Revista ALCONPAT
www.revistaalconpat.org
eISSN 2007-6835
Revista de la Asociación Latinoamericana de Control de Calidad, Patología y Recuperación de la Construcción

Análise numérico-experimental de paredes de alvenaria de bloco cerâmico com diferentes espessuras em altas temperaturas

F. Bolina[1], B. Tutikian[1]*, J. Gonçalves[1], T. Souza[1], G. Manica[1]
*Autor de Contato: btutikian@terra.com.br
DOI: http://dx.doi.org/10.21041/ra.v10i1.415

Recepção: 01/05/2019 | Aceitação: 11/11/2019 | Publicação: 30/12/2019

RESUMO

O estudo discute sobre a resistência ao fogo de sistemas de vedação vertical compostos por blocos cerâmicos com furos verticais em altas temperaturas. O sistema construtivo de vedação em alvenaria é amplamente utilizado no mercado da construção civil no Brasil por tratar-se de um sistema de baixo custo e alta produtividade em comparação aos elementos convencionais. Os resultados foram obtidos com modelos computacionais de elementos finitos, através do software Ansys Mechanical, calibrados por ensaio experimental em escala real, determinando-se o tempo de resistência ao fogo (TRF) para diferentes geometrias de blocos. As análises computacionais levaram a resultados que apontam um limite para eficiência do aumento de espessura de uma parede para se atingir TRF elevados em relação ao isolamento térmico.

Palavras-chave: tempo de resistência ao fogo; incêndio; compartimentação.

Citar como: Bolina, F., Tutikian, B., Gonçalves, J., Souza, T., Manica, G. (2020), "*Análise numérico-experimental de paredes de alvenaria de bloco cerâmico com diferentes espessuras em altas temperaturas*", Revista ALCONPAT, 10 (1), pp. 22 – 35, DOI: http://dx.doi.org/10.21041/ra.v10i1.417

[1] Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, Brasil.

Informações legais
Revista ALCONPAT é uma publicação trimestral da Associação Latino-Americana de Controle de Qualidade, Patologia e Recuperação de Construção, Internacional, A.C., Km. 6, antiga estrada para Progreso, Merida, Yucatán, C.P. 97310, Tel.5219997385893, alconpat.int@gmail.com, Website: www.alconpat.org
Editor responsável: Dr. Pedro Castro Borges. Reserva de direitos de uso exclusivo, No.04-2013-011717330300-203, eISSN 2007-6835, ambos concedidos pelo Instituto Nacional de Direitos Autorais. Responsável pela última atualização deste número, Unidade de Informática ALCONPAT, Eng. Elizabeth Sabido Maldonado, Km. 6, antiga estrada para Progreso, Mérida, Yucatán, C.P. 97310.
As opiniões expressas pelos autores não refletem necessariamente a posição do editor.
É totalmente proibida a reprodução total ou parcial dos conteúdos e imagens da publicação sem autorização prévia do ALCONPAT International A.C.
Qualquer discussão, incluindo a resposta dos autores, será publicada no terceiro número do ano 2020, desde que a informação seja recebida antes do fechamento do segundo número do ano de 2020.

© 2020 ALCONPAT Internacional

Numerical-experimental analysis of ceramic block masonry walls of different thickness at high temperatures

ABSTRACT

The study discusses the fire resistance of vertical sealing systems composed of ceramic bricks with vertical holes at high temperatures. The masonry sealing construction system is widely used in the Brazilian construction market because it is a low cost and high productivity system compared to conventional elements. The results were obtained with finite element computational models, using the Ansys Mechanical software, calibrated by a real scale experimental test, determining the fire resistance time (FRT) for different block geometries. The computational analysis led to results that point to a limit in efficiency of the wall thickness increase in order to reach a high FRT in relation to the thermal insulation.

Keywords: fire resistance time; fire; compartmentation.

Análisis numérico-experimental de paredes de mampostería con bloques de cerámica de diferentes espesores en altas temperaturas

RESUMEN

Este estudio discute la resistencia al fuego de sistemas de sellado vertical compuestos por bloques cerámicos con agujeros verticales en altas temperaturas. La albañilería es ampliamente utilizada en el mercado de la construcción civil por tratarse de un sistema de bajo costo y alta productividad en comparación con los elementos convencionales. Los resultados fueron obtenidos con modelos computacionales de elementos finitos a través del software Ansys Mechanical, calibrados por ensayo experimental de resistencia al fuego a escala real, determinándose el tiempo de resistencia al fuego (TRF) para diferentes geometrías de bloques. Los análisis computacionales llevaron a resultados que apuntan un límite para la eficiencia del aumento de espesor de una pared para alcanzar altos TRF en relación con el aislamiento térmico.

Palabras clave: albañilería estructural; incendio; compartimentación.

1. INTRODUÇÃO

Em 1974, o incêndio do edifício Joelma, localizado em São Paulo, Brasil, ressaltou o risco de incêndios pela ausência de compartimentação horizontal e vertical. A compartimentação de áreas é um recurso da segurança contra incêndio e tem como principal objetivo conter a ação do fogo, de forma a restringir área e, com isso, o desenvolvimento das chamas, além de proteger os ocupantes presentes da ação do fogo por um período determinado. As paredes de alvenaria e divisórias podem promover a compartimentação entre cômodos, mitigando a propagação de fogo e fumaça entre os ambientes. (MARCATTI *et al*., 2008).

Com a crescente necessidade de construir com qualidade e segurança, sobretudo pela entrada em vigor da Norma Brasileira de Desempenho das Edificações Habitacionais, a NBR 15575 (ABNT, 2013), a necessidade de verificação do desempenho dos sistemas construtivos em termos de (a) sustentabilidade, (b) habitabilidade e (c) segurança ganhou força. Segundo a NBR 15575 (ABNT, 2013), entre os sistemas que devem atender a estes requisitos, o de vedação vertical deve seguir imposições mínimas ao incêndio. Ademais, requisitos de compartimentação são exigidos por regulamentações estaduais dos Corpos de Bombeiros no Brasil, o que reforça esta necessidade e exige dos projetistas atendimento aos requisitos praticados.

É comum associar resistência ao fogo de elementos de alvenaria com a sua espessura, porém outros fatores devem ser levados em consideração, como a quantidade de camadas de ar contidas nos

blocos. Há uma complexa distribuição de temperatura na seção destes elementos que deve ser melhor investigada, haja visto os diferentes mecanismos de condução de calor nos mesmos. A alvenaria também varia conforme a região de fabricação, alterando-se os materiais constituintes disponíveis e processo de fabricação local. (ZSEMBERY, 2013; GIL et al., 2017).

Para o projeto de alvenarias estruturais em situação de incêndio, o Eurocode 6 (EN 1996-1-2, 2005) permite dois tipos de métodos de dimensionamento. Um deles utiliza dados tabelados, que fornecem a dimensão da espessura mínima requerida da parede para se obter o tempo de resistência ao fogo, entretanto é necessário indicar previamente o tipo de bloco, carregamento, compartimentação e revestimento. O segundo método, através de cálculo que considera o módulo de falha do material em exposição a altas temperaturas, define as especificações do elemento conforme a temperatura, taxa de esbeltez e deformações devido à expansão térmica restringida. (RIGÃO, 2012).

Considerando que a NBR 15220 (ABNT, 2003) utiliza a simplificação de condução térmica aparente e apresenta um coeficiente para a condução térmica do ar confinado muito menor que a do ar com ventilação, se deduz que o motivo desta redução seja devido ao transporte por convecção e irradiação térmica que ocorre entre as faces que geram este confinamento. Também é possível assumir que a explicação para a diferença de valores de condução térmica aparente nos ensaios de Bai (2017) está relacionada com o fato de suas amostras com alvéolos menores possuírem uma quantidade de alvéolos maior, resultando em mais fenômenos de convecção e irradiação térmica ocorrendo dentro da amostra.

Os ensaios laboratoriais são realizados para compreender o desempenho de sistemas de vedação vertical em situação de incêndio e, consequentemente, viabilizar o uso. No Brasil, a norma que rege os ensaios sobre resistência ao fogo destes sistemas é a NBR 5628 (ABNT, 2001) para paredes com função estrutural e a NBR 10636 (ABNT, 1989) para paredes sem função estrutural. Segundo as normas, os ensaios devem ser feitos em escala real, tornando o processo oneroso que, somado ao limitado número de fornos verticais na América Latina, torna o acervo técnico nessa área limitado. (RIGÃO, 2012; PACHECO et al., 2018).

Logo, o desenvolvimento de modelos teóricos e de simulações computacionais se faz necessário para avaliar o comportamento das alvenarias em uma situação de incêndio. Nestas análises, a transmissão de calor e o comportamento mecânico são fatores que ocorrem em três dimensões. Entretanto, a maioria dos modelos existentes se baseia em abordagens bidimensionais, baseados em uma escala macroscópica, impedindo uma análise correta da transmissão de calor convectiva e radiativa dentro dos blocos cerâmicos. (NGUYEN et al., 2009).

Para tornar as análises computacionais mais representativas, os modelos computacionais devem ser calibrados com dados obtidos através de testes experimentais. Os resultados disponíveis sobre ensaios de sistemas de vedação vertical abordam os itens de estanqueidade (E), isolamento térmico (I) e resistência mecânica (R), o que dificulta a execução de um modelo computacional avançado, que requer uma série de outras informações relevantes. (NGUYEN; MEFTAH, 2012; EHRENBRING et al., 2019).

Portanto, este trabalho avaliou a influência da geometria dos blocos cerâmicos com furos verticais na resistência ao fogo de sistemas de vedação vertical em situação de incêndio, utilizando modelos assistidos por computador, calibrando-os através de resultados de ensaios experimentais de resistência ao fogo de paredes em escala real, elaborados conforme a NBR 5628 (ABNT, 2001). O estudo foi dividido em cinco etapas: (1) introdução; (2) programa experimental; (3) análise numérica; (4) resultados e discussão; e (5) conclusão.

2. PROGRAMA EXPERIEMENTAL

2.1 Construção do protótipo de parede

A parede utilizada como objeto de calibração foi chamada de P1. Este sistema possui dimensões de 3,15x2,80m e foi construída em um pórtico metálico em laboratório, conforme Figura 1.

(a) (b)

Figura 1. Sequência construtiva da parede P1.

Para a execução da parede do ensaio experimental foram aplicados blocos cerâmicos de f_{bk} de 8 MPa, com furos verticais, de 14 x 19 x 29 cm e com junta de argamassa de assentamento com cimento, areia e cal, com 4 MPa de resistência média à compressão, além de aditivos aerador, estabilizador de hidratação e retentor de água.

2.2 Instrumentação

Para avaliar a temperatura da parede ao longo do ensaio, foram utilizados 5 termopares na parte exposta ao fogo e cinco termopares na parte não exposta ao fogo, fixados nesta superfície, conforme Figura 2. Também foram adicionados cinco termopares ao longo do corte do bloco, como se mostra na Figura 3.

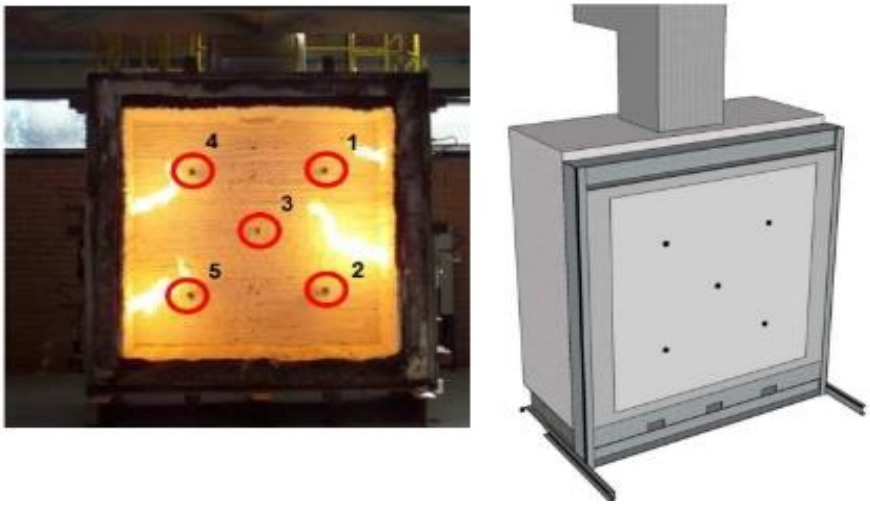


Figura 2. Termopares externos.

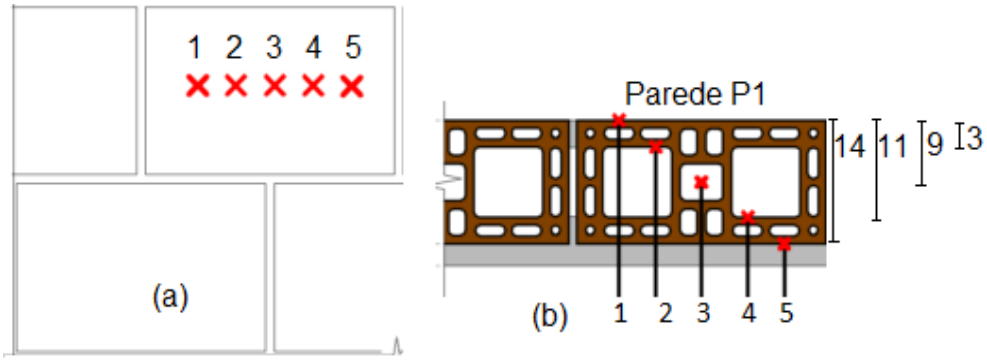


Figura 3. Locação dos termopares internos nos blocos em (a) corte e (b) planta.

2.3 Forno vertical de ensaio

O ensaio foi realizado no Laboratório de Segurança ao Incêndio da Unisinos. A parede foi ensaiada após 56 dias de cura, em um forno vertical. O forno possui quatro queimadores dispostos conforme a Figura 4, controlados por dois termopares que permite a aferição da evolução da temperatura pela ISO 834 (2014). A Figura 4 também mostra a sequência de montagem e instalação da parede no forno de ensaio. O forno conta com uma chaminé que regula a vazão dos gases gerados pelo aquecimento e a pressão interna ao longo do ensaio, isolamento térmico composto por manta fibrocerâmica e quatro queimadores a gás, controlado digitalmente por uma central de comando digital.

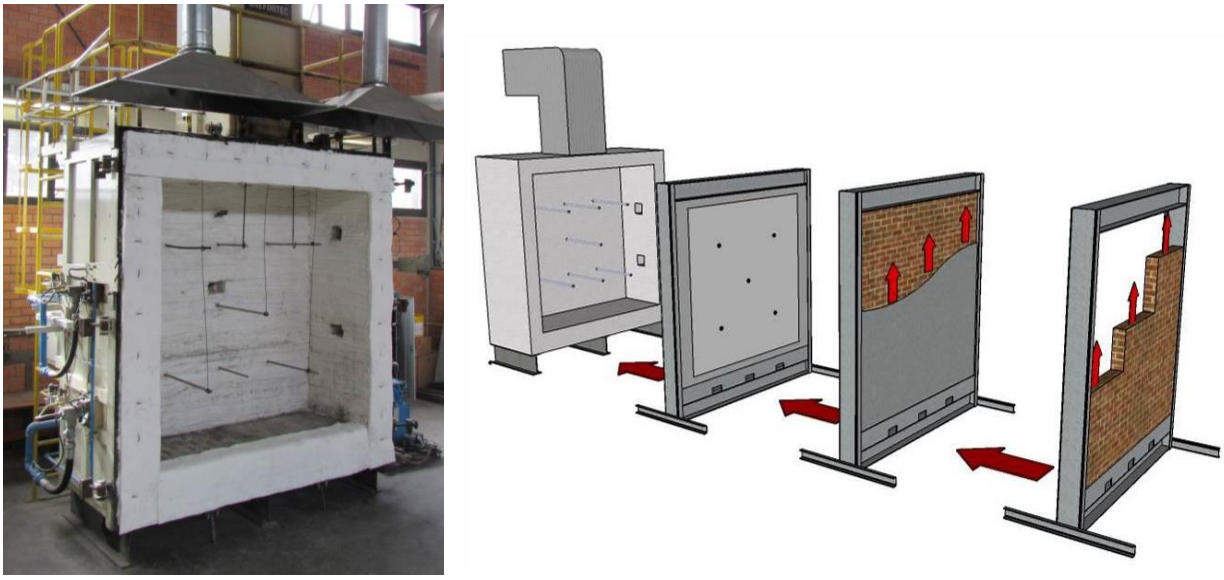


Figura 4. Detalhe do acoplamento do sistema junto ao forno vertical.

3. ANÁLISE NUMÉRICA

3.1 Premissas da Análise

Para a elaboração do modelo computacional, foi utilizado o programa *Ansys Mechanical Transient Thermal*. Neste programa, foi gerada uma malha de elementos, conforme a Figura 5. Cada divisão contida na seção dos blocos representa um elemento finito a ser calculado, de modo que o programa execute uma série de cálculos menores e os agrupe para apresentar o resultado final.

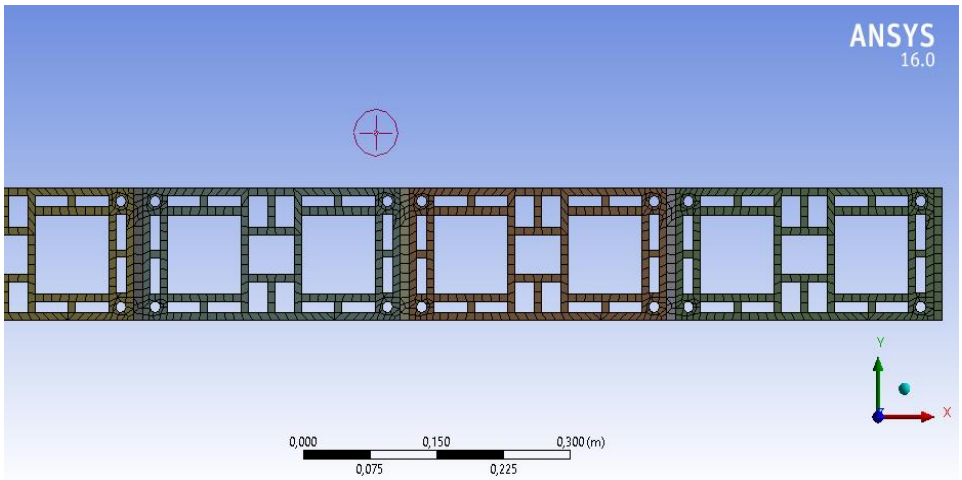


Figura 5. Malha computacionalmente hipotética para as análises computacionais.

Os elementos finitos gerados pelo programa para as análises foram do tipo QUAD_4, que geram quatro nós e representam formas próximas de quadrados. Os tamanhos mínimos e máximos de cada elemento foram determinados manualmente, sendo o menor elemento possível com 1 mm de lado e o maior elemento possível com 50 mm de lado. A argamassa foi admitida como elemento inerte, com iteração completa com o bloco. A condutividade térmica do bloco foi dada em função das temperaturas extraídas do modelo experimental. Esta simulação foi feita em 2 dimensões, com o único objetivo de levar em consideração as isotermas dos blocos em análise.
Com posse da malha de cálculo, foi inserida a curva de temperatura a qual a parede deveria ser exposta, obedecendo a curva da ISO 834 (ISO, 2014). A temperatura inicial definida para a análise computacional foi a mesma utilizada no ensaio experimental, de 20ºC.

3.2 Parâmetros obtidos na calibração experimental

Para a execução da análise experimental se fez necessária a utilização de parâmetros referentes às propriedades térmicas dos materiais envolvidos, ou seja, densidade, calor específico e coeficiente de condutibilidade térmica. Os parâmetros definidos para calibração estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Parâmetros definidos na calibração.

Parâmetro	**Valor**		
	Densidade (kg/m³)	**Condutibilidade térmica (W.C/m)**	**Calor específico (J.C/kg)**
Ar	1,125	0,025	1005
Argamassa	1709	0,9	1550
Bloco	1200	2,5	880

Para a definição dos valores de convecção, tendo em vista sua variação com o aumento da temperatura, o bloco foi dividido em duas regiões, conforme Figura 6, e para cada uma delas foi atribuído um valor de coeficiente de condutibilidade térmica de acordo com a evolução do tempo de ensaio, quando as temperaturas se elevavam. Os coeficientes utilizados estão expostos na Tabela 2.

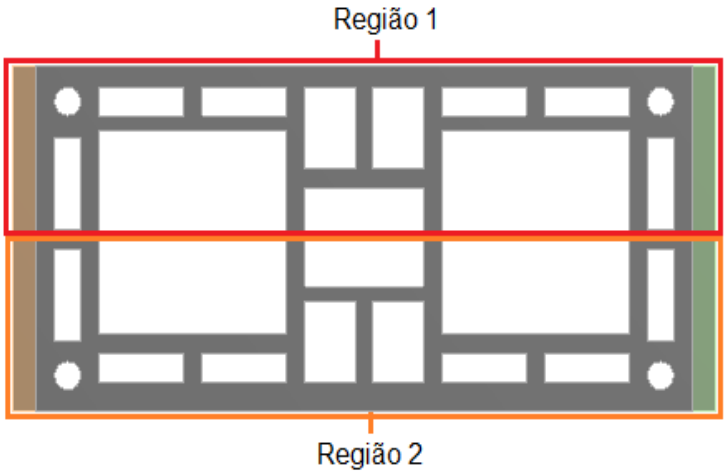


Figura 6. Regiões definidas para os coeficientes de convecção.

Tabela 2. Coeficientes de convecção térmica.

Região do bloco	Tempo de ensaio			
	30 min	**60 min**	**120 min**	**240 min**
Região 1	30 (W.C/m)	14 (W.C/m)	9 (W.C/m)	4 (W.C/m)
Região 2	0,7 (W.C/m)	20 (W.C/m)	6 (W.C/m)	0,5 (W.C/m)

Estes valores foram extraídos do modelo experimental, alimentando a simulação computacional.

3.3 Pontos de leitura das temperaturas

Os pontos de leitura de temperatura no bloco foram os mesmos admitidos experimentalmente, conforme mostrado na Figura 7. Os termopares 3 e 4, não mostrados na Figura 7, foram empregados para medir os resultados das temperaturas do ar na modelação computacional, e não dos blocos.

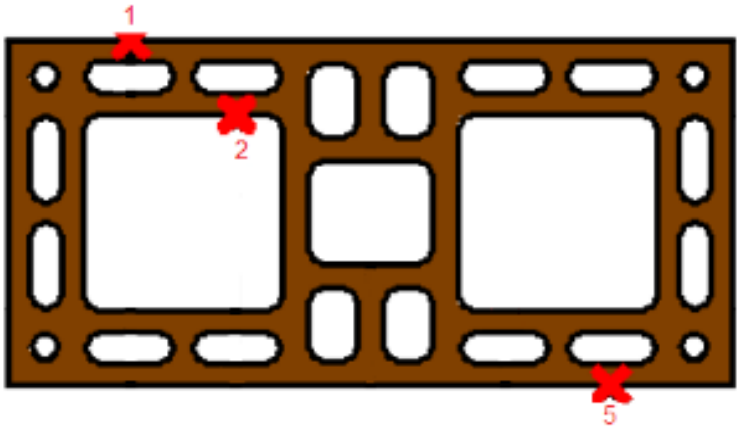


Figura 7. Pontos admitidos.

3.4 Modelo de calibração e validação

Para a validação do modelo computacional, através da análise experimental em forno vertical, as variáveis foram alimentadas pelos parâmetros de densidade, condutibilidade térmica, calor específico e convecção térmica, extraídas do ensaio. Por meio destas informações, o modelo computacional foi calibrado com dados experimentais, mostrado na Tabela 3.

Tabela 3. Temperaturas atingidas no modelo de calibração.

Pontos	Tempo			
	30 min	60 min	120 min	240 min
No ponto 1	833 ºC	945 ºC	1047 ºC	1151 ºC
No ponto 2	321 ºC	608 ºC	701 ºC	846 ºC
No ponto 3	46 ºC	95 ºC	237 ºC	417 ºC

A validação do modelo ocorreu através dos valores obtidos na análise numérica com as análises experimentais.

3.5 Extrapolação dos resultados experimentais

Com a calibração realizada conforme o resultado experimental, deu-se início ao processo de extrapolação computacional para outras geometrias de blocos. Para tanto, foram admitidas três espessuras comerciais de blocos cerâmicos de 11,5, 14 e 19 cm. Para cada uma destas espessuras definiu-se 3 blocos, com variações na quantidade de alvéolos e, portanto, porcentagem de vazios. Observa-se que foram propostas três geometrias distintas, porém as espessuras das paredes internas do bloco foram constantes, com 9 mm externamente e 8 mm internamente, conforme Figura 8.

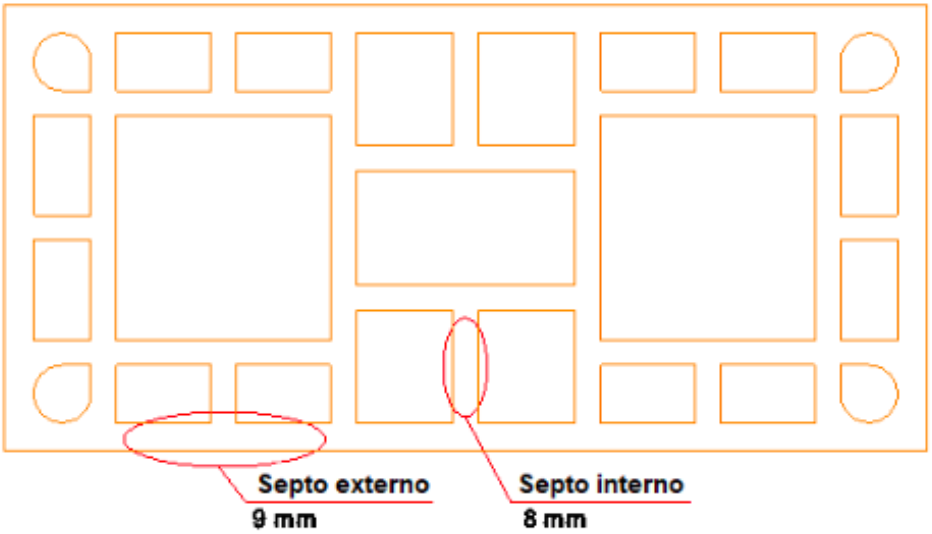


Figura 8. Paredes internas e externas dos blocos.

A família de blocos de 11,5 cm de espessura foi chamada de BL1; a de 14 cm de espessura de BL2; e a de 19 cm de espessura de BL3. As variações de porcentagem de vazios de uma mesma família de blocos foram calculadas utilizando a relação entre área bruta e área líquida, e remeteram aos índices I, II e III. Na Figura 9 estão detalhados os blocos empregados neste estudo. Os blocos foram nomeados sequencialmente de BL1 a BL3. Observa-se que os blocos com índices de II (BL1-II, BL2-II e BL3-II) são encontrados no mercado, os comerciais. A partir daí, foram propostos blocos com menos alvéolos e pouco maiores, os com índice I (BL1-I, BL2-I e BL3-I), e blocos com alvéolos grandes e em pequena quantidade, os com índice III (BL1-III, BL2-III e BL3-III).

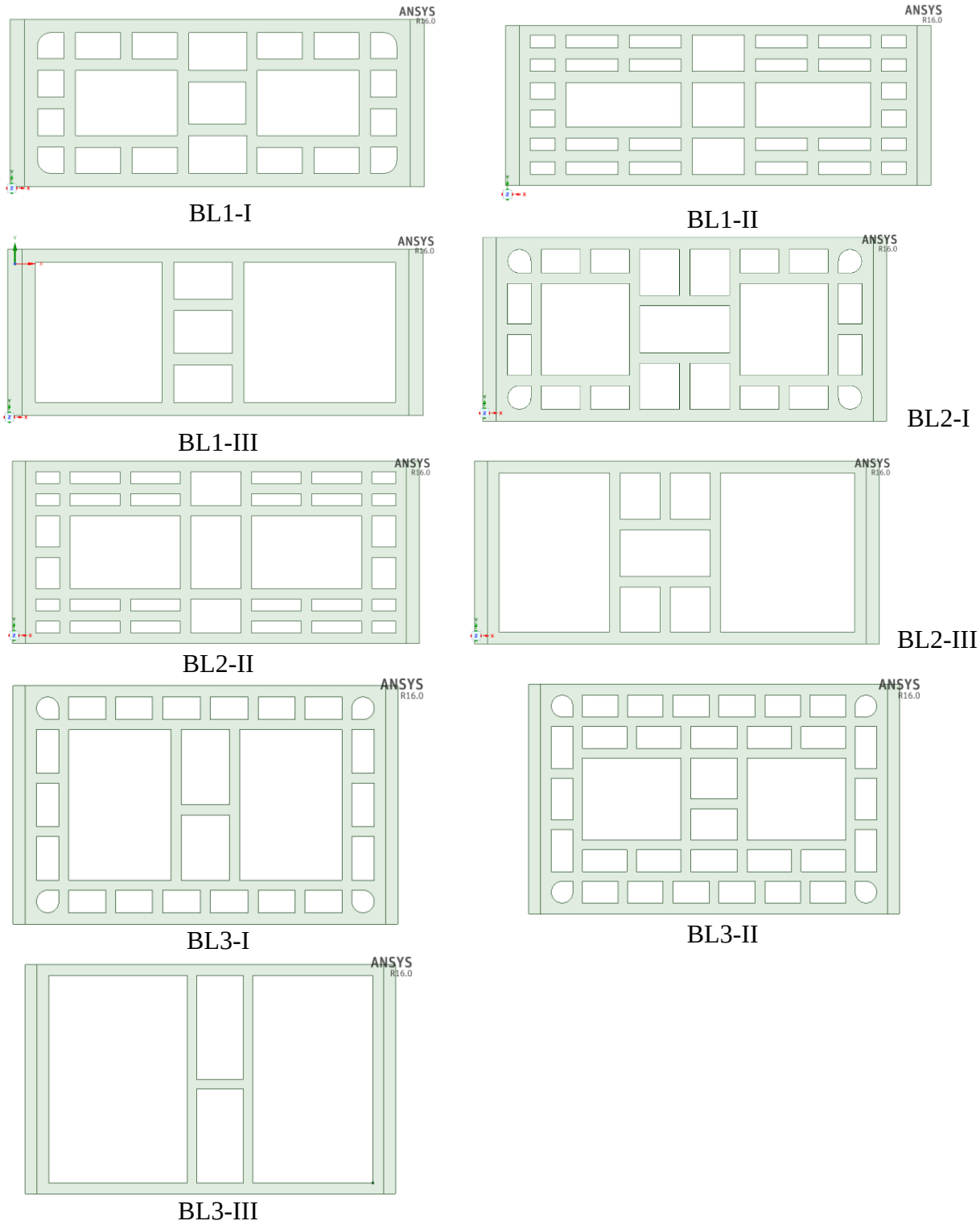


Figura 9. Blocos empregados.

A Tabela 4 mostra as nomenclaturas, medidas e volume de vazios (%) calculado para cada tipo de bloco cerâmico.

Tabela 4. Blocos utilizados nas simulações.

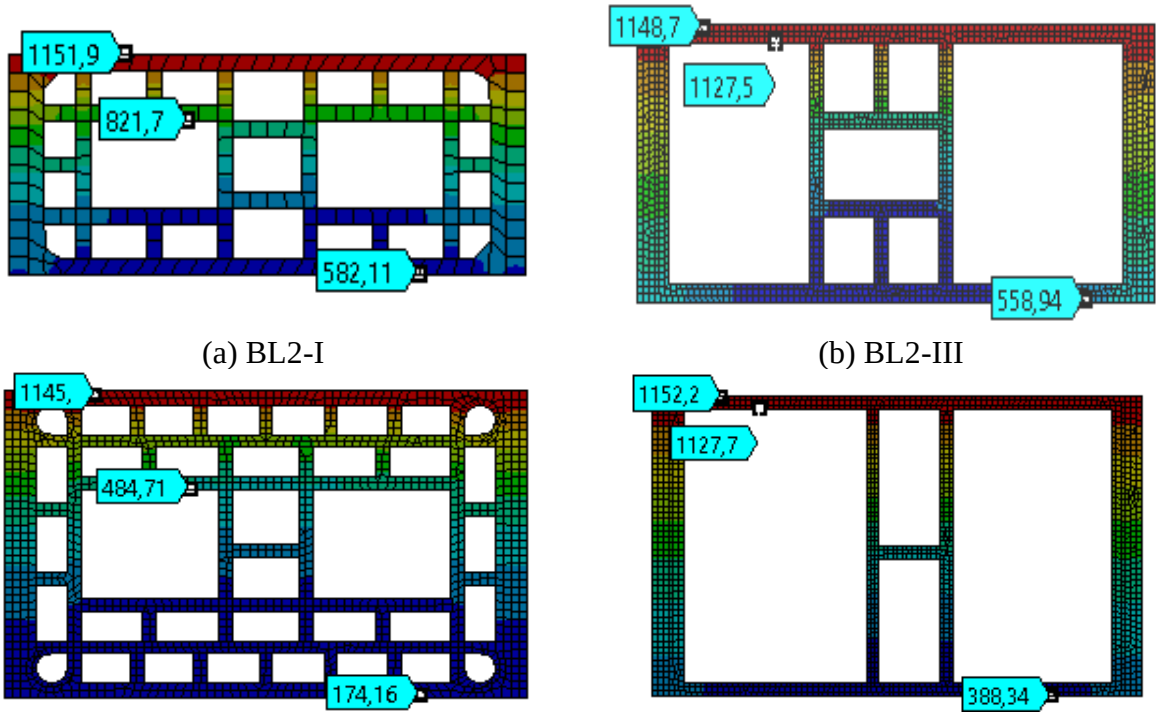
Nome do bloco	Dimensões (cm)	Total vazios (%)
BL1-I	11,5 x 19 x 26,5	54,2
BL1-II	11,5 x 19 x 26,5	43,7
BL1-III	11,5 x 19 x 26,5	71,4
BL2-I	14 x 19 x 26,5	54,2
BL2-II	14 x 19 x 26,5	58,6
BL2-III	14 x 19 x 26,5	72,8
BL3-I	19 x 19 x 26,5	64,3
BL3-II	19 x 19 x 26,5	57,4
BL3-III	19 x 19 x 26,5	79,0

3.6 Tempos de análise das isotermas dos blocos

Foram calculadas as isotermas dos blocos no programa computacional nos instantes de 30, 60, 90, 120, 180 e 240 minutos. Para definir o Tempo de Resistência ao Fogo (TRF) de cada bloco definiu-se a temperatura limite de 200ºC (180+20°C) na face não exposta às chamas, para um termopar isolado, com base nos preceitos da NBR 10636 (ABNT, 1989).

4. RESULTADOS

Como o critério predominante de definição do TRF é a temperatura da face não exposta ao fogo do bloco, para as análises foram utilizadas estas medidas, com a temperatura limite de 200C° na face não exposta. Foram coletadas as isotermas dos blocos no programa computacional nos instantes de 30, 60, 90, 120, 180 e 240 minutos. Na Figura 10 estão apresentadas as isotermas de alguns dos blocos empregados neste estudo e, na Figura 11, o comparativo entre todos os blocos, com variação da geometria, percentual de vazios e espessuras.



(a) BL2-I (b) BL2-III

(c) BL3-II (d) BL3-III

Figura 10. Isotermas dos blocos (a) BL2-I, (b) BL2-III, (c) BL3-II e (d) BL3-III aos 180 minutos.

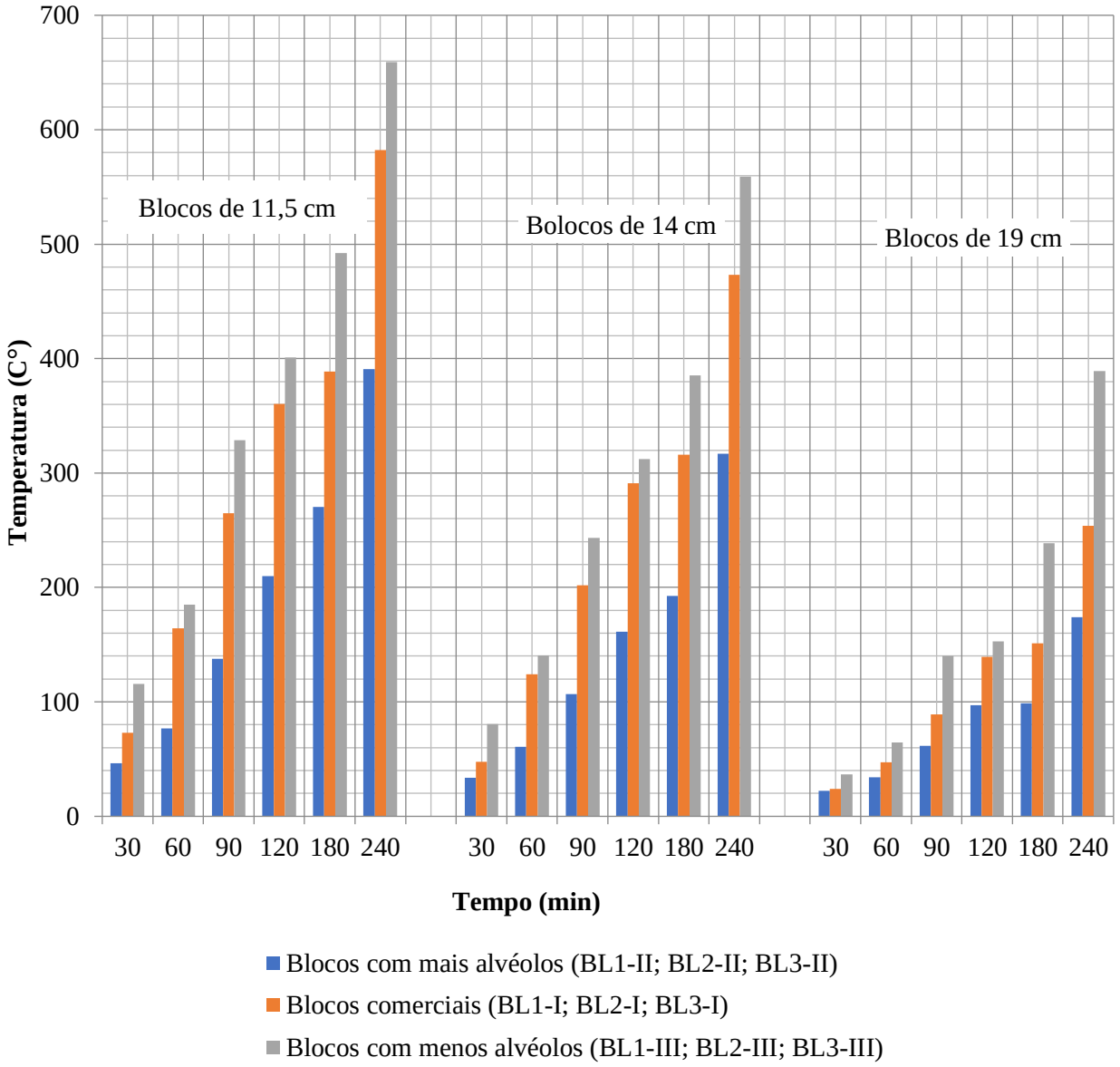


Figura 11. Comparativo entre as temperaturas na face não exposta de todos os blocos.

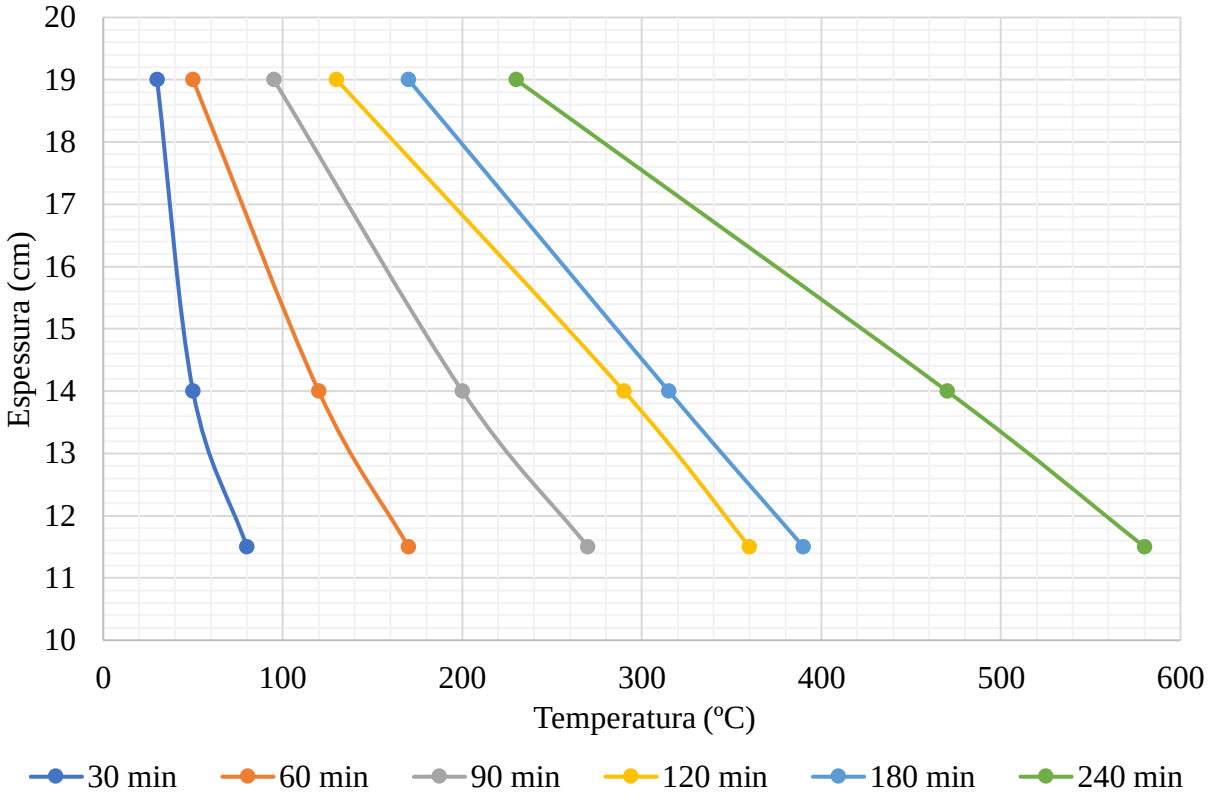
Observando a Figura 11 é possível constatar que os alvéolos possuem grande influência no isolamento térmico dos blocos, principalmente para as temperaturas mais altas. Foi possível observar que a escolha de um bloco com maior número de alvéolos pode ser uma opção mais eficaz do que a escolha de um bloco de maior espessura quando é desejado atingir um TRF elevado, indo de encontro com o que foi concluído por Lee (2017), quanto ao fato de que a influência dos alvéolos em um bloco se torna praticamente nula em temperaturas baixas. Tendo em vista a resposta dos modelos, verificou-se que, em temperaturas elevadas, os fenômenos convectivos e irradiativos que ocorrem no interior dos blocos são mais relevantes do que a condução térmica, que ocorre através do material. Isto é reforçado com o conceito da NBR 15220 (ABNT, 2003) de que o ar confinado é um excelente isolante térmico.

A partir dos resultados da Figura 11, foi possível extrapolar os valores de vazios necessários para atender a um tempo de isolamento térmico (TIT) para cada tipo de bloco, apresentados na Tabela 5. A extrapolação foi feita realizando apenas o ajuste da forma do bloco, tomando como base aquele que fora calibrado por meio experimental.

Tabela 5. Determinação do TIT a partir do percentual de vazios de um bloco.

Espessura do bloco	Percentual máximo de vazios para um TRF em minutos					
	30	60	90	120	180	240
11,5 cm	79,11%	86,64%	45,95%	42,17%	40,25%	30,95%
14 cm	81,73%	80,71%	62,89%	58,30%	53,08%	45,96%
19 cm	84,90%	84,90%	84,90%	84,90%	74,02%	59,62%

Para efeito de comparação, também foram geradas curvas da evolução da temperatura na face não exposta ao fogo nos blocos de índice II, de forma a fazer uma comparação da influência das espessuras dos blocos, apresentadas na Figura 12.



30 min: $L = 23{,}843^{e-0.01T}$ $R^2 = 0{,}9787$	60 min: $L = 22{,}768^{e-0.004T}$ $R^2 = 0{,}9948$	90 min: $L = 24{,}566^{e-0.003T}$ $R^2 = 0{,}9985$	120 min: $L = 25{,}136^{e-0.002T}$ $R^2 = 0{,}9869$	180 min: $L = 26{,}21^{e-0.002T}$ $R^2 = 0{,}9907$	240 min: $L = 26{,}337^{e-0.001T}$ $R^2 = 0{,}9912$

Figura 12. Curvas dos blocos BL1-II, BL2-II e BL3-II em (a) 30, (b) 60, (c) 90, (d) 120, (e) 180 e (f) 240 minutos.

A partir destas curvas foi possível determinar a espessura relacionada ao TIT desejado em uma parede de vedação, apresentado na Tabela 6.

Tabela 6. Determinação do TIT a partir da espessura de um bloco.

Espessura mínima para um TRF						
TRF (min)	30	60	90	120	180	240
Espesor (cm)	11,5	11,5	14	19	19	-

A Tabela 6 apresenta espessuras mínimas de paredes, que condizem o Eurocode 6 (EN 1996-1-2, 2005), reforçando a validação dos parâmetros utilizados. Observando os dados gerados a partir da análise da influência da espessura de um bloco é possível aferir que este fator tem boa influência para TITs mais baixos. Porém, a partir dos 90 minutos, este parâmetro tende a apresentar menor taxa de incremento de TIT.

5. CONCLUSÕES

Neste trabalho foi analisado o isolamento dos blocos cerâmicos utilizados para alvenaria estrutural, através do método de elementos finitos com a utilização do programa *Ansys Mechanical*. Os blocos ensaiados via *software* foram moldados em uma configuração sem revestimento e com juntas de argamassa de 1 cm, variando apenas a espessura e quantidade de alvéolos em cada simulação.
As análises computacionais levaram a resultados que apontam um limite para eficiência do aumento de espessura de uma parede para se atingir TRFs elevados em relação ao isolamento térmico. Também foi possível demonstrar ganho de isolamento térmico quando aumentado o número de alvéolos dentro de um bloco. Assim, foi possível constatar a importância dos processos de convecção e irradiação térmica no quesito segurança contra incêndio, que se mostram mais relevantes que a condução térmica do material em questão.
Quando realizada uma análise somente das espessuras dos blocos, os resultados convergem com a tabela de projeto do Eurocode 6 (EN 1996-1-2, 2005). Quando a quantidade de alvéolos é levada em consideração, o ganho potencial de resistência térmica sem variar a espessura de um bloco vai ao encontro dos conceitos de conforto térmico que são apresentados na NBR 15220. Tal fato reforça a relevância de se utilizar deste conceito na elaboração de uma norma brasileira de projeto de alvenarias estruturais em situação de incêndio.

6. REFERÊNCIAS

Associação Brasileira de Normas Técnicas (1989). *ABNT NBR 10636: Paredes divisórias sem função estrutural - Determinação da resistência ao fogo - Método de ensaio.* Rio de Janeiro.
Associação Brasileira de Normas Técnicas (2001). *ABNT NBR 5628: Componentes construtivos estruturais - Determinação da resistência ao fogo.* Rio de Janeiro.
Associação Brasileira de Normas Técnicas (2013). *ABNT NBR 15575: edificações habitacionais: desempenho.* Rio de Janeiro.
Associação Brasileira de Normas Técnicas (2003). *ABNT NBR 15220: Desempenho térmico de edificações.* Rio de Janeiro.
Bai, G. et al. (2017). *Study on the Thermal Properties of Hollow Shale Blocks as Self-Insulating Wall Materials.* Advances in Materials Science and Engineering, v. 2017, p. 12.
Ehrenbring, H. Z., Quinino, U., Oliveira, L. S., Tutikian, B. F. (2019), *Experimental method for investigating the impact of the addition of polymer fibers on drying shrinkage and cracking of concrete.* Struct. Concr. 20, 1064–1075. doi:10.1002/suco.201800228.
European Commitee Standardization (2005). *Eurocode 6: Design of masonry structures: Part 1-2: General rules – Structural fire design.* Brussels.
Gil, A., Pacheco, F., Christ, R., Bolina, F. L., Khayat, K. H., Tutikian, B. F. (2017), *Comparative study of concrete panels' fire resistance.* Aci Mater. J. 114, 755–762.
International Organization for Standardization (2014). *ISO 834-11: Fire resistance tests - Elements of building construction - Part 11: Specific requirements for the assessment of fire protection to structural steel elements. Switzerland.*
Lee, L. S. H., Jim, C. Y. (2017). *Subtropical summer thermal effects of wirerope climber green walls with different air-gap depths.* Building and Environment, v. 126, p. 1–12.

Marcatti, J., Coelho Filho, H. S., Berquó Filho, J. E. (2008), *Compartimentação e afastamento entre edificações.* In: SEITO, A. I. et al (Coord.). A segurança contra incêndio no Brasil. São Paulo: Projeto Editora.

Nguyen, T. D. *et al*. (2009), *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.

Nguyen, T. D., Meftah, F. (2012), *Behavior of clay hollow-brick masonry walls during fire. Part 1: Experimental analysis.* Fire Safety Journal, v. 52, p. 55–64.

Pacheco, F., Souza, R., Christ, R., Rocha, C., Silva, L., Tutikian, B. F. (2018), *Determination of volume and distribution of pores of concretes according to different exposure classes through 3D microtomography and mercury intrusion porosimetry.* Struct. Conc. 19, 1419–1427. doi:10.1002/suco.201800075.

Rigão, A. O. (2012), *Comportamento de pequenas paredes de alvenaria estrutural frente a altas temperaturas.* 142 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

Zsembery, S., Lawrence, S. (2013), *Manual 2 - The Properties of Clay Masonry*. Think Brick. Austrália.