ANÁLISE NUMÉRICA DO DESEMPENHO TÉRMICO DE PRISMAS DE ALVENARIA ESTRUTURAL COM BLOCOS DE CONCRETO EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO

FERNANDES NETO, José Anchieta Damasceno (1); CORRÊA, Márcio Roberto Silva (2)

(1) Mestrando em Engenharia de Estruturas, Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP), São Carlos - SP, anchietafernandes@usp.br.

(2) Professor Associado do Departamento de Engenharia de Estruturas, Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP), São Carlos - SP, marcio.correa@usp.br.

Resumo: *Sistemas estruturais em alvenaria são largamente utilizados em todo o país, podendo exercer funções estruturais e de vedação, mas que no âmbito nacional ainda apresentam lacunas quanto aos procedimentos de verificação e dimensionamento de seus elementos em situação de incêndio. Nesse contexto, este trabalho tem como objetivo realizar uma avaliação numérica acerca do desempenho térmico de prismas de alvenaria estrutural formados por blocos de concreto quando submetidos a elevadas temperaturas. Para realização da análise, admitiu-se a elevação de temperatura em uma das faces de um prisma de três blocos com 14cm de espessura e variações quanto à presença de revestimento em argamassa convencional ou preenchimento dos vazios com material isolante. A partir de uma análise numérica transiente foi possível acompanhar o desenvolvimento da elevação de temperatura nos elementos estruturais, os principais mecanismos de transferência de calor e o atendimento quanto ao critério de isolamento térmico proposto pelo Eurocode 6 Part 1.2 (2005). Verificou-se uma significativa contribuição dos revestimentos e materiais isolantes, favorecendo o aumento do tempo de isolamento térmico, assim como a pouca influência da junta de argamassamento na resistência a esse critério.*

Palavras-chave: *Alvenaria estrutural. Prismas. Blocos de concreto. Isolamento térmico. Incêndio.*

Área do Conhecimento: *Engenharia Civil – Estruturas*, *Qualidade e desempenho de produtos e sistemas construtivos.*

1 INTRODUÇÃO

O comportamento dos prismas de alvenaria estrutural tem-se mostrado importante para a determinação de parâmetros gerais relacionados diretamente com os de outros elementos do sistema estrutural que, por meios experimentais ou numéricos, seriam obtidos de maneira dispendiosa e com maior exigência de tempo, como por exemplo, a determinação da resistência à compressão de paredes de alvenaria estrutural.

De maneira geral, embora encontre-se na literatura técnica, diversos resultados para o comportamento mecânico desses elementos de alvenaria, o desempenho térmico e as características dos principais materiais que compõem o sistema estrutural ainda são pouco difundidos. A norma brasileira não prescreve um dimensionamento para estes elementos em temperaturas elevadas. Algumas normas internacionais contam com procedimentos para tal dimensionamento, mas há uma grande variabilidade dos materiais utilizados na construção em função da região de execução da edificação.

A utilização de simulações numéricas por meio do método dos elementos finitos tem sido comumente empregada para análise de diversos problemas que envolvem a engenharia estrutural com a finalidade de obter-se um maior espectro de resultados considerando a variação de diferentes parâmetros sem a necessidade de

realização de ensaios experimentais que contemplem toda a avaliação.

Diante disso, este trabalho visou simular o comportamento térmico de prismas de alvenaria estrutural formados por blocos de concreto através de uma análise numérica. Realizou-se a aplicação de uma condição de elevação de temperatura respeitando a curva de incêndio-padrão proposta pela ISO 834-1 (1999), e analisaram-se diferentes prismas de alvenaria, alternando a presença de revestimentos de argamassa convencional, tanto como sua espessura, e inserção de materiais isolantes. Assim, as simulações permitiram verificar o desempenho térmico desses elementos e a influência da utilização dos revestimentos, além de verificarem o tempo necessário para se atingir a variação de temperatura limite, descumprindo o critério de isolamento térmico disposto no Eurocode 6 Part 1.2 (2005).

2 RESISTÊNCIA AO FOGO DE ELEMENTOS ESTRUTURAIS

A resistência ao fogo de uma estrutura está ligada ao tempo em que ela é capaz de oferecer resistência adequada às solicitações para as quais foi projetada na situação de incêndio. Este tempo é definido para que seja possível a fuga dos ocupantes em segurança, seja garantida a segurança das equipes de combate ao incêndio e também para minimizar danos às edificações adjacentes.

A norma nacional de segurança contra incêndio ABNT NBR 14432 (2011) - Exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações, define o tempo de resistência ao fogo das paredes e elementos de vedação, de acordo com o tipo de ocupação da edificação e com sua altura, sendo este de 120 minutos para edificações residenciais com mais de 30m de altura.

Para a alvenaria estrutural, o Eurocode 6 Part 1.2 (2005) define critérios de resistência mecânica (R), estanqueidade (E), isolamento térmico (I) e impacto mecânico (M), que dizem respeito às condições de suporte de carga, formação de fissuras para passagem de gases, condição térmica na face oposta à elevação de temperatura e resistência mecânica dos elementos estruturais quanto aos impactos provocados por ações horizontais. O critério de isolamento térmico abordado neste trabalho 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 face não exceda 140 °C.

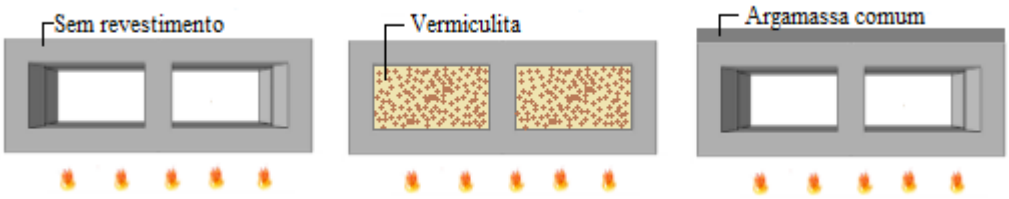
Buscando uma maior padronização na realização de ensaios de elementos estruturais em situação de incêndio, a ABNT NBR 5628 (2001) define medidas a serem tomadas durante a realização dos ensaios de resistência ao fogo, e recomenda a utilização da curva de incêndio-padrão apresentada pela ISO 834-1 (1999) que relaciona o desenvolvimento de temperatura com o tempo de realização do ensaio, de acordo com a equação abaixo, onde T é a temperatura dos gases do forno (°C), T_0 é a temperatura ambiente inicial e t o tempo decorrido em minutos.

$$T = T_0 + 345\log(8t + 1) \quad (1)$$

3 MODELOS NUMÉRICOS

O modelo físico adotado para as simulações numéricas deste trabalho corresponde a um prisma formado por três blocos de concreto da família 14x19x39cm, e argamassamento parcial com juntas de 1,0cm de espessura, traço em volume de 1:0,5:4,5 (cimento:cal:areia) e resistência média à compressão de 6,93 MPa, submetido à elevação de temperatura em uma das suas faces seguindo a curva de incêndio-padrão apresentada anteriormente. Para o desenvolvimento das análises térmicas, os prismas foram considerados sob três situações distintas, sendo estas, prismas vazados sem revestimento, prismas preenchidos com o isolante térmico vermiculita e prismas revestidos com argamassa convencional na face não exposta ao fogo, com espessura de revestimento variável em 0,5cm, 1,5cm e 2,5cm. Abaixo são ilustradas a forma de aplicação do carregamento térmico e a configuração dos elementos avaliados.

Figura 1 – Configuração dos prismas submetidos à elevação de temperatura



Fonte: Autor

As propriedades necessárias para a análise numérica foram: densidade, condutividade térmica e calor específico de todos os materiais envolvidos na análise. As propriedades do concreto e da argamassa apresentaram variação conforme a elevação de temperatura, com o concreto seguindo as recomendações apresentadas pelo Eurocode 6 Part 1.2 (2005), e a argamassa conforme Rodovalho (2018). Adotou-se para o concreto uma condutividade térmica média definida através dos limites recomendados pelo referido código, e para o calor específico consideraram-se blocos com teor de umidade de 2,0%, verificados experimentalmente por Oliveira (2014), juntamente com a densidade para ambos os materiais. As propriedades térmicas do mineral vermiculita foram obtidas em Ozisik (1990) e mantiveram-se constantes ao longo da análise.

Quadro 1 – Propriedades térmicas dos materiais utilizados

Material	Condutividade (W/m.K)	Calor específico (J/kg.K)	Densidade (kg/m³)
Concreto	1,648 (17 °C)	900 (17 °C)	2186,73
Argamassa	2,1 (17 °C)	800 (17 °C)	2179,68
Vermiculita	0,068	835,0	80,00

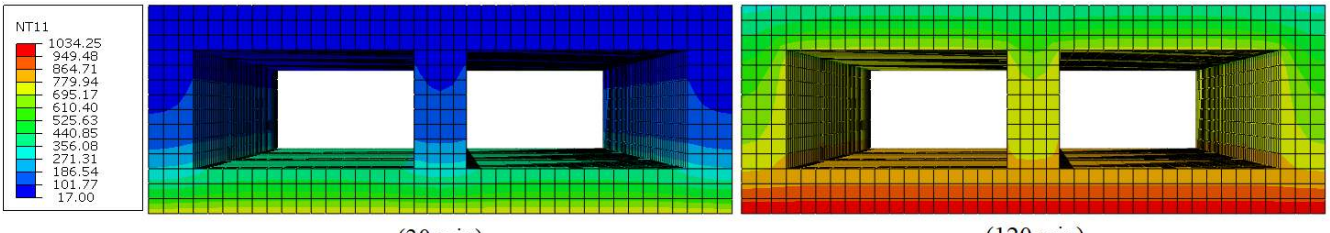
Fonte: Autor

Todos os modelos foram simulados através de uma análise transiente de 2 horas no *software Abaqus*, e utilizaram-se elementos finitos sólidos do tipo “Heat transfer (DC3D8)” com malha aproximada de 10mm e oito nós por elemento. Considerou-se temperatura ambiente inicial de 17 °C, com elevação de temperatura na face externa seguindo a ISO 834-1 (1999), e elevação da temperatura dos gases internos aos septos definida experimentalmente por Dupim (2019). Para transferência de calor entre os materiais, considerou-se na face exposta ao fogo uma emissividade de radiação igual a 0,95 e coeficiente de convecção de 25 W/(m²K), e na face em temperatura ambiente 0,7 e 4 W/(m²K) para os mesmos parâmetros, de acordo com Rodovalho (2018).

4 RESULTADOS

A análise foi realizada a partir do desenvolvimento e verificação dos campos térmicos para os prismas de alvenaria estrutural sujeitos à situação do incêndio, como por exemplo, através das isotermas apresentadas na Figura 2 para os elementos sem revestimento.

Figura 2 – Desenvolvimento da temperatura em prisma de alvenaria sem revestimento (°C)

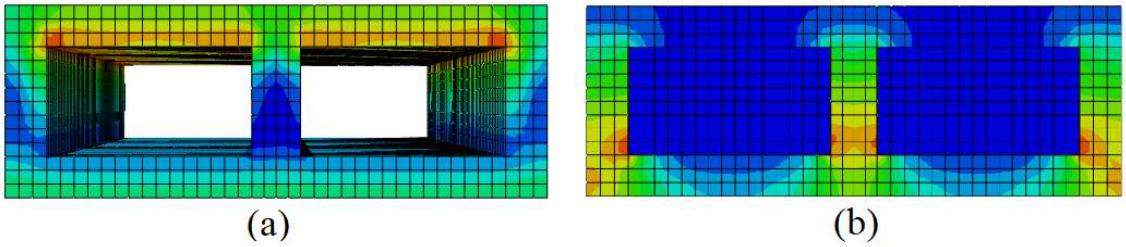


Fonte: Autor

De modo geral, observou-se significativa influência nos campos térmicos dos prismas com a adição de revestimento ou materiais isolantes. A adição do mineral isolante vermiculita alterou a forma de transferência de calor nos prismas, realizando a condução de calor entre as duas faces basicamente pelos septos transversais dos blocos (Figura 3), destacando a capacidade isolante do mineral e consequente redução da temperatura interna na face não exposta dos prismas preenchidos em 77,6% em relação à aqueles sem revestimento.

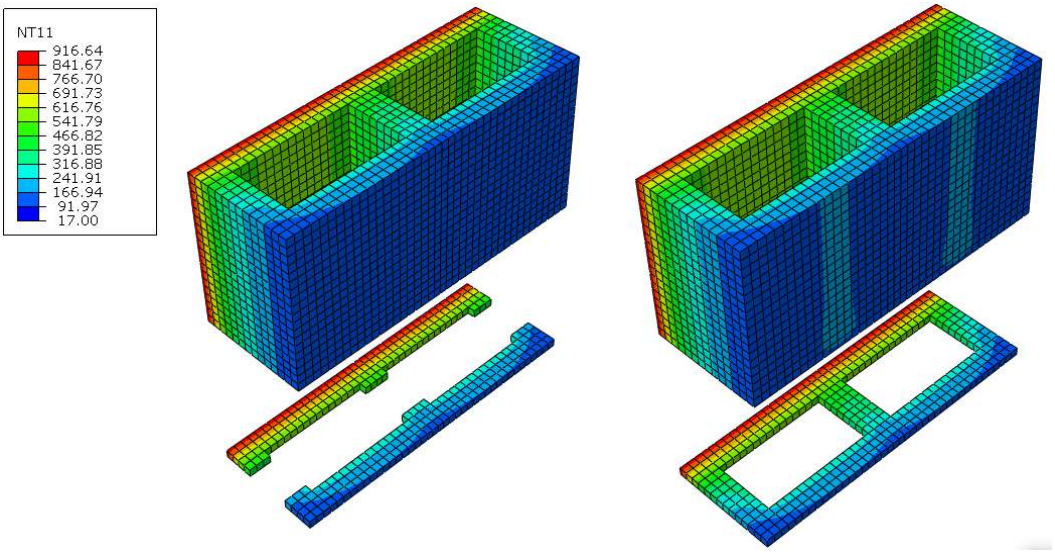
Conforme a Figura 4, o tipo de argamassamento apresentou pouca influência no desenvolvimento de temperatura na face interna. Apesar da argamassa possuir maior condutividade térmica que o concreto, e a continuidade das juntas completas favorecer a passagem de calor, o volume de argamassa é muito inferior ao volume de concreto do prisma, assim, o tempo da perda do critério de isolamento térmico foi apenas 1,2% inferior. Destaca-se ainda que a transferência de calor realizada através da convecção e radiação pelo ar localizado nos vazios dos prismas foi maior que a transferência realizada por condução nos septos transversais, conforme visualização das isotermas nos blocos.

Figura 3 – Fluxo de calor nos prismas (a) sem revestimento e (b) preenchidos com vermiculita



Fonte: Autor

Figura 4 – Temperatura nos prismas de alvenaria aos 60 minutos conforme tipo de junta



Fonte: Autor

No quadro abaixo é apresentada a avaliação do critério de isolamento térmico, com destaque para o aumento considerável da capacidade isolante nos prismas revestidos, que propiciaram até 47% de aumento nos prismas com revestimento de espessura 2,5cm. Com o aumento da resistência ao fogo, a temperatura média na face não exposta também sofreu redução. Os prismas preenchidos com vermiculita atenderam ao critério de isolamento durante os 120 minutos de análise e apresentaram menor temperatura na face interna.

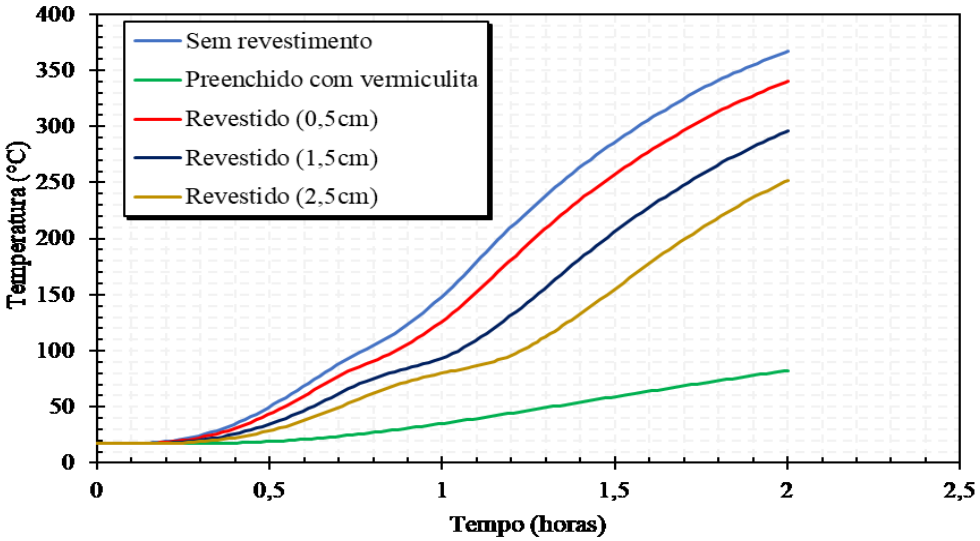
Quadro 2 – Critério de isolamento térmico e temperatura média na face não exposta ao fogo

Prisma	Processamento (min)	Perda do Isolamento térmico (min)	Temperatura interna após 120 minutos (°C)	Diferença (S/R)
Sem revestimento	10,8	58,7	367,2	-
Revestido (0,5cm)	15,5	63,7	340,3	-7,33%
Revestido (1,5cm)	18,6	74,7	296,0	-19,39%
Revestido (2,5cm)	25,1	86,5	252,1	-31,34%
Preenchido com vermiculita	26,3	-	82,3	-77,59%

Fonte: Autor

A seguir, são apresentadas as curvas de desenvolvimento de temperatura média na face não exposta ao fogo de todos os prismas de alvenaria que foram analisados. Acrescenta-se que devido à grande semelhança das curvas com a variação do tipo de junta de argamassamento, indicou-se no gráfico apenas os prismas com juntas parciais de argamassa.

Gráfico 1 – Elevação de temperatura média na face não exposta ao fogo



5 CONCLUSÕES

Assim, destaca-se a importância da verificação do critério de isolamento térmico para determinação de resultados quanto à capacidade resistente dos prismas de alvenaria e melhor compreensão dos fenômenos de transferência de calor nesses elementos estruturais. Além disso, os modelos numéricos evidenciaram a grande contribuição dos revestimentos de argamassa convencional que aumentaram o tempo de resistência ao critério de isolamento em mais de 47%, destacando também a grande capacidade isolante de materiais como o mineral vermiculita, que permitiu a obtenção de valores reduzidos em até 77,6% de temperatura média na face não exposta ao fogo durante uma simulação de duas horas sob elevadas temperaturas.

6 REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5628: Componentes construtivos estruturais – Determinação da resistência ao fogo. Rio de Janeiro, 2001.

DUPIM, R. H. Análise da resistência residual de compressão de blocos, prismas e pequenas paredes de alvenaria estrutural de blocos de concreto submetidos à situação de incêndio. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos. 2019.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. Eurocode 2: EN 1992-1.2: Design of masonry structures: Part 1-2: General rules – Structural fire design. Brussels, 2005.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 834: Fire resistance tests - Elements of building construction: Part 1. General requirements. Gèneve, 1999.

OLIVEIRA, L. M. F. Estudo teórico e experimental do comportamento das interfaces verticais de paredes interconectadas de alvenaria estrutural. São Carlos, 2014, 272 p. Tese (Doutorado em Engenharia de Estruturas) Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2014.

OZISIK, M. N. Transferência de calor: Uma primeira aproximação. Rio de Janeiro. Editora Guanabara Koogan S.A, 1990. 661p.

RODOVALHO, F. S. Simulação numérica de blocos e prismas de alvenaria em situação de incêndio. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 166p. 2018.