

Thermal simulation of prisms with concrete blocks in a fire situation

Simulação térmica de prismas com blocos de concreto em situação de incêndio



F. S. RODOVALHO ^a
francielle_rodvalho@hotmail.com
<https://orcid.org/0000-0003-1079-7060>

M. R. S. CORRÊA ^a
marcio.correa@usp.br
<https://orcid.org/0000-0003-3224-5945>

Abstract

The purpose of the current study is to verify the thermal insulation capacity of concrete block masonry in a fire situation through the thermal simulation of prisms. Initially, a prism with mortar coating on the face exposed to fire was numerically simulated and compared to experimental results provided by a company in order to validate the block thermal properties. To represent air in the block cavities, fluid-structure interaction was used in ABAQUS software. The uncoated and mortar-coated prisms on both sides were analyzed in a fire situation. The thermal insulation of the uncoated prism was maintained for more than 60 minutes and with the application of coating on both faces there was an increase of 59% of this time. The thermal fields were generated, thus leading to future thermomechanical analysis.

Keywords: concrete blocks, structural masonry, high temperatures, thermal insulation, numerical analysis.

Resumo

O presente trabalho tem como objetivo verificar a capacidade de isolamento térmico de alvenarias constituídas por blocos de concreto em situação de incêndio por meio da simulação térmica de prismas. Inicialmente, para a validação das propriedades térmicas do bloco com um experimento fornecido por uma empresa, foi simulado um prisma com revestimento em argamassa na face exposta ao incêndio. Para representar o ar presente nas cavidades dos blocos foi utilizada a interação fluido-estrutura no software ABAQUS. Verificaram-se os casos de prisma sem revestimento e com revestimento em argamassa nas duas faces, em situação de incêndio. O isolamento térmico do prisma sem revestimento foi mantido por mais de 60 minutos e com a aplicação de revestimento nas duas faces do prisma ocorreu um aumento de 59% em relação a esse tempo. Os campos térmicos foram gerados possibilitando futuras análises termomecânicas.

Palavras-chave: blocos de concreto, alvenaria estrutural, elevadas temperaturas, isolamento térmico, análise numérica.

^a Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, Departamento de Engenharia de Estruturas, São Carlos, SP, Brasil.

1. Introdução

A alvenaria estrutural é um sistema construtivo muito antigo que vem sendo utilizado em larga escala no Brasil. Segundo a ABCP [1] a economia de tempo na execução da obra, redução no volume de resíduos gerados, avanços tecnológicos e custo competitivo têm feito da alvenaria estrutural com blocos de concreto um dos sistemas construtivos mais utilizados no país. Entretanto, pouco se sabe sobre seu comportamento sob efeito de elevadas temperaturas.

O incêndio ocorrido neste ano de 2018 na madrugada de 1º de maio em um edifício em São Paulo, seguido do seu desabamento, reforça a necessidade de estudos sobre o comportamento dos sistemas construtivos submetidos a essa ação excepcional.

O Brasil ainda não possui métodos normatizados de dimensionamento de alvenaria estrutural em situação de incêndio. Conforme Leite *et. al* [2] existem variações nas composições mineralógicas das rochas que são utilizadas como agregados e, por isso, cada país possui especificações de espessura, geometria e resistência a serem seguidas pelas indústrias de blocos. Esses fatores restringem o uso e exigem um enorme esforço para a adaptação de normas internacionais.

A resistência ao fogo de uma estrutura está relacionada ao tempo em que ela é capaz de suportar as ações para as quais foi projetada, quando exposta ao incêndio. Os três principais critérios de resistência ao fogo definidos pelo Eurocode 6 Parte 1-2:2005 [3] são:

- Isolamento térmico (I), o qual é considerado atendido quando em qualquer ponto da superfície não exposta ao fogo, a variação de temperatura não exceda 180 °C e a variação de temperatura média nesta mesma superfície não exceda 140 °C;
- Resistência mecânica (R), o qual é satisfeito quando a função de suporte de carga é mantida na exposição ao fogo durante um determinado intervalo de tempo;
- Estanqueidade (E), quando não ocorrem rachaduras ou aberturas que permitam a passagem de chamas e gases através do elemento.

Nahas *et. al* [4] avaliaram experimentalmente e através de modelagem térmica a resistência ao fogo de uma parede com dimensões de 2,80 x 2,82 (m) e espessura de 19,7 cm constituída por blocos celulares de concreto. Na extremidade superior da parede foi aplicada uma carga vertical de 357 kN (13 ton./m) distribuída por uma viga e uma face da parede foi exposta ao fogo, com elevação de temperatura conforme a curva ISO 834-1:1999 [5]. Os autores aferiram a elevação de temperatura, o deslocamento vertical e lateral em diferentes pontos. O ensaio durou cerca de seis horas, entretanto, Nahas *et. al* [4] não especificaram os critérios de resistência utilizados ou se ocorreu a ruína da parede. No modelo teórico para a transferência de calor foram consideradas a condução, a convecção, e a radiação. Os autores concluíram que esse modelo gerou resultados razoáveis, comparadas às elevações de temperatura medidas experimentalmente.

Ayala [6] avaliou experimentalmente o comportamento de pequenas paredes com dimensões de 67,0 x 68,5 (cm) e espessura de 10 cm, constituídas por três fiadas de blocos e meio-blocos maciços de concreto leve em elevadas temperaturas. As amostras foram aquecidas até as temperaturas de 200, 400, 600, 700 e 800 °C, com taxa de elevação de temperatura de 10 °C/min, e então submetidas

à compressão com incrementos de força até que fosse alcançada a ruptura. O autor concluiu que as temperaturas de 400, 600, 700 e 800 °C provocaram redução de 9, 19, 60 e 83% respectivamente, da resistência à compressão das pequenas paredes.

Algumas pesquisas nacionais foram realizadas sobre a alvenaria constituída por blocos cerâmicos em situação de incêndio. Rosemann [7] analisou experimental e numericamente o comportamento de paredes não carregadas em situação de incêndio, sujeitas à elevação de temperatura proposta pela curva ISO 834-1:1999 [5], quanto ao critério de isolamento térmico. Foram verificadas quatro situações, variadas com e sem a aplicação de revestimento em argamassa e com e sem o emprego de preenchimento das principais cavidades do bloco cerâmico com areia. O autor concluiu que o emprego de revestimento e preenchimento elevou em 280% a capacidade de isolamento térmico da alvenaria, que inicialmente era de 106 minutos.

Rigão [8] avaliou experimentalmente o comportamento de pequenas paredes de alvenaria estrutural com dimensões de 89 x 100 (cm) e espessura de 14 cm, constituídas por blocos cerâmicos, carregadas e em situação de incêndio. Foram inicialmente verificadas as resistências residuais da argamassa e de prismas. O autor constatou que após serem submetidos à temperatura de 900 °C a argamassa não apresentava nenhuma resistência e os prismas possuíam aproximadamente 50% de suas resistências iniciais. Nas pequenas paredes ocorreram incrementos de carga devidos à restrição vertical e dilatação dos materiais. Elas se mantiveram estanques após o incêndio, entretanto, como a elevação de temperatura não seguiu a curva padrão, não foi possível comparar os resultados com normas de segurança contra incêndio.

Sobre a alvenaria constituída por blocos de concreto já foram feitos alguns ensaios. Em Bloco Brasil [9] são apresentados resultados finais de dois ensaios de resistência ao fogo de alvenarias constituídas por blocos de concreto com mesmas dimensões nominais, sendo uma sem carregamento com blocos de classe C e outra carregada constituída por blocos de classe B. O critério de isolamento térmico falhou em tempos similares para as duas paredes. Conforme a ABNT NBR 6136:2016 [10] a espessura média das paredes de blocos de classe C é um pouco inferior àqueles pertencentes às classes A e B. Segundo Bloco Brasil [9], tal diferença de espessuras das paredes dos blocos não exerceu grande influência no critério de isolamento térmico.

Através de prismas é possível simular os campos térmicos desenvolvidos em paredes, uma vez que o fluxo térmico ocorre transversalmente aos elementos. Além disso, por meio de simulações termomecânicas é possível representar a perda de resistência dos materiais ocorrida devido à deterioração térmica. A vantagem da utilização de prismas é a sua representatividade, por ser constituído por blocos e junta de argamassa, e pequenas dimensões o que favorece a simulação numérica que, especialmente no caso de análise térmica, exige uma intensa discretização do modelo com elevado esforço computacional.

Assim, o objetivo deste trabalho consiste em analisar a capacidade de isolamento térmico de alvenarias constituídas por blocos de concreto por meio da simulação térmica de prismas no *software* ABAQUS/CAE na versão 6.14. Foram simulados os campos térmicos desenvolvidos nos prismas, para posteriormente verificar suas resistências mecânicas por meio de simulações termomecânicas, em outro trabalho.



Figura 1
Malha utilizada no prisma com revestimento em uma face

As propriedades térmicas do bloco e da argamassa foram validadas comparando-se a elevação de temperatura média na face exposta ao ambiente obtida numericamente, com o resultado de um experimento de alvenaria com revestimento em argamassa na face exposta ao incêndio. Foram verificados também os casos de prisma sem revestimento e com revestimento em argamassa nas duas faces.

2. Características das simulações térmicas

A parede do ensaio de resistência ao fogo fornecido pela empresa, disponível em Oliveira e Berto [11] foi construída com blocos vazados de concreto, caracterizados com classe de resistência C e dimensões nominais de 14 x 19 x 39 (cm). Os blocos foram fabricados utilizando pó de pedra e pedrisco do tipo granito e cimento CP V-ARI. Foi aplicado revestimento em argamassa em apenas uma face com espessura de 1,5 cm e juntas horizontais e verticais com espessuras de 1 cm. A argamassa utilizada foi do

tipo industrializada, ensacada da marca Votomassa. A parede ficou em ambiente fechado durante o período de 30 dias, protegida de ventos e chuva.

Então, com o intuito de validar as propriedades térmicas utilizadas no bloco, modelou-se o prisma de dois blocos com argamassamento total, com as mesmas condições empregadas no experimento. As dimensões das paredes do bloco foram estimadas de modo que a média de área superior e inferior resultasse o mais próximo do valor de área líquida de 297,95 cm² medida por Oliveira [12]. Em cada bloco de concreto foram utilizados 6080 elementos sólidos, na junta de argamassa 320 e no revestimento 3042, todos pertencentes à família “transferência de calor” do tipo DC3D8 e lados de dimensões aproximadas de 1 cm. A malha utilizada na simulação está ilustrada na Figura 1.

A temperatura ambiente no instante de execução do ensaio era de 17 °C. Essa temperatura foi aplicada ao prisma por meio de um passo inicial. Considerou-se como mecanismos de transferência de calor entre as chamas e o prisma, e do prisma para o ambiente, a convecção e a radiação. Na face exposta ao incêndio, foi aplicada a elevação de temperatura do forno, apresentada no relatório do experimento, a qual ficou bem próxima da curva ISO 834-1:1999 [5]. Os coeficientes de convecção utilizados nas modelagens foram os indicados no Eurocode 1 Parte 1-2:2002 [13] para a face exposta ao ambiente e para face exposta a curva padrão de incêndio. A emissividade utilizada em ambas as faces foi a indicada para o concreto no Eurocode 2 Parte 1-2:2004 [14]. Optou-se por utilizar o mesmo valor de emissividade para as faces exposta e não exposta ao fogo, assim como fizeram Rosemann [7] e Nguyen *et. al* [15] em suas simulações. Para representar o ar presente nas cavidades utilizou-se da interação fluido-estrutura, em que a transferência de calor ocorre por meio da condução e da convecção. Na Figura 2 está representado o esquema da simulação térmica. O teor de umidade do material exerce influência nos valores de calor específico. Conforme Oliveira e Berto [11] o teor de umidade da parede foi verificado por meio de um prisma representativo obtendo-se o resultado de 2% em massa. Assim, realizou-se uma interpolação com os valores de calor específico da Figura 3 obtendo-se 1664 J/(kg.K) para o pico referente à umidade de 2%. Utilizou-se para a massa específica do bloco de concreto o valor de 2187 kg/m³ calculada com dados contidos em Oliveira [12]. Segundo Andrade [16] o concreto contendo agregado do tipo granito possui condutividade térmica de 3,10 W/(m.K) para a temperatura média de 40 °C. Conforme Chichierchio [17] a condutividade térmica de um bloco de classe A, em temperatura ambiente com mesmas

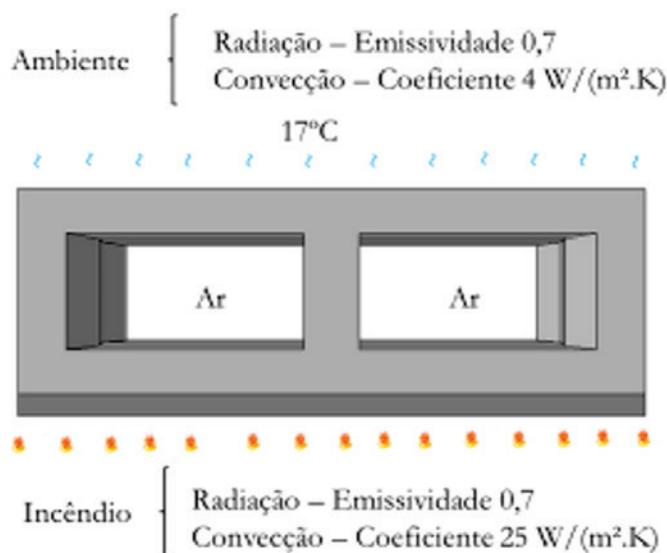


Figura 2
Esquema da modelagem térmica do prisma com revestimento em uma face

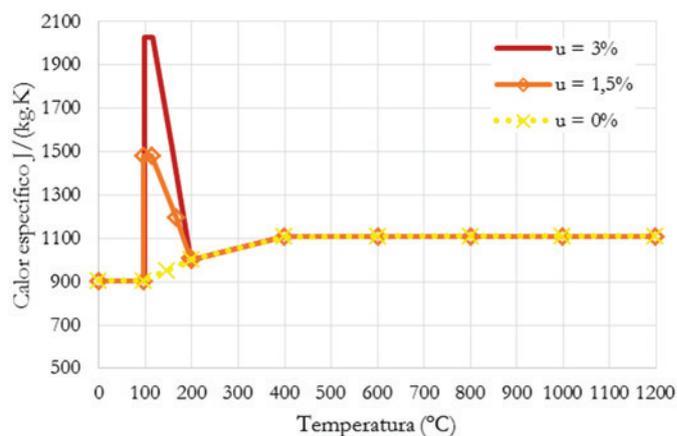


Figura 3
Variação do calor específico do concreto conforme o teor de umidade

Fonte: Eurocode 2 Parte 1-2:2004 [14]

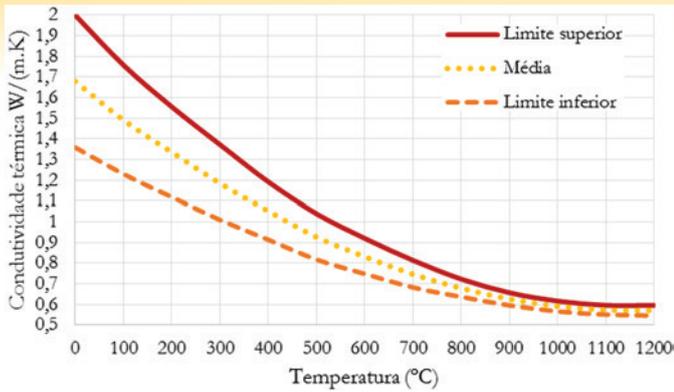


Figure 4
Variação da condutividade térmica do concreto conforme a elevação de temperatura

Fonte: adaptado de Eurocode 2 Parte 1-2:2004 [14]

dimensões nominais e massa específica de 2150 kg/m^3 é de $1,69 \text{ W/(m.}^\circ\text{C)}$. O Eurocode 2 Parte 1-2:2004 [14] apresenta os limites superior e inferior de variação da condutividade térmica de acordo com a elevação de temperatura para o concreto. Calculou-se a média desses valores, obtendo-se a condutividade inicial de $1,68 \text{ W/(m.K)}$, bem próximo do valor proposto em Chichierchio [17]. Assim, optou-se por utilizar a curva média de condutividade térmica apresentada na Figura 4 na simulação térmica.

A massa específica da argamassa foi calculada a partir do traço em massa disponível em Oliveira [12], obtendo-se o valor de 2180 kg/m^3 . As propriedades térmicas da argamassa necessárias à modelagem, como calor específico e condutividade térmica, foram adotadas conforme disponível em Rodovalho, Simões e Corrêa [18].

Na massa de ar, interna às cavidades, também foi aplicada a temperatura inicial de $17 \text{ }^\circ\text{C}$ e utilizou-se o total de 9360 elementos sólidos da família “fluido” do tipo FC3D8, com lados de dimensões aproximadas de 1 cm . Na Figura 5 é apresentada a malha utilizada na massa de ar.

Em Donoso [19] é apresentada a condutividade térmica do ar variando entre aproximadamente $0,014$ e $0,024 \text{ W/(m.K)}$, conforme a temperatura. Com a interação fluido-estrutura, não foi representada a radiação nas cavidades. Então, para compensar tal fato, foram feitas tentativas elevando-se os valores de condutividade térmica da



Figura 5
Malha utilizada na massa de ar

Tabela 1
Propriedades térmicas do ar utilizadas na simulação

Temperatura T ($^\circ\text{C}$)	Condutividade térmica W/(m.K)	Calor específico J/(kg.K)
17	0,100	1012
60	0,130	1017
80	0,160	1019
100	0,200	1022
200	0,250	1035
300	0,275	1047
400	0,290	1059
500	0,300	1076
1000	0,300	1139
1500	0,300	1139

Fonte: adaptado de Abbott e Van Ness [20]

massa de ar com o intuito de se obter um ajuste adequado entre as elevações de temperatura numérica e experimental. A variação de calor específico do ar utilizada na modelagem foi a indicada em Abbott e Van Ness [20], adotando-se os valores de $1,22 \text{ kg/m}^3$ de massa específica e viscosidade de $1,82 \times 10^{-5} \text{ kg/(m.s)}$. Na Tabela 1 são apresentados os valores de condutividade térmica, já ajustados, e calor específico empregados para o ar na presente simulação.

2.1 Prisma sem revestimento em argamassa

Após se considerarem validadas as propriedades dos materiais utilizados no prisma revestido, que será mostrado no item 3.1, simulou-se o comportamento térmico do prisma sem revestimento com propriedades iguais ao primeiro, aplicando-se a curva de elevação de temperatura ISO 834-1:1999 [5] para o incêndio e temperatura ambiente de $20 \text{ }^\circ\text{C}$. O processamento foi feito durante cinco horas de incêndio.

Com o intuito de reduzir o tempo de processamento, utilizou-se o plano de simetria comum às análises de compressão e incêndio, uma vez que para a simulação termomecânica é necessária a inserção dos campos térmicos obtidos na simulação de incêndio. Mantiveram-se as propriedades e a malha empregada na simulação anterior com exceção do revestimento, e com a utilização da simetria reduziu-se pela metade o número de elementos. O plano de simetria está ilustrado na Figura 6.

2.2 Prisma com revestimento em argamassa nas duas faces

Na alvenaria estrutural é comum que se tenha revestimento em ambas as faces da parede. Assim, optou-se por incluir tal simulação. O revestimento foi feito com espessura de $1,5 \text{ cm}$ e as propriedades térmicas do bloco, argamassa e massa de ar foram mantidas

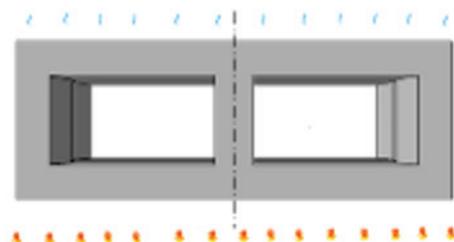


Figura 6
Plano de simetria

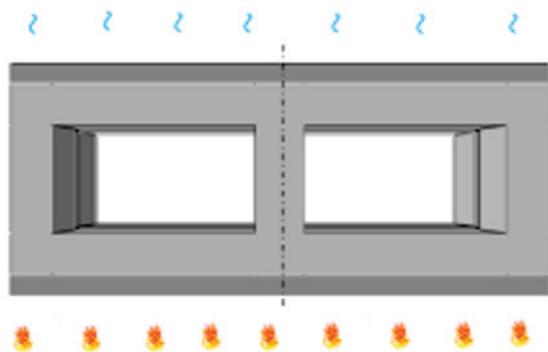


Figura 7
Esquema do prisma com revestimento nas duas faces

as mesmas das simulações anteriores. Para este caso também foi considerada a simetria.

Conforme feito anteriormente, considerou-se a temperatura ambiente de 20 °C e elevação de temperatura conforme a curva ISO 834-1:1999 [5] para o incêndio. O esquema da modelagem térmica do prisma com revestimento em argamassa nas duas faces está presente na Figura 7.

3. Resultados e discussões

3.1 Validação da simulação térmica do prisma com revestimento na face exposta ao fogo

A validação da modelagem térmica foi feita comparando-se a elevação média de temperatura na face não exposta ao incêndio

experimental com os resultados de elevação média de temperatura numérica da mesma face. No ensaio de resistência ao fogo não foram feitas leituras de temperatura na região interna da parede. Foram acoplados termopares em 11 pontos diferentes da face não exposta ao fogo e calculou-se a elevação de temperatura média com 5 pontos.

Durante o ensaio, não ocorreu o desprendimento do revestimento em argamassa. A elevação de temperatura média limite do critério de isolamento térmico foi atingida em 104 minutos, possuindo então grau corta-fogo de 90 minutos (CF90), uma vez que o corpo de prova se manteve estanque e estável durante 120 minutos e que o grau corta-fogo é definido em intervalos de 30 minutos, para valores entre 60 e 120 minutos, conforme a ABNT NBR 10636:1989 [21].

A elevação de temperatura média numérica da face não exposta ao fogo foi calculada com valores medidos no bloco e na argamassa, projetados no centro e na cavidade do prisma. As elevações de temperatura média numérica e experimental são apresentadas na Figura 8.

Nota-se que inicialmente, na elevação de temperatura experimental na face não exposta ao fogo, existe um patamar que não pôde ser observado no resultado numérico, mesmo com o pico de calor específico para a temperatura de 100 °C conforme o teor de umidade de 2%, o qual deve representar o calor latente de vaporização, e ajustes na condutividade térmica do ar. Entretanto, após aproximadamente 35 minutos de incêndio, os resultados começam a convergir. A variação de temperatura média limite do critério de isolamento térmico foi atingida por meio da simulação numérica em 106 minutos, diferindo em apenas 2% do resultado experimental.

Foram feitas aferições de temperatura em diversos pontos do prisma na simulação térmica, sendo esses posicionados no bloco e na junta de argamassa, na projeção da cavidade e centro e diferentes espessuras. A nomeação dos pontos segue as dimensões aproximadas da lateral do bloco em

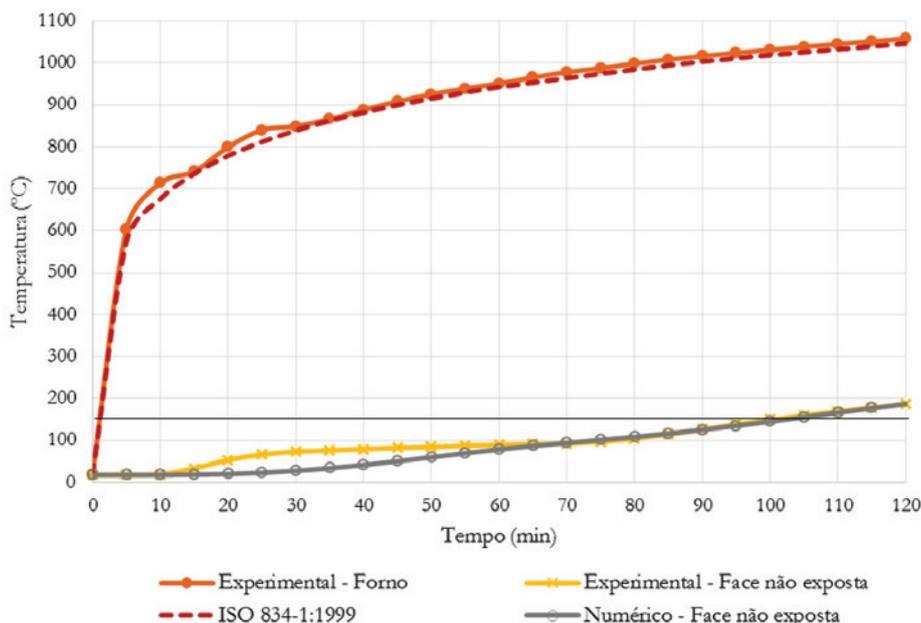


Figura 8
Elevações de temperatura numérica e experimental

centímetros, sendo D0 a face mais próxima do incêndio e D14 a face exposta ao ambiente. A variação de temperatura desses diferentes pontos é apresentada na Figura 9. A variação de temperatura média para a verificação do critério de

isolamento térmico foi calculada através dos quatro últimos pontos. Os campos térmicos desenvolvidos no prisma com revestimento em uma face e na massa de ar estão presentes na Figura 10, em intervalos de 30 minutos.

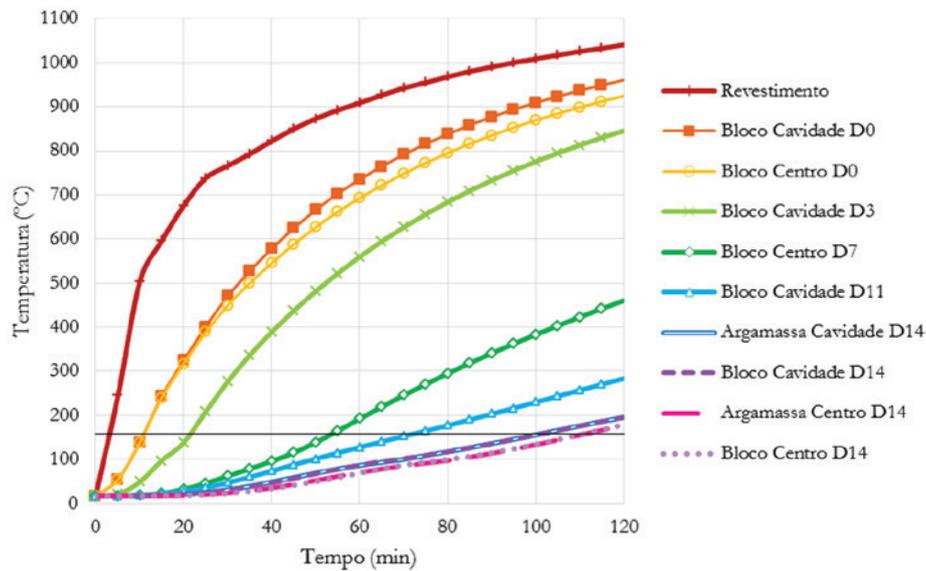


Figura 9
Variação de temperatura em diversos pontos do prisma com revestimento em uma face

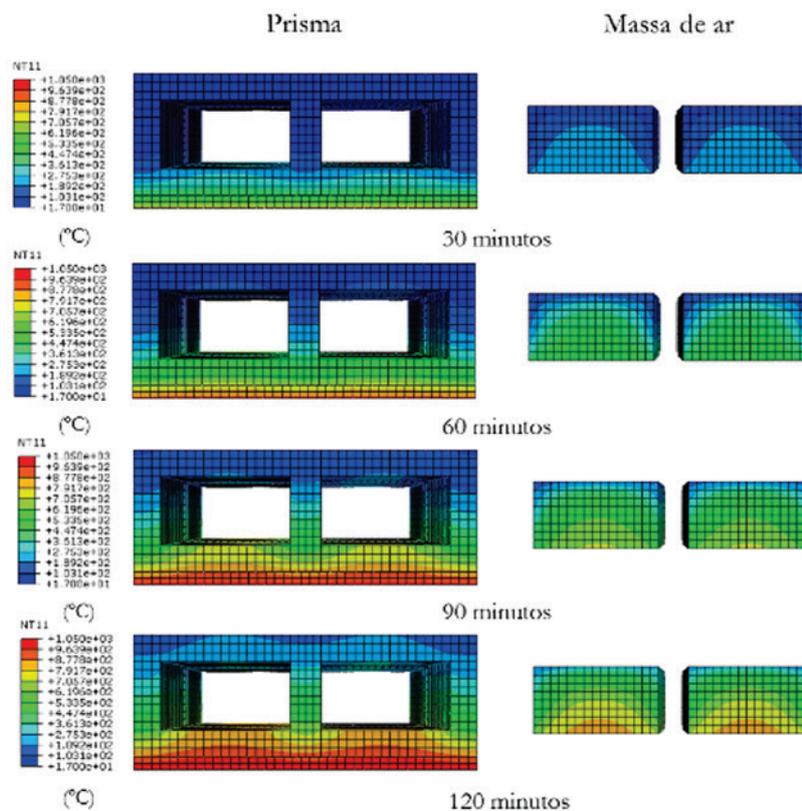


Figura 10
Campos térmicos desenvolvidos no prisma com revestimento em uma face e na massa de ar

3.2 Prisma sem revestimento em argamassa

No presente caso, a variação média de temperatura limite do critério de isolamento térmico foi atingida numericamente em 86 minutos para o prisma sem revestimento. Conforme a Instrução Técnica nº 08:2011 [22] uma parede sem revestimento construída com blocos com mesmas dimensões nominais possui isolamento térmico de 90 minutos, diferindo em apenas 4% do resultado obtido na simulação térmica. Entretanto, a capacidade de isolamento térmico de 86 minutos equivale ao grau corta-fogo CF60, desconsiderando-se os outros critérios. Conforme Chichierchio [17] uma parede com função portante, nas mesmas condições do prisma e constituída por blocos da empresa Tecprem, possui o mesmo grau corta-fogo. Na Figura 11 está disposta a elevação de temperatura

em diversos pontos do prisma sem revestimento, nomeados da mesma forma que no prisma com revestimento em apenas uma face.

Na Figura 12 são apresentados os campos térmicos desenvolvidos no prisma sem revestimento e na massa de ar.

3.3 Prisma com revestimento em argamassa nas duas faces

Com o emprego de revestimento em argamassa nas duas faces, a elevação média de temperatura limite do critério de isolamento térmico foi atingida em 137 minutos na face exposta ao ambiente. Esse tempo equivale ao grau corta-fogo CF120, desconsiderando-se os outros critérios. A elevação de temperatura em diversos pontos do prisma nomeados

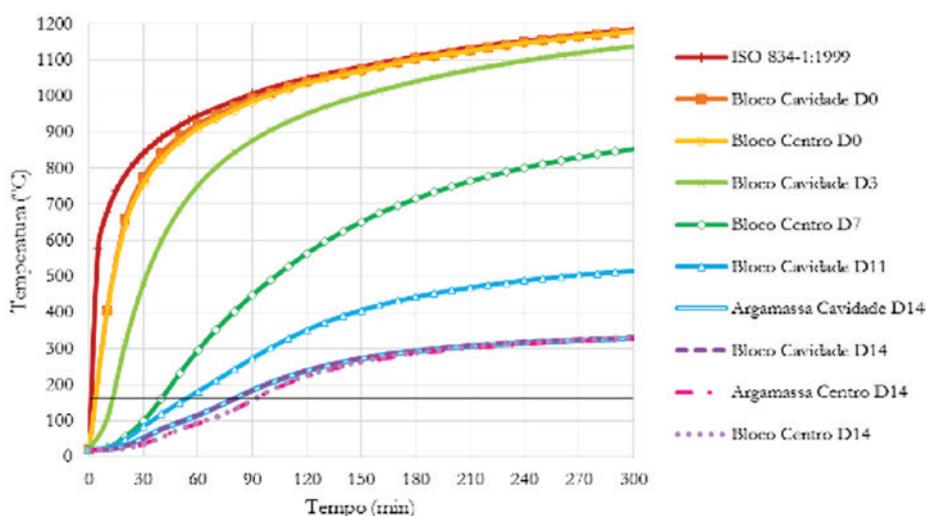


Figura 11
Variação de temperatura em diversos pontos do prisma sem revestimento

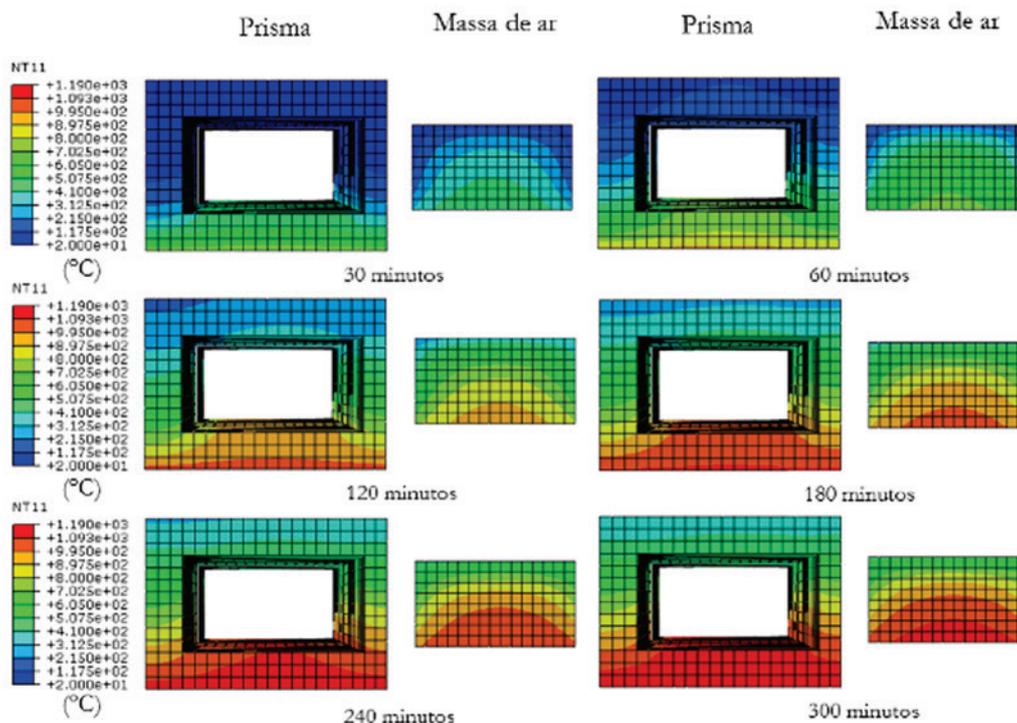


Figura 12
Campos térmicos desenvolvidos no prisma sem revestimento e na massa de ar

conforme feito anteriormente estão presentes na Figura 13. Os campos térmicos desenvolvidos no prisma com revestimento nas duas faces e na massa de ar estão ilustrados na Figura 14.

4. Conclusões

Por meio das simulações térmicas, foi possível representar adequadamente a evolução de temperatura das faces não expostas

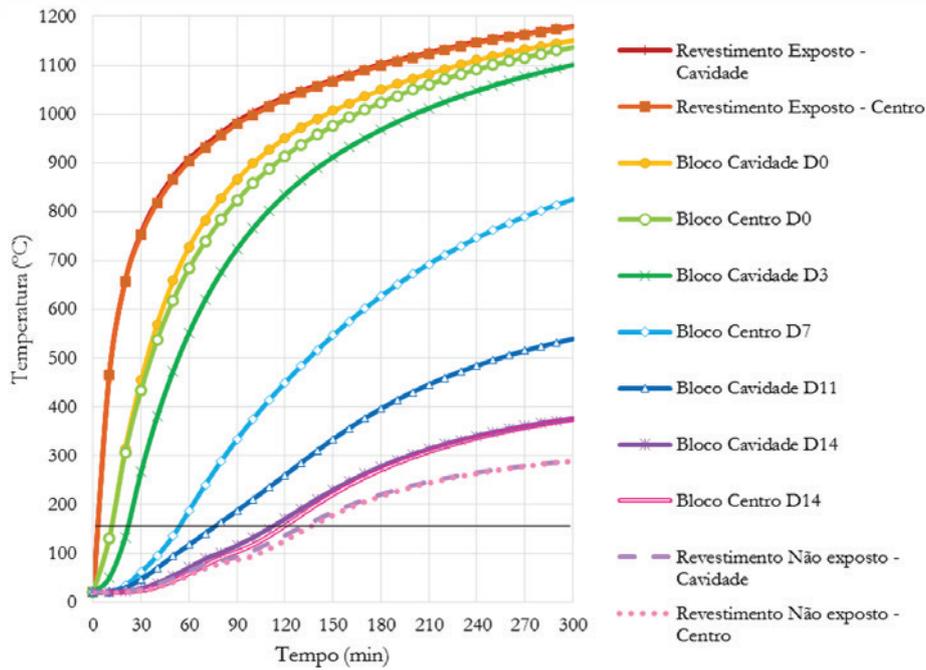


Figura 13
Variação de temperatura em diversos pontos do prisma com revestimento nas duas faces

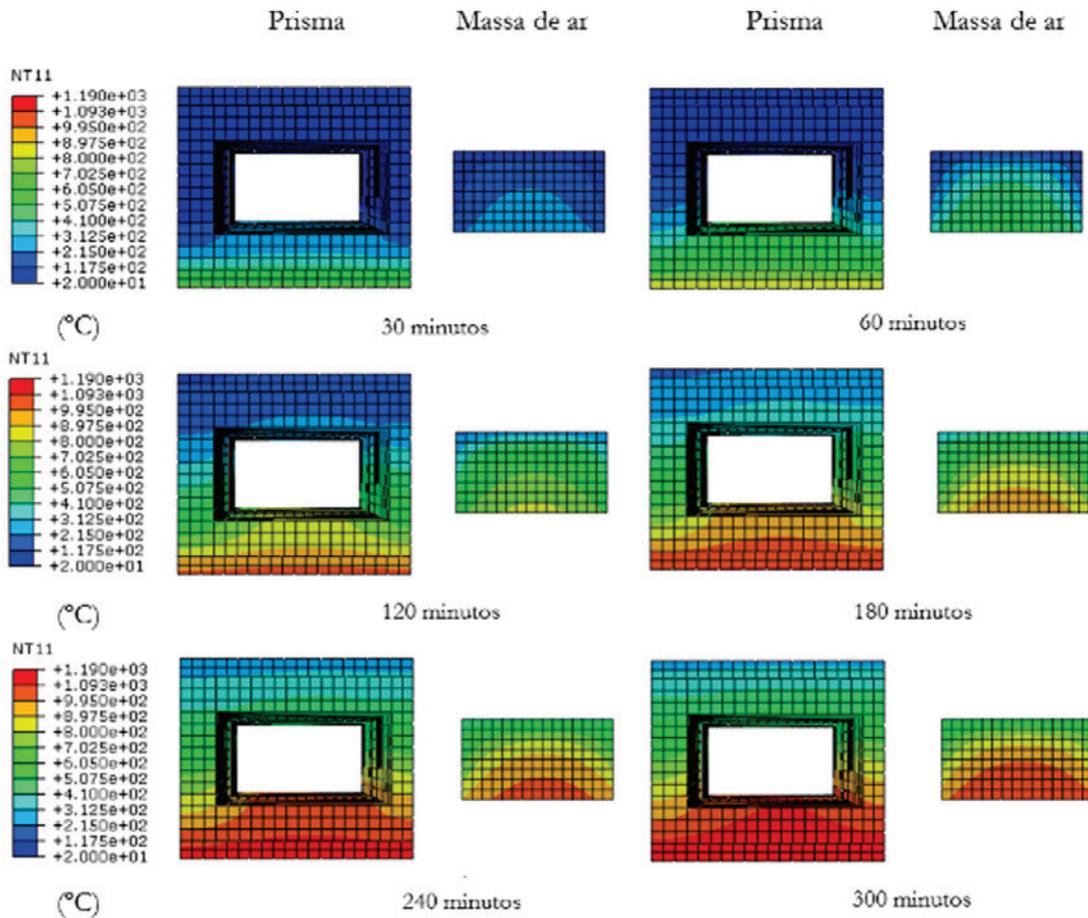


Figura 14
Campos térmicos desenvolvidos no prisma com revestimento nas duas faces e na massa de ar

ao fogo, mesmo sem dados experimentais específicos da variação das propriedades térmicas do bloco de concreto brasileiro, utilizando-se as propriedades indicadas para o concreto disponíveis no Eurocode 2 Parte 1-2:2004 [14].

As modelagens foram validadas com um experimento fornecido por uma empresa, com uma parede constituída por blocos de classe C disponível em Oliveira e Berto [11] e com um resultado de grau corta-fogo apresentado em Chichierchio [17] para a alvenaria constituída por blocos de classe A. Espera-se que os campos térmicos desenvolvidos em blocos de ambas as classes e com mesmas dimensões nominais sejam similares, pois foram utilizadas as mesmas propriedades e dimensões para ambas as simulações.

O isolamento térmico teórico do prisma sem revestimento foi mantido por mais de 60 minutos. Assim, o bloco de concreto com as características especificadas no presente trabalho resistiu razoavelmente bem a esse critério.

Observou-se o grande efeito favorável ao isolamento térmico quando se tem a aplicação de revestimento em argamassa com espessura de 1,5 cm. Com a aplicação de revestimento apenas na face exposta ao incêndio, como no caso do experimento, obteve-se numericamente um aumento de aproximadamente 23% no tempo de isolamento térmico em relação ao prisma sem revestimento. No caso de revestimento nas duas faces o aumento teórico previsto foi de 59%.

O maior tempo requerido de resistência ao fogo exigido pela ABNT NBR 14432:2001 [23] é de 120 minutos. Contudo que não ocorra o desprendimento do revestimento em argamassa na face exposta ao fogo, como não ocorreu no ensaio disponível em Oliveira e Berto [11], o prisma com revestimento nas duas faces teoricamente atenderia a esse tempo com o critério de isolamento térmico.

Entretanto, segundo a Instrução Técnica nº 08:2011 [22] o maior tempo requerido de resistência ao fogo é de 180 minutos para edificações com altura superior a 120 m dependendo de seus tipos de ocupação. Conforme essa referência, uma parede constituída por blocos de concreto com as mesmas dimensões nominais e revestimento em argamassa em ambas as faces com 1,5 cm de espessura possui isolamento térmico de duas horas, confirmando o adequado ajuste da simulação.

5. Agradecimentos

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico pela bolsa concedida e à empresa Glasser por disponibilizar os resultados do ensaio de resistência ao fogo da alvenaria.

6. Referências bibliográficas

- [1] ABCP – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. Brasil é referência mundial em alvenaria estrutural. 2018. Available at: < <http://www.abcp.org.br/cms/imprensa/banco-de-pautas/brasil-e-referencia-mundial-em-alvenaria-estrutural/> Accessed on: 31 May, 18.
- [2] LEITE, H.A.L.; MORENO JÚNIOR, A.L.; TORRES, D. L. Dimensionamento da alvenaria estrutural em situação de incêndio: Contribuição à futura normatização nacional. Ambiente Construído, Vol. 16, No. 2, pp. 89-107, Porto Alegre, 2016.
- [3] EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. Eurocode 6: EN 1996-1.2: design of masonry structures: Part 1-2: general rules: structural fire design. Brussels, 2005.
- [4] NAHHAS, F. AL; AMI SAADA, R.; BONNET, G.; DELMOTTE, P. Resistance to fire of walls constituted by hollow blocks: Experiments and thermal modeling. Science Direct. Applied Thermal Engineering 27, p.258–267, 2007.
- [5] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 834: Fire resistance tests - elements of building construction: Part 1. General requirements. Gêneve, 1999.
- [6] AYALA, F. R. R. Mechanical properties and structural behaviour of masonry at elevated temperatures. Thesis – The University of Manchester. School of Mechanical, Aerospace and Civil Engineering. 294 p. 2010.
- [7] ROSEMANN, F. Resistência ao fogo de paredes de alvenaria estrutural de blocos cerâmicos pelo critério de isolamento térmico. 2011. 160 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2011.
- [8] RIGÃO, A. O. Comportamento de Pequenas Paredes de Alvenaria Estrutural Frente a Altas Temperaturas. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Santa Maria, São Maria, 2012, 142 p.
- [9] BLOCO BRASIL - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE BLOCOS DE CONCRETO. Manual de Desempenho – Alvenaria com Blocos de Concreto. 2º Edição – Revisada e Atualizada. ISBN 978-85-87024-82-4. 2016, 38 p.
- [10] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6136: Blocos vazados de concreto simples para alvenaria - Requisitos. Rio de Janeiro, 2016.
- [11] OLIVEIRA, C. R. M.; BERTO, A. F. Determinação da resistência ao fogo em parede sem função estrutural. São Paulo: IPT, 2015. Relatório de ensaio nº 1 072 608-203. 12 p.
- [12] OLIVEIRA, L. M. F. Estudo teórico e experimental do comportamento das interfaces verticais de paredes interconectadas de alvenaria estrutural. Tese (Doutorado em Engenharia de Estruturas) Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2014, 272 p.
- [13] EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. Eurocode 1: EN 1991-1.2: Actions on structures: Part 1-2: General actions – Actions on structures exposed to fire. Brussels, 2002.
- [14] EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. Eurocode 2: EN 1992-1.2: Design of concrete structures: Part 1-2: General rules – Structural fire design. Brussels, 2004.
- [15] NGUYEN, T. D.; MEFTAH, F.; CHAMMAS, R.; MEBARKI, A. The behaviour of masonry walls subjected to fire: Modelling and parametrical studies in the case of hollow burnt-clay bricks. Fire Safety Journal 44 p. 629-641, 2009.
- [16] ANDRADE, W. P. Concretos: massa, estrutural, projetado e compactado com rolo: ensaios e propriedades. Laboratório de Concreto. São Paulo: Pini, 1997.
- [17] CHICHIERCHIO L. C. Conforto ambiental: desempenho térmico e acústico e proteção contra o fogo. In: Associação Brasileira da Construção Industrializada – ABCI. Manual Técnico de Alvenaria. São Paulo, p. 119-141, 1990.
- [18] RODOVALHO, F. S.; SIMÕES, Y. S.; CORRÊA, M. R. S. Análise térmica de alvenaria estrutural em situação de in-

- cêndio: um estudo do gradiente térmico. XXXVIII Iberian Latin-American Congress on Computational Methods in Engineering, Anais, Florianópolis, SC, 2017, p. 13.
- [19] DONOSO, J. P. Calor, energia e transferência de calor. Universidade de São Paulo, Instituto de Física de São Carlos. 25 p. 2009.
- [20] ABBOTT, M. M.; VAN NESS, H. C. Introdução à Termodinâmica na Engenharia Química. Smith 7ª Edição, 2007.
- [21] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10636: Paredes divisórias sem função estrutural – Determinação da resistência ao fogo - Requisitos. Rio de Janeiro, 1989.
- [22] CORPO DE BOMBEIROS DO ESTADO DE SÃO PAULO. Instrução Técnica nº08/2011. Resistência ao fogo dos elementos de construção.
- [23] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14432: Exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações – Procedimento. Rio de Janeiro, 2001.