

## **Estruturas de alvenaria em situação de incêndio: avaliação experimental em escala real da influência da geometria dos blocos cerâmicos no desempenho estrutural às altas temperaturas**

**Gabriel Bottin<sup>1</sup>, Gustavo Prager<sup>2</sup>, Augusto M. Gil<sup>3</sup>, Bernardo F. Tutikian<sup>4</sup>,  
Fabrício Longhi Bolina<sup>5</sup>**

<sup>1</sup>Unisinos / Itt Performance / gbottin@unisinos.br

<sup>2</sup>Unisinos / Itt Performance / gprager@unisinos.br

<sup>3</sup>Unisinos / Itt Performance / augustomg@unisinos.br

<sup>4</sup>Unisinos / Itt Performance / bftutikian@unisinos.br

<sup>5</sup>Unisinos / Itt Performance / fabriciolb@unisinos.br

### **Resumo**

Com a ascensão da Norma Brasileira de Desempenho das Edificações Habitacionais, a NBR 15575 (ABNT, 2013), as principais segmentações da construção civil buscam certificar e melhorar os sistemas construtivos para ter sua empregabilidade no mercado. Entre estes estão os blocos cerâmicos de sistemas estruturais de vedação vertical. Dada a variabilidade da matéria-prima desses blocos, seu comportamento em uma situação de incêndio é de difícil predição, sendo necessário avalia-los experimentalmente, haja visto a inexistência de uma norma regulamentadora brasileira para este tipo de projeto. Este estudo tem o objetivo de avaliar a resistência ao fogo de três paredes em escala real, de dimensões 3,15x3,00m e com espessura de 14cm, tomando como variável a disposição dos alvéolos nos blocos. Foram controlados os critérios de estabilidade, estanqueidade e isolamento térmico durante 240 minutos. Os sistemas foram avaliados pela NBR 5628 (ABNT, 2001) com aplicação de carga na ordem de 9 tf/m. Como resultados, notou-se o incremento do tempo de resistência ao fogo das paredes conforme o aumento do índice de alvéolos dos blocos.

### **Palavras-chave**

Alvenaria Estrutural; Desempenho; Segurança Contra Incêndio.

### **Introdução**

A partir da crescente evolução do mercado da construção civil, e queda da mão-de-obra verifica-se uma busca acentuada por sistemas construtivos que tenham simplificações nas técnicas de execução e obtenção de materiais ofertados no mercado (ACCETTI, 1998). Atualmente diversos países possuem normas de desempenho que dão requisitos mínimos necessários para habitações residenciais. No Brasil, com a ascensão da NBR 15575 (ABNT, 2013) e com histórico de tragédias, a segurança contra incêndio vem sendo monitorada mais fortemente pelas legislações estaduais e por instruções técnicas do corpo de bombeiros.

Esta referida norma para habitações tem como um dos requisitos a resistência ao fogo que exercem a função de compartimentação de ambientes. Na década da ocorrência de incêndio nos edifícios Joelma e Andraus, que tiveram consequências majoradas devido a problemas de compartimentação, (ONO, 2007), já se tinha a noção de que a função da compartimentação e da sua necessidade nas construções.

Rigão (2012) e Souza (2017), evidenciam a falta de normativa no Brasil, sobre projeto de alvenaria com blocos cerâmicos expostos ao fogo, justamente pela variabilidade dos materiais que podem ser combinados, inclusive seus constituintes químicos e métodos de fabricação divergentes de região para região (ZSEMBERY, 2013). Uma das poucas regulamentações nacionais que englobam este tipo de assunto é a IT 08 (2011), que para alvenaria estrutural remete ao Eurocode 6 (CEN, 2005).

Para resolver esse déficit de norma, ensaios laboratoriais devem ser realizados para que sejam reconhecidas as falhas desse sistema construtivo. Esses ensaios demonstram que o isolamento térmico, na maioria dos casos, deixa de ser cumprido, sendo o requisito que define o desempenho da alvenaria, explicados pela transferência de calor que ocorre ao longo da espessura da amostra (NGUYEN E MEFTAH, 2012). De maneira que em um sistema de alvenaria estrutural composto por blocos cerâmicos e argamassa tem a sua condutibilidade térmica determinante pela densidade da alvenaria, sendo que quanto maior for a densidade, maior a condutividade térmica do sistema (NGUYEN, 2009).

Sendo assim, para suprir a demanda do sistema normativo brasileiro, esse trabalho tem por objetivo analisar três paredes de dimensão reais de 315x280 cm, expostas a curva padrão de incêndio da ISO 834-1 (ISO, 1999). Todas as amostras foram compostas com a mesma dimensão de bloco e espessura de argamassa de assentamento e revestimento, variando apenas a disposição dos alvéolos a fim de verificar sua influência no tempo de resistência ao fogo dos sistemas de alvenaria estrutural. A carga foi mantida constante durante toda a duração do ensaio, em ambos os casos.

### Alvenaria Estrutural em Situação de Incêndio

Na aplicação da curva teórica de incêndio (Equação 1, sendo “T” temperatura média de exposição, em °C; e “t” é o tempo em min), a parede de compartimentação é submetida a um gradiente térmico entre a face exposta e a não exposta às chamas (Figura 1a). Na face não exposta, a temperatura alcançada varia de acordo com a resistência térmica da alvenaria, definida em função da forma de transferência de calor. Segundo Rosemann (2011), os blocos cerâmicos geralmente possuem vazios que influenciam na forma de transferência de calor entre faces. Nas paredes maciças dos blocos o calor é transferido por condução, enquanto que nos vazios a transferência ocorre por radiação, conforme ilustrado na Figura 1b (AL-HADHRAMI; AHMAD, 2009).

$$T = 345 \log_{10}(8t + 1) + 20 \quad (1)$$

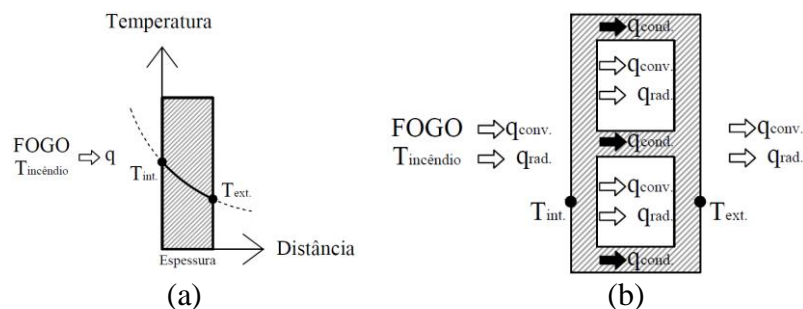


Figura 1 - (a) Gradiente de temperatura em uma parede submetida a aquecimento em uma face; e (b) transferência de calor em um bloco – Adaptado de Rosemann (2011)

Rigão (2012) cita que a condutividade térmica do sistema depende da densidade dos materiais constituintes, onde os blocos com menor índice de vazios apresentam valores mais elevados de condutividade, de modo que a transferência de calor por radiação é menor (ROSEMANN, 2011).

Os blocos cerâmicos desempenham um eficiente comportamento em altas temperaturas, por seu baixo valor de condutividade térmica, de cerca de 0,25 W/mK. Devido a esse desempenho, as alvenarias de blocos cerâmicos mantêm sua resistência mecânica em temperaturas de até 1.000°C, devido aos blocos serem expostos a condições semelhantes na sua produção (LAWRENCE; GNANAKRISHNAN, 1987<sup>1</sup> *apud* AYALA, 2010).

Verifica-se que a alvenaria tende a deformar no sentido da face exposta ao fogo, porém, com o decorrer do tempo, recupera sua rigidez e reduz seu módulo de Young, fazendo com que os deslocamentos ocorridos alterem o sentido (NGUYEN et al., 2009). Esse comportamento é descrito por Rigão (2012) como o arqueamento da alvenaria (*thermal bowing effect*) e justificado pelo coeficiente de expansão térmica, vinculação, gradiente térmico, altura e espessura da parede analisada.

O fenômeno do deslocamento (*spalling*) é citado por Nguyen e Meftah (2012). Esse ocorre quando o sistema está em condições de baixa permeabilidade e umidade interna, que ao ser exposta a taxa de aquecimento alta, criam pressões de vapores de água no interior destas que, caso não dissipadas, levam ao deslocamento da amostra, podendo afetar na resistência mecânica do sistema e no isolamento térmico do mesmo.

Os ensaios e as análises do sistema foram realizados com um forno vertical normatizado no Laboratório de Segurança Contra Incêndio do Instituto Tecnológico em Desempenho e Construção Civil (itt Performance), da Universidade do Vale do Rio dos Sinos (Unisinos), em São Leopoldo/RS, seguindo os pretextos estabelecidos pela NBR 5628 (ABNT, 2001). Ao longo do ensaio foram verificados os requisitos de estanqueidade, isolamento térmico e resistência mecânica.

### **Programa experimental**

Os blocos cerâmicos utilizados na confecção das amostras chamadas como C1, C2 e C3 estão dispostos na Figura 2. Os blocos possuem dimensões de 14x19x29cm. Os blocos foram assentados com os furos na vertical e, para assentamento destes, foi utilizada argamassa industrializada de granulometria média com 1 cm de espessura, na vertical e horizontal. Para o revestimento foi aplicado chapisco em ambos os lados da parede (traço 1:3, misturado convencionalmente em betoneira de eixo horizontal, com 0,5 cm de espessura) e reboco de argamassa industrializada de 1,5 cm de espessura em ambas as faces.

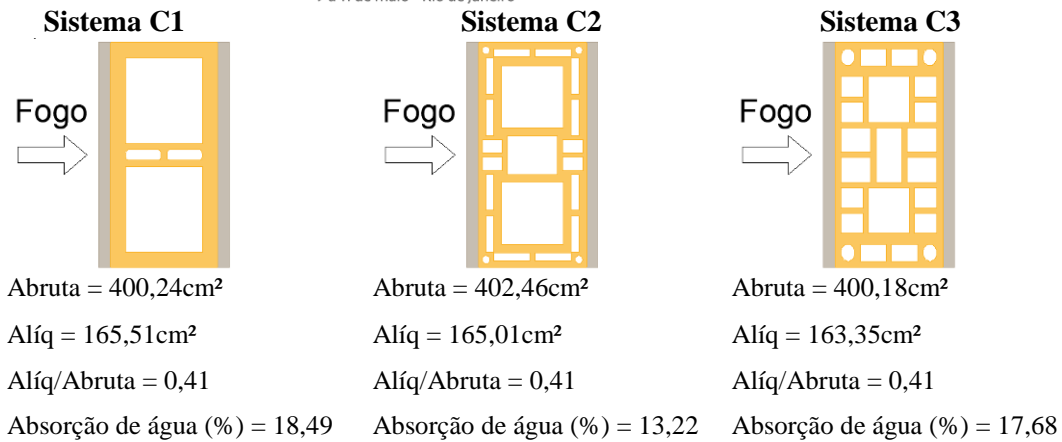


Figura 2 – Características dimensionais e física dos blocos empregados no estudo

As amostras foram confeccionadas em um pórtico móvel com as dimensões de 315x300 cm com 15 fiadas de blocos dispostos verticalmente, sendo a superfície de 250x250 cm exposta às chamas com a disposição dos blocos sendo apresentada na Figura 3.

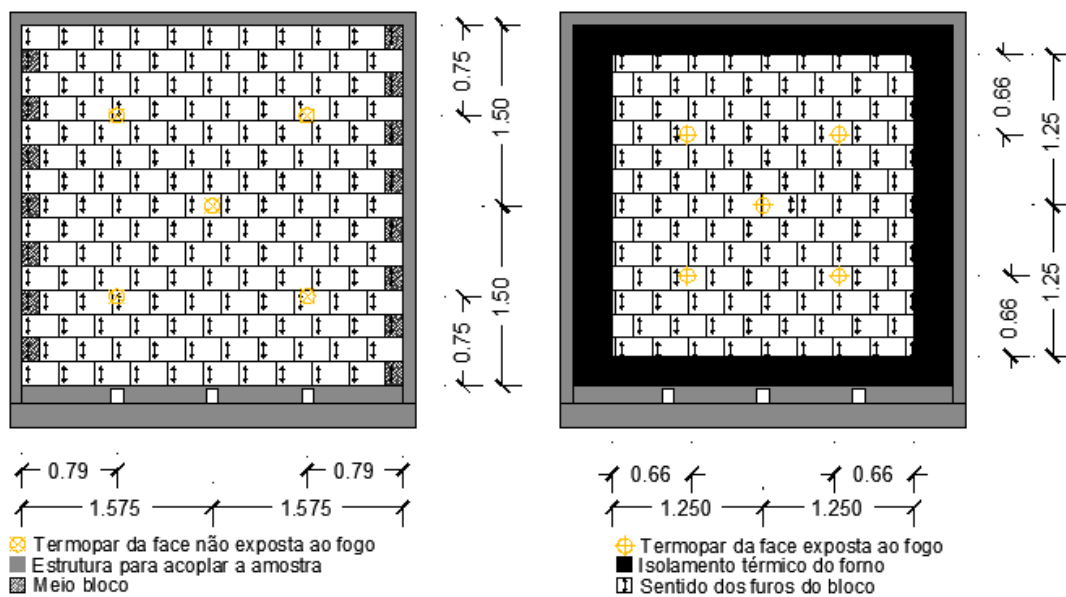


Figura 3 – Composição e amostragem utilizadas no ensaio de resistência ao fogo

A figura 4 demonstra as amostras acopladas no forno para determinação do seu tempo de resistência ao fogo (TRF) e da sua limitação como sistema construtivo, conforme a NBR 14432 (ABNT, 2001).

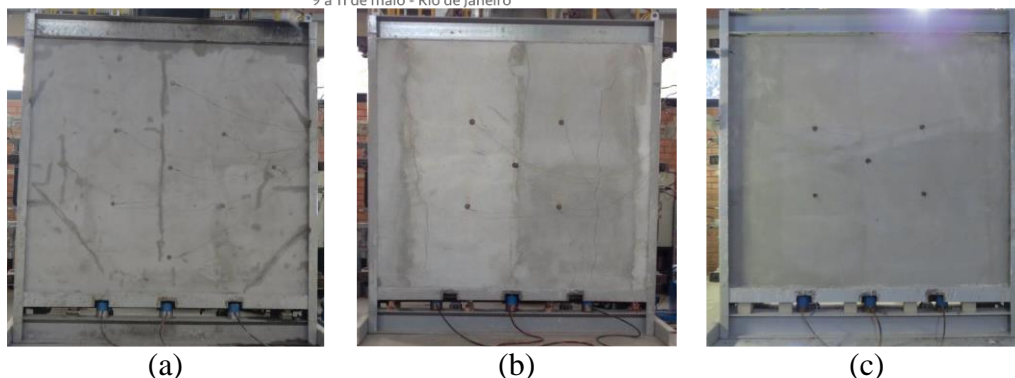


Figura 4 – Amostras acopladas no forno vertical: (a) Sistema C1, (b) Sistema C2 e (c) Sistema C3

### Equipamentos

Os ensaios ocorreram no forno vertical com capacidade térmica de 1.200°C, equipado com 4 queimadores alimentados por gás liquefeito de petróleo (GLP), programados para que o aumento da temperatura ocorra em conformidade com a ISO 834. Para medir as deformações horizontais no centro da amostra, foi utilizada uma trena a laser. Para auxiliar na identificação de locais com fissura no sistema, foi utilizada câmera termográfica com verificação da temperatura na face não exposta ao fogo.

O forno é equipado com sete termopares do tipo K, de diâmetro de 1,5 mm, dos quais cinco são posicionados para verificar a temperatura da face exposta ao fogo. Da mesma forma, cinco termopares do tipo T na superfície externa da amostra (não exposta ao fogo) com diâmetro de 0,7mm. A Figura 5a apresenta a disposição dos termopares no interior do forno, numerados de 1 a 5 (TP01 a TP05) e numerados externamente de 6 a 10 (TP06 a TP10) conforme Figura 5b.

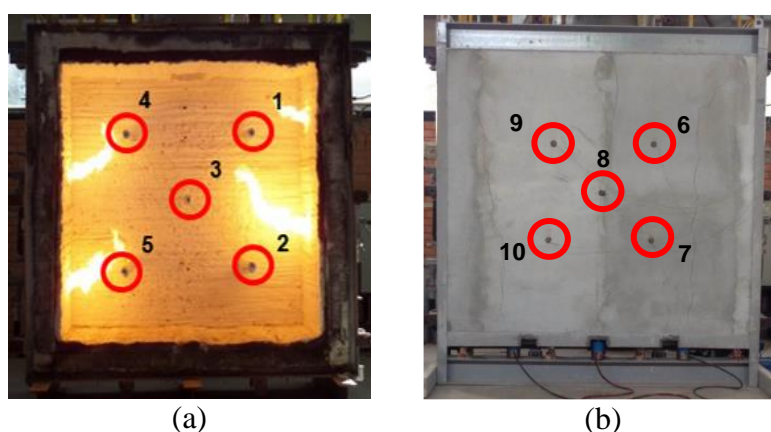


Figura 5 – Detalhe dos queimares e termopares: (a) termopares internos, (b) termopares externos

O sistema de vedação foi construído em um pórtico móvel, o que facilita a montagem da amostra e a aplicação de carga na amostra. Não foi empregado nenhum tipo de cura na amostra. As paredes foram ensaiadas 28 dias depois de sua montagem. Na sequência, o pórtico móvel foi acoplado no forno vertical para a realização do ensaio.

### Análise Experimental

Durante o aquecimento, três verificações foram realizadas: isolamento térmico, estanqueidade e estabilidade. A verificação do isolamento térmico incide no diagnóstico das temperaturas registradas na face não exposta diretamente a altas temperaturas da amostra. Como limite a NBR 5628 (ABNT, 2001) define que as temperaturas não devem superar a temperatura ambiente acrescida de 140°C na média aritmética dos termopares e acrescida de 180°C no limite pontual em nenhum dos termopares.

A verificação da estanqueidade ocorre com a locação de um chumaço de algodão, com uma haste metálica, próximo às fissuras incidentes na amostra por 10 s, aproximando-o a uma distância de 10mm a 30mm, a fim de observar a flamabilidade dos gases quentes emitidos pela amostra, pela inflamação do algodão. Caso isso ocorra, é caracterizado a perda de estanqueidade da amostra, por conduzir gases quentes aos cômodos adjacentes daquele que está sob incêndio. A estabilidade estrutural é verificada pela aplicação de uma carga distribuída na amostra. São analisadas deformações, fissuras, colapsos ou sinais de instabilidade que possam comprometer a segurança dos usuários.

### Apreciação dos Resultados

Os ensaios de resistência ao fogo foram realizados em dias diferentes, porém com condições ambientais de ensaio semelhantes, onde o sistema C1 foi ensaiado com temperatura inicial (ambiente) de 23,2°C, o sistema C2 com 26,8°C e o sistema C3 com temperatura inicial de 22,6°C. Todas as amostras foram submetidas a carga de 9 tf/m. Durante os 240 minutos de ensaio, foram feitos os registros de ocorrências manifestadas pelas amostras (Tabela 1).

Tabela 1 – Notas de ensaio.

Notas de ensaio Amostra C1					
0:00 min	11:00 min	28:00 min	70:00 min	103:00 min	240:00 min
Início do ensaio de resistência ao fogo.	Fissura a 45° na extremidade esquerda inferior.	Aparição de umidade na face superior do sistema.	Teste de estanqueidade sem inflamação.	Fissuras a 45° em ambas extremidades superiores.	Término do ensaio.
Notas de ensaio Amostra C2					
0:00 min	11:00 min	27:00 min	50:00 min	220:00 min	240:00 min
Início do ensaio de resistência ao fogo.	Fissuras horizontais nas extremidades da amostra.	Acréscimo de temperatura nos blocos	Fissura vertical ao centro da amostra com vapor aparente.	Teste de estanqueidade sem inflamação.	Término do ensaio.
Notas de ensaio Amostra C3					
0:00 min	1:00 min	10:00 min	70:00 min	230:00 min	240:00 min
Início do ensaio de resistência ao fogo.	Fissuras nos cantos inferiores da amostra.	Ponto central com acréscimo de calor.	Aparição de umidade na face superior do sistema.	Teste de estanqueidade sem inflamação.	Término do ensaio.

Durante a realização do ensaio, fissuras foram verificadas em todas as amostras, mas sem comprometer a estanqueidade do sistema.

No que tange a análise de capacidade estrutural, os sistemas C1 e C3 obtiveram um desvio de curvatura relativamente baixo em relação a amostra C1 no início do ensaio (Figura 6), com crescimento gradativo até os respectivos deslocamentos máximos de 31 mm aos 180 minutos para C1, 20mm na amostra C2 aos 190 minutos e 27 mm aos 70 minutos referente a amostra C3. No entanto, o Sistema C1 e o Sistema C3 obteve uma diminuição do deslocamento por certo período, demonstrando que provavelmente pode



ter ocorrido o deslocamento do revestimento justificados pelo crescimento inicial dos deslocamentos da amostra, afetando, a partir deste decréscimo, o isolamento térmico do sistema e a classificação do desempenho do mesmo.

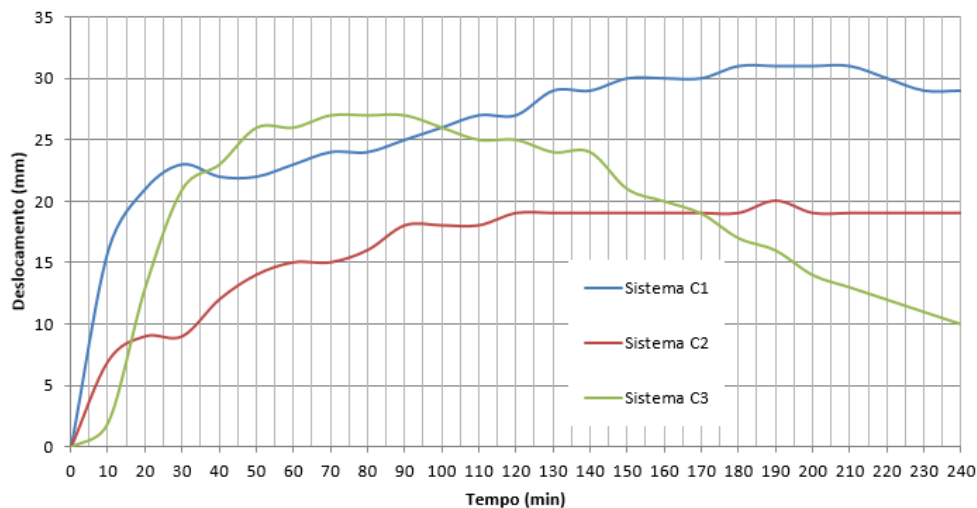


Figura 6 – Deslocamento registrado ao longo do tempo de ensaio

Segundo Nguyen e Meftah (2012), as paredes de alvenaria possuem os deslocamentos iniciais acentuados, devido ao rápido aumento de temperatura da face exposta ao fogo, de acordo com as altas temperaturas que as curvas padrões de ensaio possuem.

Em relação ao isolamento térmico as Figuras 7, 8 e 9 apresentam as temperaturas ao longo dos 240 min dos sistemas C1, C2 e C3, respectivamente.

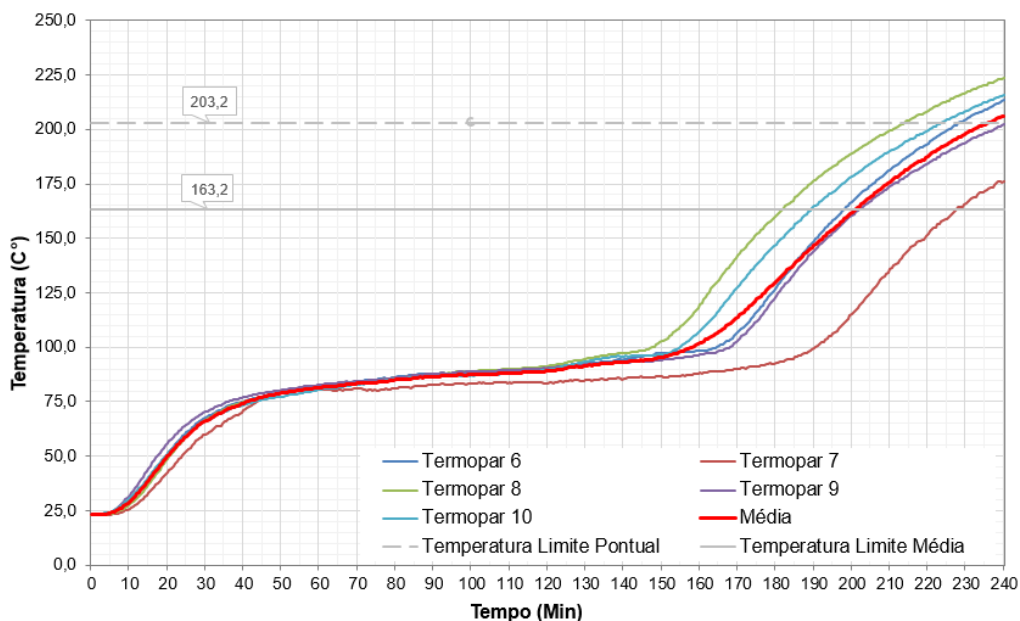


Figura 7 – Temperaturas registradas pelos termopares externos do Sistema C1

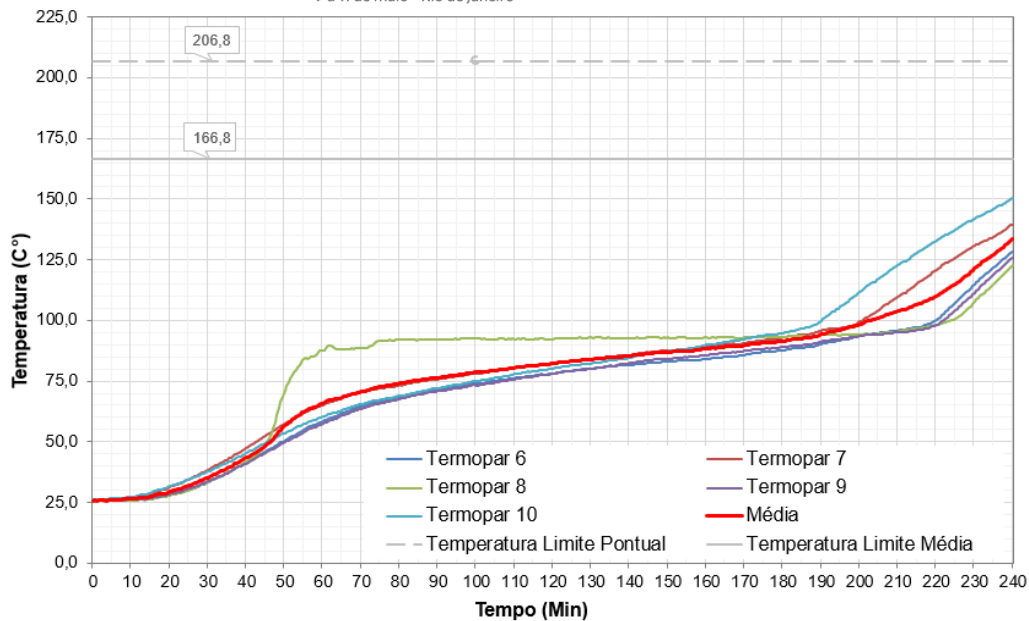


Figura 8 – Temperaturas registradas pelos termopares externos do Sistema C2

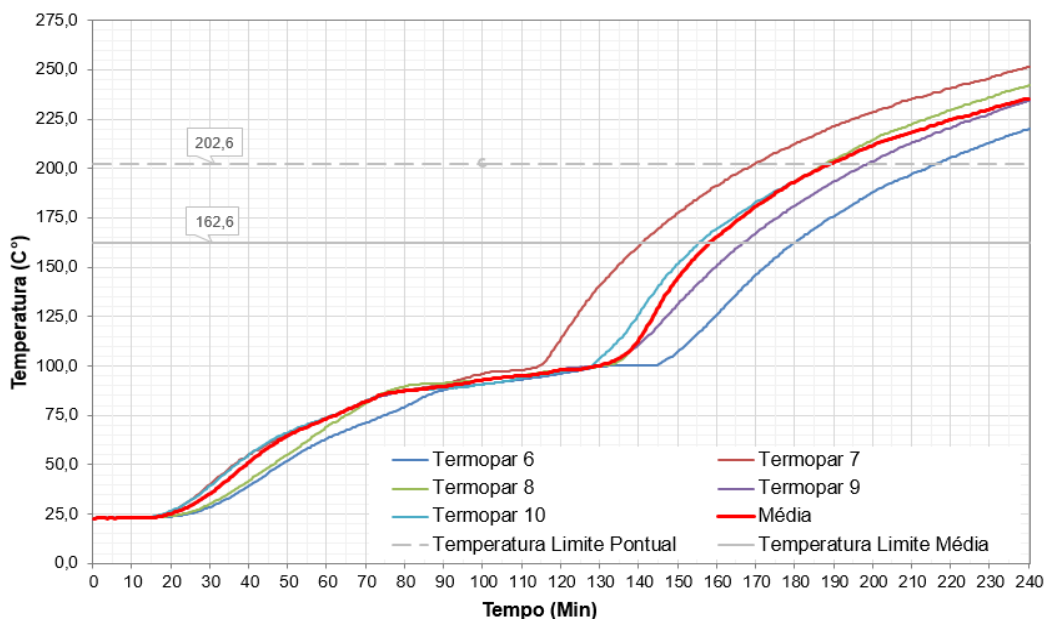


Figura 9 – Temperaturas registradas pelos termopares externos do Sistema C3

O isolamento térmico foi o grande divisor determinante da classificação dos sistemas. Conforme observado nas figuras acima, a amostra C1 apresentou temperaturas acima dos limites médios no instante de 201 min, como o limite pontual aos 214 min. A amostra C3 ultrapassou os limites da média e limite pontual, aos 158 min e aos 170 minutos, respectivamente. Já o sistema C2, não ultrapassou os limites normativos, atingindo uma temperatura máxima de 150,3°C aos 240 min, enquanto que a média dos termopares foi de 133,4°C.

Esse fato é destacado, devido a ação que são os furos exercem, dispostos em sentidos diferentes da condução de calor, devido as propriedades de isolantes do ar (KANELLOPOULOS, 2017), apresentando uma melhor resistência térmica quando



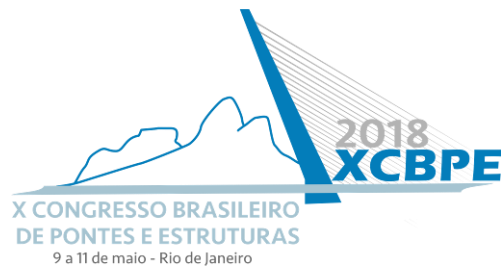
esses furos são dispostos perpendicularmente ao calor, formando resistências em série (BOUCHAIR, 2008) de modo que essas características podem ser observadas no bloco utilizado em C2. Ainda segundo Poças (2008), quanto mais alvéolos um bloco possuir e quanto mais desalinhados eles estiverem em relação as fiadas inferiores e superiores, maior será a resistência térmica do sistema. Outro ponto importante para o isolamento térmico já citado é o deslocamento da alvenaria, que pode comprometer no aumento das temperaturas, o que pode ser sugerir o aumento das temperaturas à partir dos 140 minutos na amostra C1, e dos 110 minutos na amostra C3, enquanto que não ocorre na amostra C2.

## Conclusões

Concluiu-se que a disposição dos alvéolos foi decisiva perante ao desempenho do sistema quanto ao isolamento térmico. A amostra C3, com maior número de alvéolos, apresentou menor tempo de resistência ao fogo, sendo 66% inferior do que a amostra C2 que apresentou um desempenho cerca de 16% superior do que a amostra C1, devido ao provável deslocamento do sistema C1. Estes resultados parciais sustentam o início de um conjunto de pesquisas que visa compreender e justificar melhor os fenômenos por ora apresentados.

## Referências

- AL-HADHRAMI, L. M.; AHMAD, A. Assessment of Thermal Performance of Different Types of Masonry Bricks Used in Saudi Arabia. *Applied Thermal Engineering*, v. 29, p. 1123-1130, 2009.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15575: edificações habitacionais: desempenho. Rio de Janeiro, 2013.
- CORPO DE BOMBEIROS DO ESTADO DE SÃO PAULO: Instrução Técnica nº 08 - Segurança estrutural nas edificações / Resistência ao fogo dos elementos de construção. Secretaria de Estado dos Negócios da Segurança Pública. São Paulo. 2004.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14432: Exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações: procedimento. Rio de Janeiro, 2001.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5628: Componentes construtivos estruturais - Determinação da resistência ao fogo. Rio de Janeiro, 2001.
- ACCETTI, Kristiane Mattar. Contribuições ao projeto estrutural de edifícios em alvenaria. 1998. 247 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Estruturas, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1998.
- ONO, R. Parâmetros para garantia da qualidade do projeto de segurança contra incêndio em edifícios altos. *Ambiente Construído*, v. 7, n. 1, p. 97-113, 2007.
- HARMATHY T. Z. – Design Approach to Fire Safety in Buildings, 1974, p. 82-87.
- RIGÃO, A. O. Comportamento de pequenas paredes de alvenaria estrutural frente a altas temperaturas. 2012, 142 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2012.
- SOUZA, R. P. Avaliação da influência da espessura do revestimento argamassado e do carregamento no comportamento da alvenaria frente a altas temperaturas. 2017, 137 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, 2017.



- ZSEMBERY, S.; LAWRENCE, S. The Properties of Clay Masonry Units ArtarmonThink Brick, 2013.
- EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. Eurocode 6: Design of masonry structures: Part 1-2: General rules – Structural fire design. Bruxelas, 2005.
- SEITO, A. I. et al. A segurança contra incêndio no Brasil. 1. ed. São Paulo: Projeto Editora, 2008. v. 53.
- NGUYEN, T. D. 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.
- 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.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). ISO 834: fire resistance tests – Elements of building construction. Geneva, 1999.
- AYALA, R. Mechanical Properties and Structural Behaviour of Masonry at Elevated Temperatures. Thesis - Universidade de Manchester, Manchester, 2011.
- KANELLOPOULOS, G. et al. Numerical Analysis and Modelling of Heat Transfer Processes through Perforated Clay Brick Masonry Walls. Procedia Environmental Sciences, v. 38, p. 492–499, 2017.
- POÇAS, J. P. M. Estudo do comportamento térmico e mecânico em paredes de alvenaria. 2008, 181 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade do Porto, Porto, 2008.
- ROSEMANN, F. Resistência ao fogo de paredes de alvenaria estrutural de blocos cerâmicos pelo critério de isolamento térmico. 2011, 160 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2011.