenharia Civil / gustavomanica@edu.unisinos.br

²Unisinos / itt Performance / Engenharia Civil / guilhermeghennemann@gmail.com

³Unisinos / itt Performance / Engenharia Civil / augustomg@unisinos.br

⁴Unisinos / itt Performance / Engenharia Civil / fabriciolb@unisinos.br

⁵Unisinos / itt Performance / Engenharia Civil / bftutikian@unisinos.br

Resumo

A segurança contra incêndio é uma das exigências da norma de desempenho das edificações habitacionais NBR 15575: 2013. Esta norma evidencia a necessidade de verificar a resistência ao fogo de sistemas estruturais, tal como aqueles concebidos em alvenaria de blocos cerâmicos. Este trabalho buscou avaliar a influência da espessura do revestimento argamassado na resistência ao fogo destas soluções estruturais. Para tanto, foram produzidas, em escala real, duas paredes de dimensões 315x300 cm feitas com blocos cerâmicos de 14x19x29 cm. Em uma parede foi empregado 1,5 cm de revestimento em ambas as faces. Na outra, 3 cm, de revestimento em ambas as faces. Os ensaios foram realizados seguindo as prescrições da NBR 5628: 2001, sendo aplicado um carregamento de 9 tf/m, avaliando os itens de estabilidade estrutural, estanqueidade à gases quentes e fumaça e isolamento térmico. Foi constatado que a amostra com revestimento de 3 cm de espessura apresentou tempo de resistência ao fogo (TRF) de 240 minutos, enquanto o sistema com 1,5 cm de espessura, 120 minutos, evidenciando-nos a magnitude da influência do revestimento argamassado na resistência ao fogo de paredes de alvenaria.

Palavras-chave

Resistência ao fogo; alvenaria estrutural; revestimento de argamassa.

Introdução

A norma de desempenho das edificações habitacionais, NBR 15575 (ABNT, 2013), abrange requisitos que influenciam na segurança e bom funcionamento das edificações, como o de segurança contra incêndio. Esta área exige a determinação de componentes da edificação que apresentem características no desempenho frente ao fogo, tanto na sustentação estrutural, para evitar a perda de estabilidade, quanto na compartimentação, para evitar perda de estanqueidade e isolamento térmico. (ABNT NBR 14432, 2001)

Em virtude do risco propiciado ao usuário, a segurança contra incêndios das edificações visa limitar, a níveis aceitáveis, a probabilidade de morte, ferimento e perdas patrimoniais (BUCHANAN, 2002). A fim de promover segurança no escape dos usuários em caso de sinistro, deve-se respeitar os tempos requeridos de resistência ao fogo (TRRF) estipulados.

As compartimentações horizontais exercem influência para o retardo da propagação do fogo, principalmente quando estas são solicitadas por esforços de compressão, como

no caso daquelas com função estrutural. Neste sentido, a alvenaria estrutural com blocos cerâmicos se apresenta como alternativa, devido a sua característica corta-fogo, ou seja, apresenta estabilidade, isolamento térmico e estanqueidade, conseguindo desempenhar de forma satisfatória os requisitos para ser resistente ao fogo. (ONO, 2007)

Contudo, o tempo de resistência ao fogo pode variar dependendo das características físicas dos materiais, estruturais e construtivas das paredes, com destaque ao revestimento de argamassa e ao carregamento incidente na alvenaria, fatores determinantes no desempenho frente a altas temperaturas (SOUZA, 2017).

A argamassa de revestimento auxilia na resistência térmica do sistema, todavia, o tempo de resistência ao fogo pode variar dependendo da eficiência da aderência ao substrato, ou seja, pela eficiência da ancoragem na superfície da base através da penetração da pasta nos poros, reentrâncias e saliências seguidos do endurecimento gradativo da pasta (SANTOS, 2008). A espessura do revestimento de argamassa influencia na aderência deste ao substrato, visto que com o aumento da espessura, o sistema apresenta maior capacidade de absorção de calor. Do exposto, este trabalho visa avaliar a influência da espessura do revestimento de argamassa na alvenaria com função estrutural durante a ocorrência de incêndios.

Sistema de alvenaria estrutural frente ao fogo

A alvenaria estrutural apresenta blocos, em geral cerâmicos, com competência para suportar esforços de carregamento oriundos de pavimentos superiores e compartimentar horizontalmente a edificação durante situações de incêndio. A estabilidade estrutural da alvenaria é comprometida quando esta for submetida a elevadas temperaturas, visto que a mesma tende a sofrer uma curvatura em direção ao fogo (ONO, 2007). Este fenômeno é de difícil predição numérica, sendo conhecido como *thermal bowing*.

Os esforços incidentes na alvenaria e o referido encurvamento oferecem às diversas camadas que a compõem uma distribuição de temperaturas não uniforme, fazendo com que a inércia da seção sofra variações ao longo da sua exposição às chamas. Este fato, além de comprometer a função corta-fogo, haja visto a formação de fissuras, agride a estabilidade global do sistema estrutural (NGUYEN, 2009)

A distribuição de calor nestes elementos pode se dar pelos processos de condução, ou convecção (KREITH, 1977).

Dependendo das características e espessuras da argamassa de revestimento, a transferência de calor pode demandar mais tempo para ocorrer e conseqüentemente influenciar no tempo de resistência ao fogo (TRF) do sistema. O revestimento de argamassa, ao aumentar a espessura da parede, aumenta seu isolamento térmico, todavia fica limitado ao tempo em que o revestimento é capaz de se manter íntegro (OLIVEIRA, 1998). O revestimento de argamassa da face exposta ao fogo geralmente colapsa, devido ao aumento excessivo de sua temperatura em um curto tempo, restando apenas o revestimento da face não exposta ao fogo.

Para se manter íntegro, o revestimento de argamassa deve apresentar boa aderência ao substrato, o que está relacionado com a ancoragem mecânica da argamassa aos poros irregulares do substrato (CARASEK, 2001). A ancoragem mecânica relaciona-se com as características da argamassa e quantidade de poros na superfície do substrato. Portanto, é adequado o uso de chapisco com o objetivo de garantir melhor aderência da argamassa de revestimento ao substrato, principalmente em superfícies com capacidade

de sucção inadequadas e em revestimentos de alvenarias estruturais. (SCARTEZINI, 2002).

Todavia, com o aumento da espessura da argamassa de revestimento, sua aderência tende a apresentar deslocamento durante a exposição à altas temperaturas, sobretudo pelos esforços produzidos pela curvatura da parede (BELLO, 2017), que é proveniente da sua exposição às chamas.

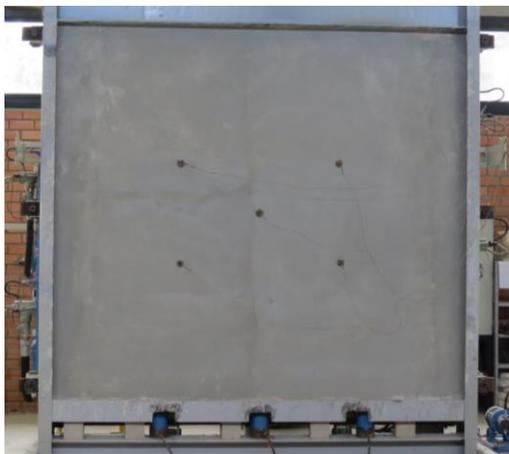
Contudo, o aumento da espessura da argamassa de revestimento causa um aumento no tempo de resistência ao fogo, devido ao isolamento térmico que é propiciado ao sistema (SOUZA, 2017). Deve-se propor métodos que incrementem a sua fixação à alvenaria, visando evitar este deslocamento.

Materiais e métodos

Foram confeccionadas duas amostras em um pórtico móvel, com dimensões de 3.150x3.000 mm, sendo a superfície exposta às chamas de 2.500x2.500 mm.

Os sistemas são compostos de blocos cerâmicos, com dimensões de 14x19x29 cm e resistência à compressão de 10 MPa. Os blocos foram assentados com argamassa industrializada. O revestimento de argamassa é composto por chapisco com traço 1:3, 0,5 cm de espessura, e reboco de camada única.

O revestimento de argamassa da amostra 1 tem espessura de 1,5 cm em ambas as faces. O revestimento da amostra 2 tem espessura de 3,0 cm, em ambas as faces. As duas amostras foram condicionadas durante um período de 28 dias e acopladas no forno vertical, como mostra a Figura 1. O detalhe do bloco estrutural empregado é mostrado na Figura 2.



Amostra 1



Amostra 2

Figura 1 – Amostras acopladas ao forno vertical



Figura 2 – Detalhe do bloco utilizado na construção das paredes

Equipamentos de ensaio

O ensaio de resistência ao fogo foi realizado em um forno vertical normatizado e devidamente calibrado seguindo os procedimentos de ensaio definidos pela NBR 5628 (ABNT, 2001), avaliando o isolamento térmico, a estanqueidade e a estabilidade estrutural do sistema, a fim de determinar seu TRF e sua limitação como sistema construtivo, conforme a NBR 14432 (ABNT, 2001).

O forno vertical tem capacidade térmica de 1.200 °C e é equipado com 4 queimadores, alimentados por GLP, programados para seguir a curva padrão ISO 834 (ISO, 2014). O forno é equipado com 10 termopares do tipo K, de diâmetro de 1,5 mm, dos quais os de 1 a 5 são acoplados no interior do forno e de 6 a 10 são acoplados na superfície externa da amostra, conforme apresentado na Figura 2.

Foi utilizada uma câmera termográfica para identificar fissuras e pontos mais aquecidos da amostra, uma trena a laser para verificar os deslocamentos horizontais no centro do sistema e uma unidade hidráulica, composta por três cilindros, para gerar esforços de compressão no sistema. Os cilindros aplicam forças que são distribuídas para o sistema por uma viga móvel acoplada na base do pórtico metálico.

Procedimento de ensaio

Antes do início do ensaio, a unidade hidráulica foi programada para aplicar uma carga constante e uniformemente distribuída de 9 tf/m sob a amostra durante todo o ensaio. Foram analisadas 3 características na amostra: o isolamento térmico, a estanqueidade e a estabilidade estrutural.

A análise do isolamento térmico se caracteriza pela verificação, por 5 termopares, do aumento da temperatura da face não exposta ao fogo. A localização dos termopares na amostra está mostrada na Figura 3. Segundo a NBR 5628 (ABNT, 2001), a média aritmética das temperaturas de cada um dos termopares não pode ser superior a 140 °C, sendo que nenhum termopar pode ultrapassar 180 °C. Caso a temperatura supere esses limites, considera-se que a amostra perdeu isolamento térmico e, portanto, não exerce mais a sua função de compartimentação.

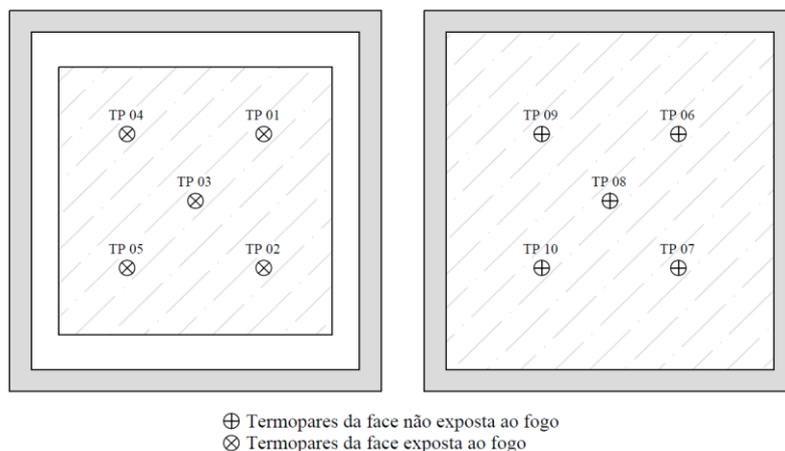


Figura 3 – Disposição dos termopares em ambas as faces da amostra

A análise da estanqueidade se caracteriza pela verificação, por meio de chumaço de algodão que é aplicado sobre as fissuras desenvolvidas na parede, da passagem de gases quentes por fissuras na amostra. O chumaço de algodão deve ser exposto durante 10 s à fissura, respeitando a distância de 1 a 3 cm. Caso o algodão apresente ignição de chama, o ensaio é encerrado e o sistema é caracterizado como não estanque.

A análise da estabilidade estrutural se caracteriza pela verificação visual da amostra durante a aplicação de uma carga constante no sistema. Fissuras, trincas ou possíveis colapsos são analisados, além das deformações horizontais. Caso ocorra o colapso da estrutura, o ensaio é encerrado, admitindo que o sistema perdeu estabilidade estrutural.

Resultados e Conclusões

As duas amostras foram ensaiadas em datas diferentes. A amostra 1, com revestimento de argamassa de espessura de 1,5 cm em ambas as faces, teve temperatura inicial de ensaio (T_0) de 22,6 °C, e a amostra 2, com revestimento de argamassa de espessura de 3,0 cm em ambas as faces, teve temperatura inicial de ensaio (T_0) de 19,5 °C. A duração de cada ensaio foi de 240 minutos.

Estabilidade estrutural

A Figura 4 apresenta a variação do deslocamento dos sistemas em função do tempo durante o ensaio de resistência ao fogo. Deslocamentos positivos ocorrem em direção ao forno vertical, ou seja, no sentido da fonte de calor.

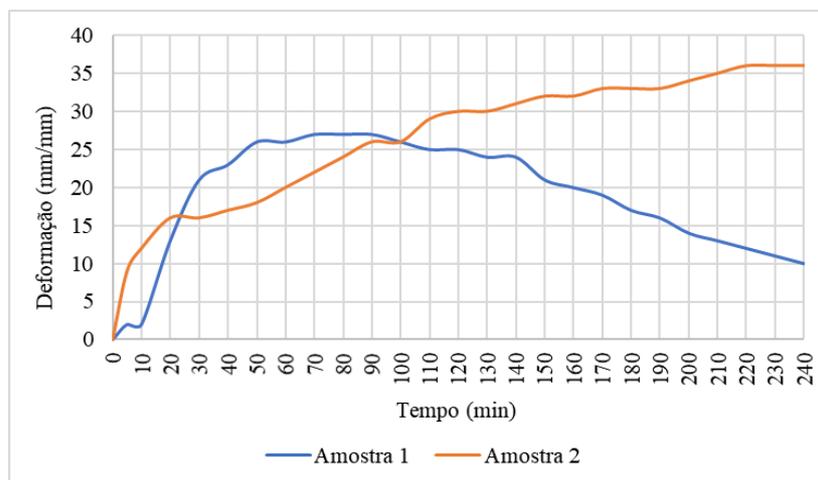


Figura 4 - Variação da deformação das amostras durante o ensaio

A amostra 1 apresentou um maior deslocamento nos primeiros 50 min em relação a amostra 2, o que pôde levar a um deslocamento do revestimento induzido por forças das deformações diferenciais dos materiais. Nos 100 min as duas amostras apresentaram deformações semelhantes. A partir dos 100 min, os sistemas apresentaram divergências no comportamento. A amostra 2 continuou apresentando um aumento do deslocamento, mesmo com a ocorrência de um deslocamento parcial do revestimento exposto ao fogo

nos 20 minutos finais do ensaio. A amostra 1 apresentou regressão no deslocamento até o final do ensaio, devido ao deslocamento total do revestimento interno do sistema, que veio a expor os blocos diretamente à ação do calor, fazendo com que fissuras ocorressem, criando pontos de alívio no sistema.

O deslocamento do revestimento pode ser explicado pelo fenômeno *thermal bowing*, propiciado pela diferença de temperatura entre as duas superfícies da alvenaria, visto que as superfícies internas se expandam muito mais do que as superfícies externas, consequentemente ocorre flexão na amostra (USMANI, 2001). Devido aos demasiados esforços de flexão, a aderência do revestimento é comprometida e ocorre o deslocamento do revestimento de argamassa.

A estabilidade estrutural, em ambas as amostras, não foi comprometida durante os 240 minutos de exposição, garantindo segurança estrutural do sistema. Pode-se concluir que amostra 2, mesmo com revestimento mais espesso, apresentou maior deslocamento, provavelmente por seu revestimento interno não apresentar deslocamento efetivo nos 240 min, o que auxilia na absorção de calor da amostra e, consequentemente, apresenta mais tensões que propiciaram o desvio de curvatura da amostra. A amostra 1 apresentou uma regressão na deformação a partir do momento que ocorreu o deslocamento total do revestimento exposto à altas temperaturas, fenômeno chamado de *spalling*, devido ao alívio das tensões exercidas no sistema com o deslocamento.

Estanqueidade

Verificou-se que, em ambas as amostras, houve abertura de fissura nos instantes iniciais do ensaio, evidenciadas aos 15 min, sem comprometer a estanqueidade dos sistemas, visto que não foi observado a inflamação do chumaço de algodão. O ensaio de estanqueidade sendo realizado está mostrado na Figura 5.

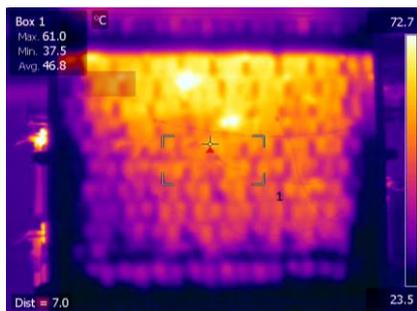


Figura 5 – Verificação da estanqueidade durante o ensaio

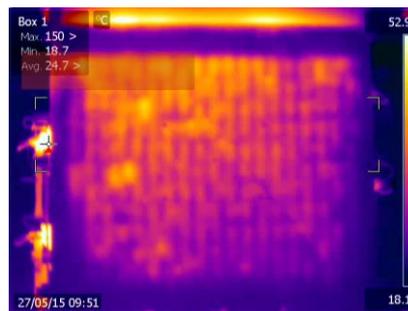
Os dois sistemas não apresentaram aberturas capazes de propagar gases quentes e fumaça. Pode-se concluir que mesmo com o deslocamento do revestimento interno, os dois sistemas ensaiados se mantiveram estanques durante todo o ensaio.

Isolamento térmico

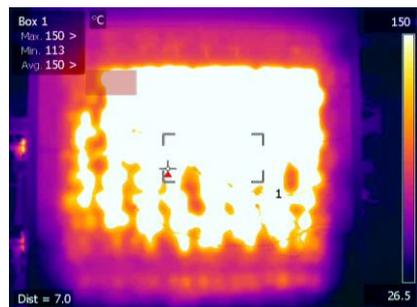
A média dos 5 termopares posicionados na face não exposta ao fogo, em ambas as amostras, foi usada para analisar os sistemas, visto que o crescimento foi semelhante para todos os termopares durante o ensaio. A Figura 6 apresenta as imagens da câmera termográfica tiradas durante o ensaio. Estas imagens auxiliam na visualização dos pontos com o maior acréscimo de temperatura, que podem refletir no deslocamento do revestimento de argamassa.



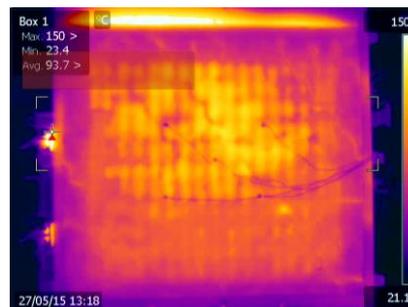
Acréscimo após 30 min de ensaio
Amostra 1



Acréscimo após 30 min de ensaio
Amostra 2



Acréscimo após 160 min de ensaio
Amostra 1



Acréscimo após 240 min de ensaio
Amostra 2

Figura 6 – Imagens da câmera termográfica durante os ensaios

As Figuras 7 e 8 apresentam a variação da temperatura dos termopares externos dos sistemas durante o ensaio. Observa-se estabilização da temperatura até 100°C e, após, há uma elevação acentuada da temperatura, que podem ser explicadas pela evaporação da água presente no revestimento de argamassa.

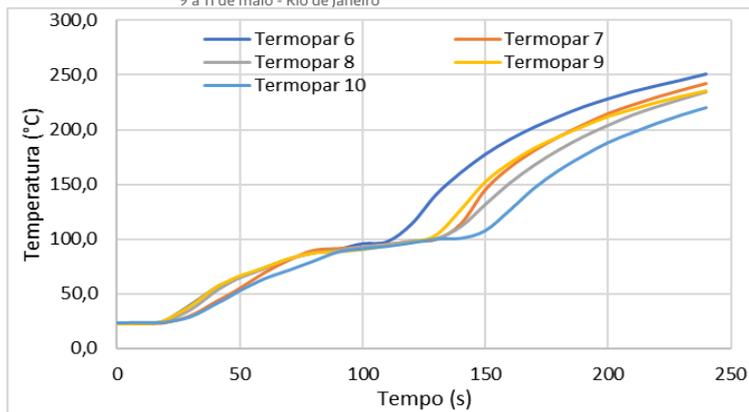


Figura 7 – Variação da temperatura dos termopares externos ao fogo da amostra 1

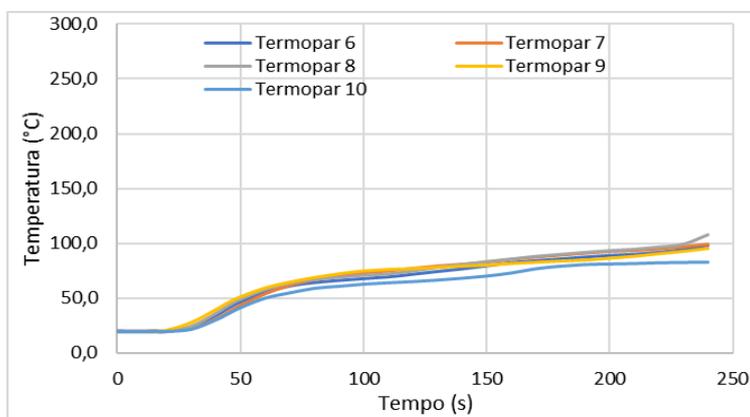


Figura 8 – Variação da temperatura dos termopares externos ao fogo da amostra 2

A amostra 1 apresentou crescimento superior da temperatura em função do tempo se comparado com a amostra 2, sendo que aos 130 min a diferença de temperatura entre os sistemas foi de 21,9 °C, evidenciando a contribuição do aumento na espessura do revestimento para a resistência térmica do sistema. A partir dos 135 min o aumento da temperatura na amostra 1 se tornou mais acentuado, provavelmente em virtude do deslocamento do revestimento exposto ao fogo, evidenciado pelo forte gradiente térmico na região central da amostra 1, enquanto que a amostra 2 apresentou aumento praticamente constante até o término do ensaio.

Observa-se, na amostra 1, que a máxima temperatura média foi de 165,6°C, sendo ultrapassada aos 160 minutos de ensaio, enquanto que a temperatura máxima pontual foi de 202,8°C, ultrapassada pelo termopar 6 aos 170 minutos. Logo, a amostra perdeu seu isolamento térmico aos 160 minutos. Na amostra 2, a temperatura média de 159,5°C não foi ultrapassada, assim como a temperatura máxima pontual de 199,5°C.

Portanto, percebe-se que o deslocamento do revestimento pode exercer influência no aumento da temperatura na face não exposta ao fogo, visto que ele retarda a passagem de calor pelo sistema, comprometendo o desempenho deste. De forma similar, percebe-se que a espessura do revestimento demonstra exercer influência na velocidade com a qual as temperaturas na face não exposta se elevam.

- Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 5628: Componentes construtivos estruturais - Determinação da resistência ao fogo. Rio de Janeiro: ABNT, 2001.
- Bello, A. C. D. Estudo comparativo de resistência de aderência à tração de revestimentos de argamassa aplicados manualmente e com projeção mecânica contínua, 2017.
- BUCHANAN, A. H. Structural design for fire safety. Canterbury: John Wiley & Sons, 421 p, 2002.
- CARASEK, H.; CASCUDO, O. & SCARTEZINI, L. M. Importância dos materiais na aderência dos revestimentos de argamassas. In: IV Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas. Brasília, 2001.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 834-8: fire resistance tests: elements of building construction: part 8: specific requirements for non-loadbearing vertical separating elements. Switzerland, 2014.
- KREITH, F. & BOHN, M. S. Princípios da Transferência de Calor, Editora Edgard Blücher, São Paulo p.4, 1977.
- NETO, M. A. L. Condições de Segurança Contra Incêndio. Ministério da Saúde – ANVISA. Brasília, 1995.
- NGUYEN, Thê-Duong et al. The behaviour of masonry walls subjected to fire: Modelling and parametrical studies in the case of hollow burnt-clay bricks. Fire safety journal, v. 44, n. 4, p. 629-641, 2009.
- OLIVEIRA, L. A. P. de. Estimativa da resistência ao fogo de paredes de alvenaria pelo critério de isolamento térmico. Boletim Técnico da Faculdade de Tecnologia de São Paulo, n° 05, dezembro 1998. 10 p. Disponível em: < <http://bt.fatecsp.br/>>. Acesso em: 14 fevereiro 2018.
- ONO, R. Parâmetros para garantia da qualidade do projeto de segurança contra incêndio em edifícios altos. Ambiente Construído. Porto Alegre, v. 7, n. 1, p. 97-113, 2007.
- ROSEMANN, F. Resistência ao Fogo de Paredes de Alvenaria Estrutural de Blocos Cerâmicos pelo Critério de Isolamento Térmico. Tese de Mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2011.
- SANTOS, H. B. Dos. Ensaio de aderência das argamassas de revestimento, 1–50, 2008.
- SCARTEZINI, L. M. B.; JUCA, T. R.; TEIXEIRA, F.; ANTONELLI, G.; CASCUDO, O. & CARASEK, H. Influência do preparo da base na aderência e na permeabilidade à água dos revestimentos de argamassa. Revista Ambiente Construído, 2:85-92, 2002.
- SOUZA, R. P. Avaliação da influência da espessura do revestimento argamassado e do carregamento no comportamento da alvenaria frente a altas temperaturas, 137, 2017.
- USMANI, A. S., ROTTER, J. M., LAMONT, S., SANAD, A. M., & GILLIE, M. Fundamental principles of structural behaviour under thermal effects, 36, 721–744, 2001.