ANÁLISE DA EFICIÊNCIA DOS ELEMENTOS / SISTEMAS DE COMPARTIMENTAÇÃO VERTICAL COM FUNÇÃO ESTRUTURAL SUBMETIDOS À ELEVADAS TEMPERATURAS

CUNHA, Jeanna de Campos[1], REGINATO, Lucas Alexandre[2], CHIES, Josué Argenta[3], ADAMATTI, Deise Santos[4], SILVA FILHO, Luiz Carlos da[5]

[1] Universidade do Vale do Rio dos Sinos, especialização, arquiteta e urbanista, e-mail: jeannacunha@hotmail.com
[2] Universidade Federal do Rio Grande do Sul, mestrando, engenheiro civil, e-mail: lucas.reginato@ufrgs.br
[3] Universidade Federal do Rio Grande do Sul, mestrando, engenheiro civil, e-mail: josuechies@gmail.com
[4] Universidade do Vale do Rio dos Sinos, especialização, engenheira civil, e-mail: deisesadamatti@hotmail.com
[5] Universidade Federal do Rio Grande do Sul, professor, PhD, e-mail: lcarlos66@gmail.com

RESUMO

O processo construtivo em alvenaria estrutural vem se consolidando como um sistema construtivo viável, moderno e econômico, sendo caracterizado pela utilização de peças industrializadas de dimensões e peso que as fazem manuseáveis, ligadas por argamassa, tornando o conjunto monolítico. Tem a finalidade de resistir ao carregamento da edificação, tendo as paredes função resistente. Uma de suas principais vantagens é o fato de ser considerada extremamente resistente ao fogo. Para tanto, foram realizados ensaios com mini paredes, com diferentes composições, sendo estas com blocos cerâmicos, blocos em concreto e tijolo maciço, alternando entre a exclusão de revestimento e a presença deste em gesso além do preenchimento dos vazados com areia, todos com determinada carga de incêndio. Os resultados obtidos, confirmam que as mini paredes são resistentes a exposição a altas temperaturas, podendo ser considerada como superior a quatro horas. Com a aplicação de revestimento de gesso obteve-se aumento de 80% da resistência e com o preenchimento de areia nos vazados principais dos blocos, o acréscimo verificado foi de 100%. Logo, o emprego destes, apresentam boas alternativas para o aumento da resistência ao fogo, a um custo relativamente baixo. Ainda, observou-se que os elementos ensaiados mantiveram sua integridade, não apresentando ruptura.

PALAVRAS CHAVE: alvenaria estrutural, segurança contra incêndio e pânico, altas temperaturas, propagação de incêndio.

ABSTRACT

The construction process in structural masonry has been consolidated as a viable , modern and economical construction system, which is characterized by the use of industrialized parts of dimensions and weight that make them manageable , connected by mortar , working as a monolithic whole. Aims to resist the load of the building , with the resistant function conduzed by the walls . One of its main advantages is the fact that it is considered extremely fire resistant . To analyse this characteristics , tests with mini walls with different compositions were performed, with these ceramic blocks, concrete and solid brick , alternating between the exclusion and the presence of this coating in addition to fulfilling the plaster cast with sand , all with certain load fire . The results confirm that the mini walls are resistant to exposure to high temperatures and may be considered as up to four hours . With the application of plaster coating was obtained an 80% increase of the resistance and the filling sand in the hollow of the main block , the observed increase was 100% . Therefore, the employment thereof, have good alternative for increasing the fire resistance at a relatively low cost. Still , it was observed that the tested elements maintained their integrity , with no significant break.

Keywords: structural masonry, fire safety and panic, high temperatures, fire spreading.

1. INTRODUÇÃO

O sistema de construção em alvenaria estrutural historicamente avançou, primeiramente, pelo empilhamento de tijolos e paredes, aplicando-se o sistema em projetos. A maioria dos vãos possuía a característica de seus tijolos serem relativamente pequenos e as edificações tinham uma durabilidade muito curta. Com o desenvolvimento do sistema construtivo, agregou-se o arco na estrutura, obtido por meio de arranjos das unidades, garantindo, assim, uma maior vida útil para as construções.

A alvenaria estrutural é conceituada por Villar (2005) como um sistema construtivo racionalizado, onde os elementos de vedação também desempenham a função estrutural. Sua composição se dá pela união de blocos (de cerâmica, concreto, ou sílico-calcáreos) com juntas horizontais e verticais de argamassa de assentamento, e após executado pode ou não receber aplicação de revestimentos. As características da argamassa exercem importância nos resultados de resistência à compressão do conjunto, porém o bloco estrutural tem principal importância nesta resistência. Problemas estruturais sérios podem ocorrer à uma edificação, caso a alvenaria não possua capacidade suporte necessária (LIMA, 2010).

Conforme Ramalho e Corrêa (2003), a utilização da alvenaria estrutural parte de uma concepção que é a de transformar a alvenaria, originalmente com função exclusiva de vedação, na própria estrutura, evitando a necessidade de pilares e vigas que dão suporte a uma estrutura convencional.

Utiliza-se este sistema construtivo (alvenaria estrutural) desde a antiguidade por quase todas as civilizações, sendo a principal técnica construtiva executada até o início do século XX, (VILLAR, 2005). Porém, devido o desenvolvimento de pesquisas com a utilização de aço e concreto armado nas construções, a alvenaria estrutural perdeu espaço, considerando que estes materiais permitiram a construção de estruturas mais esbeltas, mais leves e tecnicamente melhor compreendidas (RAZENTE, 2004).

Entretanto, as qualidades da alvenaria estrutural são diversas. Das quais, pode-se citar a segurança, a proteção ao fogo, redução do tempo de execução, a racionalização estrutural, isolamento térmico e acústico, a subdivisão de espaços e a redução de camadas de revestimento, estas qualidades fazem deste método algo muito atrativo para o mercado consumidor (BARBOSA, 2004). A estabilidade da economia tem proporcionado um grande desenvolvimento da alvenaria estrutural, já que com uma preocupação mais voltada para os custos, as empresas têm utilizado novos materiais e investido de modo intenso em pesquisas. (RAMALHO; CORRÊA, 2003). Atualmente, existem diversas normas da ABNT para cálculo, execução e controle de obras em alvenaria estrutural e o sistema começa a difundir-se em todos os estados da federação.

Logo, verifica-se que este método classifica-se como um dos mais utilizados em construções e, que uma das principais características deste sistema construtivo é a proteção ao fogo. Contudo, o presente estudo tem por objetivo avaliar a eficiência térmica e a resistência mecânica dos componentes, simulando mini paredes elaboradas em tijolos maciços, revestidas com gesso, alvenaria estrutural em bloco cerâmico e concreto, ambos vazados com função estrutural, todos sem revestimento, quando submetidas à elevadas temperaturas, sob carga de serviço de 5,25 tf/m ou 52,5 kN, anterior e posterior à uma simulação de situação real de aquecimento provocada durante um incêndio.

2. MÉTODOS EXPERIMENTAIS DE DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA AO FOGO

Existem normas regulamentadoras nacionais e estrangeiras para a realização de ensaios para determinação da resistência ao fogo de paredes de alvenaria estrutural. No Brasil, tal ensaio é normatizado pela norma NBR 5628 (ABNT, 2001), que apresenta grande similaridade com as normas estrangeiras ASTM E 119 (ASTM, 2008) e ISO 834 (ISO, 1999). As principais exigências das normas citadas, abrangendo os aspectos referentes às amostras, instrumentação e medições são apresentadas na Figura 2, onde fica mais evidente a semelhança entre a ISO 834 e a NBR 5628 (SILVA,V. P., 2007). A ação térmica controlada que deve ser aplicada no interior do forno é uma das principais diferenças encontradas entre as normas. Enquanto a ISO 834 e NBR 5628 estabelecem uma curva padronizada determinada por meio da Equação (1), a ASTM E 119 estabelece a curva de aquecimento por meio de uma série de pontos, apresentada na Figura 01.

$$T = To + 345 \log (8t + 1). \qquad (1)$$

Onde:
T = temperatura do forno em °C no instante t;
To = temperatura inicial do forno em °C; e
t = tempo em minutos a contar do início do ensaio.

Figura 01: Pontos determinantes recomendados pela norma ASTM E119.

Tempo	Temperatura (ºC)
5 min	538
10 min	704
30 min	843
1 h	927
2 h	1010
4 h	1093
8 h	1093

Fonte: Adaptado de Rosemann (2011).

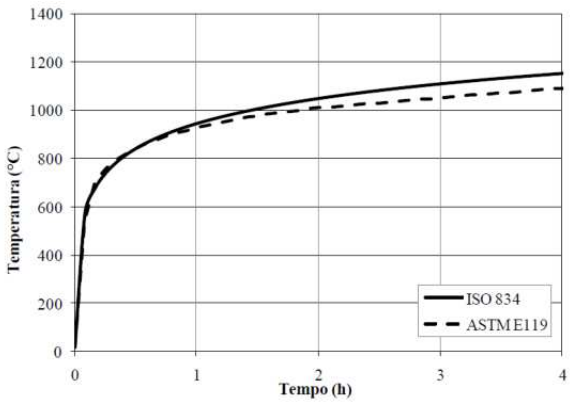
Figura 02: Comparação das principais exigências realizadas pelas norma.

Item	ASTM E 119	ISSO 834	NBR 5628
Primeira edição da norma	1917	1975	1980
Edição atual da norma	2008	1999	2001
Pressão interna do forno	não estabelece	2,0 mmca	1,5 mmca
Curva de aquecimento	série de pontos "tempo-temperatura	Equação (1)	Equação (1)
Teste de jato de água	exige	não exige	não exige
Medição de temperatura no interior do forno	9 termopares afastados a 152 mm da face	1"termômetro de placas" para cada 1,5 m^2 de amostra, afastado a 100 mm da face	1 termopar com diâmetro entre 0,75 e 1,50 mm para cada 1,5 m^2 de amostra, afastado a 100 mm da face
Requisito de resistência mecânica	deve suportar o carregamento sem ruína	define valor máximo e taxa de aumento máxima da deformações	ruína, deslocamentos transversais elevados ou deformações excessivas

Fonte: Adaptado de Rosemann (2011).

São representadas na Figura 03 as curvas padronizadas Temperatura-Tempo recomendadas pela ISO 834, NBR 5628 e ASTM E 119, sendo que as curvas propostas pelas normas ISO 834 e NBR 5628 são iguais.

Figura 03: Curvas padronizadas das normas ISO 834 e ASTM E119.



Fonte: Rosemann (2011).

É importante salientar que a ação térmica aplicada de acordo com uma curva padronizada corresponde somente à fase de desenvolvimento do incêndio e assim, não representa com exatidão o desenvolvimento de um incêndio real (Figura 03). Assim sendo, o ensaio não representa o comportamento real das paredes em situações de incêndio, mas permite a determinação do tempo de resistência ao fogo e o comportamento das paredes sob a condição de um incêndio-padrão, permitindo uma avaliação qualitativa, que serve de base para comparação do desempenho ao fogo de diferentes elementos construtivos.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Com o objetivo de identificar a influência de determinadas variáveis nos resultados dos ensaios em altas temperaturas, o programa experimental buscou averiguar como se comportam diferentes materiais de construção, comumente utilizados para alvenaria portante Estes materiais foram usados para confecção de exemplares em sete diferentes configurações: 02 em bloco de alvenaria estrutural cerâmico, 01 em bloco de alvenaria estrutural cerâmico revestido com gesso, 01 em bloco de alvenaria estrutural cerâmico preenchida com areia, 02 de bloco de alvenaria estrutural de concreto e 01 de tijolo maciço, todos sem revestimento argamassado, assentados com juntas de argamassa horizontal e vertical. O desenvolvimento da pesquisa ocorreu nas dependências do Laboratório de Ensaios e Modelos Estruturais da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (LEME/UFRGS), envolvendo a utilização de um conjunto amostral moldado e avaliado pela equipe técnica do respectivo laboratório. Os painéis possuem aproximadamente 75 cm de largura e 80 cm de altura, dimensões padronizadas de acordo com a modulação das fiadas dos blocos, possíveis ao acoplamento do elemento pronto ao forno de aquecimento. A tabela 1 apresenta os dados para elaboração das mini paredes.

Tabela 01: Especificação de dados para elaboração de mini paredes.

Especificação de dados para elaboração de mini-paredes			
Bloco	**Dimensão dos blocos (LxHxC - cm)**	**Resistência do bloco (MPa)**	**Dimensão da mini parede (LxHxC – cm)**
Cerâmico	14x19x29 e 14x19x14	7	14x79x74
Concreto	14x19x14 e 14x19x14	6	14x79x74
Tijolo Maciço	9x9x19 e 5,3x9x19	-	19x74,5x79

O período de cura foi de 28 dias, a contar da data de assentamento dos blocos. Esta cura foi realizada em temperatura ambiente de laboratório, sendo as amostras mantidas na posição de assentamento até o dia anterior ao ensaio. Salienta-se que, posteriormente à finalização da montagem das mini paredes, as células superiores foram fechadas com capeamento de concreto, com vistas a minimizar a fuga do calor pela parte superior dos blocos, onde estavam posicionados os furos deles, no caso dos blocos de alvenaria estrutural. Na Figura 04 esta apresentada a sequência da montagem das mini paredes.

Figura 04: Desenvolvimento das mini paredes.



3.1 Estratégia do ensaio

A estratégia de ensaio adotada consistiu em expor as mini paredes a um aquecimento total de 900°C ± 5%, em uma de suas faces, por meio do uso de um forno com aquecimento programável. No decorrer do ensaio, a elevação da temperatura foi monitorada, tanto na face não exposta, como no interior da amostra. O painel foi mantido sob uma carga axial de 52,5 kN, representando um carregamento linear de 5,25 tf/m, simulando um edifício de quatro pavimentos. O procedimento tomou como base as recomendações da Norma Brasileira NBR 5628: "Componentes Construtivos Estruturais – Determinação da Resistência ao Fogo", que estabelece como verificar o desempenho de um material como isolante térmico e sob condições de estanqueidade.

Segundo a NBR 14432/2000 – Exigências de Resistência ao Fogo de Elementos Construtivos – Procedimento, o Tempo Requerido de Resistência ao Fogo (TRRF) é definido como tempo mínimo de resistência ao fogo de um elemento construtivo quando sujeito a um incêndio padrão, até que ao menos uma das condições limites descritas na NBR 5628/2001 seja atingida, conforme listado abaixo:

a) temperatura média na face não exposta ao calor de 140°C, acima da temperatura ambiente (condição de isolamento);
b) temperatura em qualquer ponto da face não exposta ao calor de 180°C, acima da temperatura ambiente (condição de isolamento);
c) aparecimento de fissuras no elemento que permitam a passagem de gases aquecidos capazes de inflamar uma bucha de algodão encharcada com álcool (condição de estanqueidade);
d) ocorrência de colapso do elemento (condição de estabilidade).

3.2 Equipamentos de ensaio

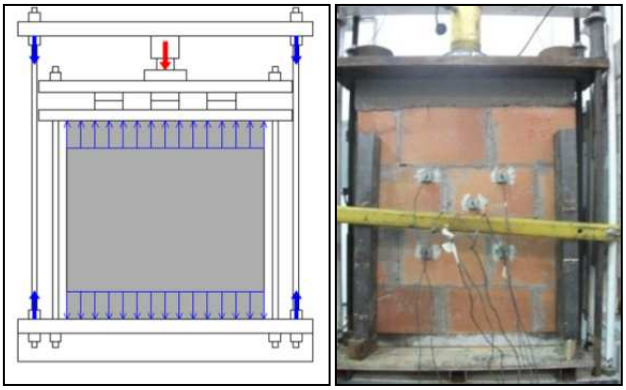
Para aplicação da carga, foi utilizado um cilindro hidráulico com capacidade de 30 tf, mobilizado com auxílio de uma bomba manual com limite de pressão de 10.000 psi. A medição da carga aplicada foi realizada com emprego de um sistema dotado de uma célula de

carga com capacidade de 20 tf (200 kN). O registro das leituras de carga foi realizado através de um sistema de aquisição de dados tipo SPIDER. Estes dados são registrados num computador por meio do software Catman, o que permite o acompanhamento instantâneo da evolução da carga. Para o aquecimento em uma das faces do painel foi utilizado um forno elétrico, com potência de 18 kW/h, com controlador automático de temperatura digital micro processado e precisão de 1°C. A capacidade do equipamento permite que se atinjam temperaturas de até 1050°C. As leituras das temperaturas ao longo da espessura do elemento foram feitas com termopares tipo K, que trabalham na faixa de temperatura entre -90°C e 1380°C. As leituras das temperaturas na face oposta ao calor foram feitas com termopares tipo T, que trabalham na faixa de temperatura entre -270ºC e 400ºC. O registro das leituras dos termopares foi realizado com auxílio de um datalogger monitorado por computador.

3.3 Instrumentação dos painéis

Logo após o posicionamento da parede ao forno, aplica-se a carga através do cilíndrico hidráulico. A célula de carga transmite a carga ao sistema de aplicação do pórtico de ensaio, conforme pode ser observado na Figura 05. Antes do acoplamento das paredes ao forno, elas foram perfuradas, para colocação de termopares em diferentes profundidades do elemento a ser analisado, com o intuito de obter dados com referência à evolução do perfil de temperaturas, na seção transversal do elemento construtivo.

Figura 05: Aspecto da aplicação de carga.



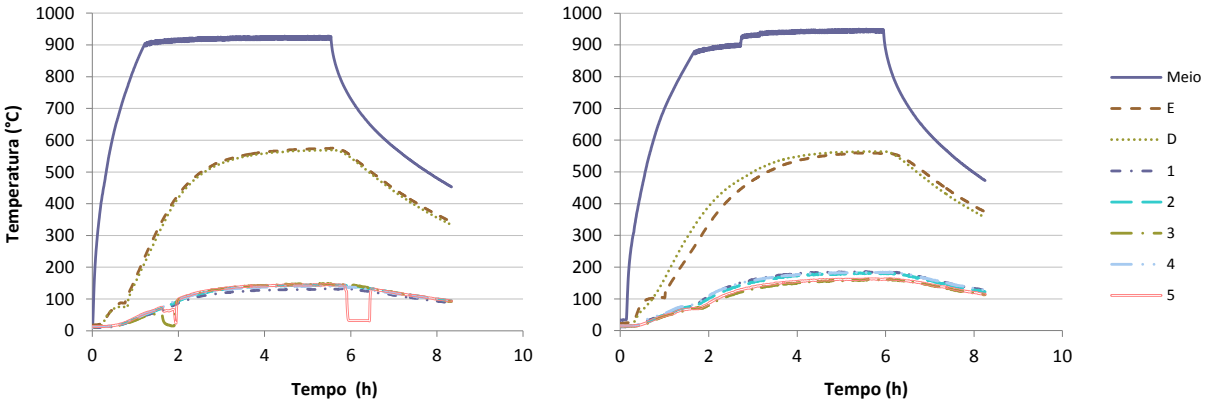
Salienta-se que as perfurações realizadas para colocação dos termopares foram distribuídas em quadro quadrantes e em torno da área central do painel, visto que, nesta posição, o fluxo de calor é praticamente unidirecional, evitando-se, dessa maneira, eventuais efeitos de borda. Os termopares foram posicionados de tal forma que ficassem nas profundidades de 25%, 50% e 75% da espessura total da parede. Além destes, foram posicionados termopares nas faces interna (aquecida) e externa (não exposta ao calor).

4. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Neste item, serão apresentadas as análises e discussões dos resultados obtidos com os ensaios. Inicialmente, apresentam-se os resultados dos ensaios de eficiência térmica, isto é, a resistência à altas temperaturas, realizados nos painéis elaborados. A seguir, são destacados os resultados referentes aos ensaios de resistência mecânica, que compreendem a resistência à compressão dos elementos que não foram submetidos ao forno e, sim, somente à prensa. Finalmente, na última parte, serão analisados os resultados que esses ensaios geraram. As figuras abaixo apresentam as curvas de temperatura em função do tempo para os diferentes painéis e distintas profundidades medidas durante os ensaios, conforme referenciado no item 3.3.

As mini paredes, executadas em alvenaria de blocos cerâmicos Figura 06 (a) e blocos de concreto, Figura 06 (b), ilustram a temperatura média de curva de aquecimento às quais foram submetidas e apresentam resultados bem semelhantes, durante o ensaio, as paredes apresentaram algumas fissuras visíveis, sendo todas de dimensão inferior a 02 mm. Visualmente, também não foram verificados deformações ou deslocamentos transversais significativos, bem como qualquer outro sinal de comprometimento da estabilidade estrutural da parede.

Figura 06: Variação das temperaturas no painel em blocos cerâmicos (a) e painel em blocos de concreto (b).

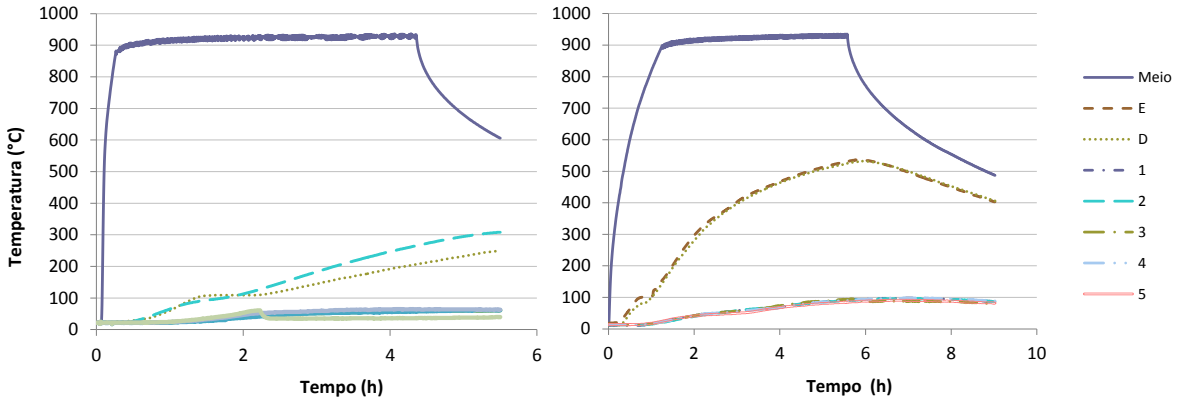


(a) (b)

O ensaio com blocos cerâmicos atingiu a temperatura de 900ºC com 1 hora e 7 minutos e obteve duração de 8 horas e 20 minutos, sendo alcançada a temperatura média máxima de 928ºC. A face não exposta ao calor chegou a 140ºC, após 3 horas e 23 minutos. O ensaio com blocos de concreto atingiu a temperatura de 900ºC em 2 horas e 23 minutos, com duração de 8 horas e 38 minutos, sendo atingida a temperatura média máxima de 950ºC. A face não exposta ao calor atingiu 140ºC, após 55 minutos.

A Figura 07 (a), referente à amostra executada em tijolo maciço, ilustra a temperatura média de curva de aquecimento à qual esta foi submetida. Esse ensaio obteve duração de 6 horas e 30 minutos, sendo atingida a temperatura média máxima de 936ºC. Os painéis executados em alvenaria de blocos cerâmicos, com os vazados preenchidos com areia, foram submetidas a curvas de aquecimento, de curva média apontada na Figura 07 (b) . Estas apresentaram resultados bem semelhantes quanto ao gráfico, porém seu resultado visual apresentou diferença significativa.

Figura 07: Variação das temperaturas no painel em tijolo maciço (a) e painel em blocos cerâmicos preenchidos com areia (b).



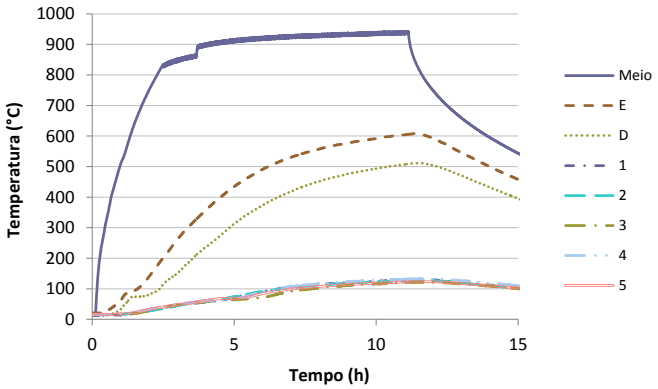
(a) (b)

Pelo fato da areia ser um material altamente higroscópico, com relação à mini parede preenchida com esse material, constata-se que o calor foi absorvido pela evaporação da umidade presente na areia.

Este fato fez com que a temperatura da face externa do painel sofresse um aumento muito reduzido, até que a umidade existente no interior da parede fosse totalmente evaporada. Conseguiu-se um melhor controle na temperatura do forno em relação ao ensaio das paredes sem preenchimento. Durante o ensaio, a parede apresentou pouca fissuração; as primeiras fissuras apareceram após 2 horas e 24 minutos. Visualmente, não foram verificados deformações ou deslocamentos transversais significativos, bem como qualquer outro sinal de comprometimento da estabilidade estrutural da parede. Deve-se salientar que não foi efetuado o controle da umidade da areia utilizada para o preenchimento dos vazados no instante do ensaio, embora tenha-se verificado que a sua umidade, ao consumir calor para a evaporação, contribuiu para o aumento na resistência ao fogo pelo critério de isolamento térmico.

Para o painel revestido com gesso, ao qual se refere a Figura 08, a temperatura média máxima foi de 942ºC. A face não exposta ao calor não atingiu a temperatura de 140ºC e chegou apenas a 130ºC, enquanto internamente chegava a 838ºC.

Figura 08: Variação das temperaturas no painel em bloco cerâmico revestido com gesso.



Este ensaio teve duração de 7 horas e 40 minutos. Alcançou-se um melhor controle na temperatura do forno em relação ao ensaio das paredes sem revestimento. Durante o ensaio, a parede apresentou pouca fissuração, porém a face exposta diretamente ao fogo sofreu um desplacamento em função do gesso ser um material cujo componente principal é água, que não resiste de modo favorável na absorção do calor aplicado.

Através de inspeção visual simples não foram vistas deformações tampouco deslocamentos transversais significativos, assim como qualquer outro sinal de comprometimento da estabilidade estrutural da parede.

Na Figura 09 (a) e (b), podemos observar algumas fissuras apresentadas nas paredes durante o ensaio, sendo todas com dimensões inferiores a 2 mm.

Figura 09: Mini paredes: anterior e posterior ao ensaio.



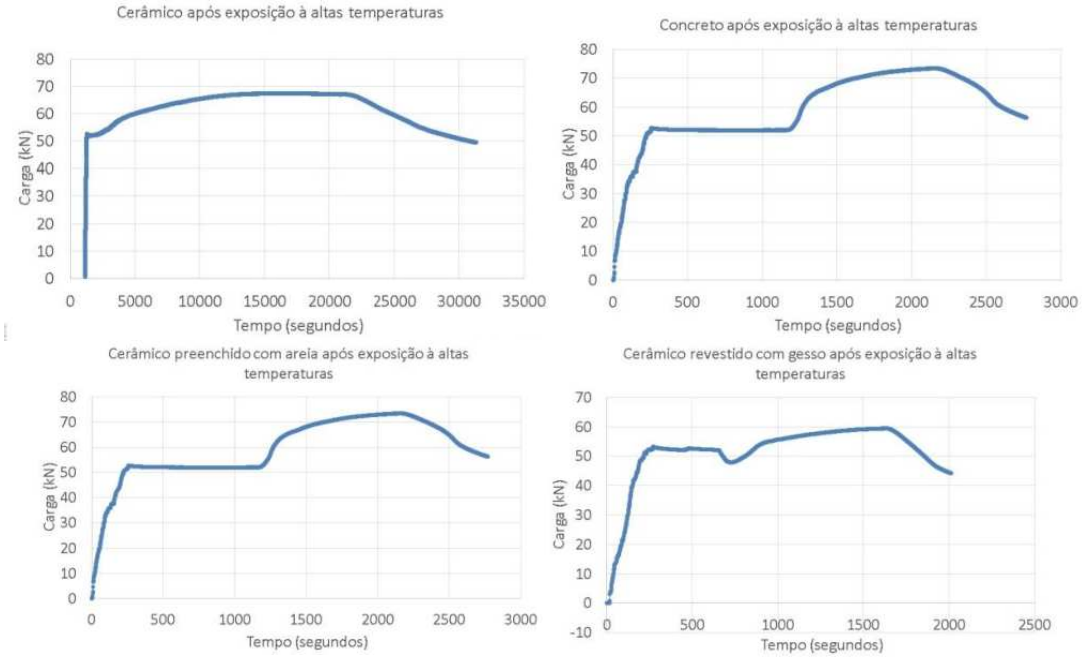
Cerâmico (a) Concreto (b)



Maciço (c)

A Figura 10, na sequência, apresenta a curva da carga aplicada em função do tempo de ensaio. Verifica-se que há um aumento da carga ao longo dos experimentos devido às tensões de confinamento, causadas nos painéis em razão da expansão dos materiais quando submetidos a temperaturas elevadas. O aumento da carga foi de aproximadamente 30% comparando-se à carga inicial de 52,6 kN, mostrando-se, dessa forma, mais resistentes os elementos desenvolvidos com blocos cerâmicos.

Figura 10: Variação da carga ao longo do ensaio.



Conforme a tabela 02 são apresentados os dados obtidos no ensaio de resistência mecânica. Além destes, foram ensaiados dois elementos sem exposição ao fogo, sendo um em blocos cerâmicos e o outro em concreto, com as mesmas características de dois dos painéis ensaiados, a fim de avaliar a perda de resistência após a combustão. Verificou-se que as

paredes queimadas reduzem sua resistência em 50% de uma parede sem danos, atingindo um valor mínimo de 2,04 Mpa.

Tabela 02: Comparativo entre os resultados obtidos no ensaio de resistência à compressão.

Descrição Mini Paredes	Tensão (Mpa)
Cerâmico	4,7
Concreto	4,7
Cerâmico submetido à alta temperatura	2,7
Concreto submetido à alta temperatura	2,1
Cerâmico preenchido com areia	2,8
Cerâmico revestido com gesso	2,0

A tabela 03 apresenta a evolução das temperaturas ao longo da espessura dos protótipos, sendo possível observar os valores de tempo equivalente e as temperaturas correspondentes, registradas pelos termopares em determinado momento do ensaio. O tempo equivalente foi obtido por meio de uma correlação entre a temperatura medida experimentalmente e a temperatura teórica, calculada de acordo com a Equação 3.1.

Durante o período de ensaio, os termopares 4, 5, 6, 7 e 8, colocados na face não aquecida, que corresponde às curvas 1, 2, 3, 4 e 5 do gráfico anterior, não apresentaram temperatura acima do limite, que seria 180°C + 16°C (temperatura ambiente) ou, na média de 140°C + 16°C.

Estes resultados indicam que o tempo de resistência a altas temperaturas dos painéis podem ser considerados como superior a 4 (quatro) horas. A Lei Complementar n° 420/98, de Porto Alegre, exige, no seu artigo 18, que os elementos ensaiados sejam equivalentes a uma parede de 23 cm, sendo resistentes ao fogo por 4 horas. Visto que o painel atingiu a temperatura máxima média de 60ºC (mínimo) a 140ºC (máximo) aos 470 minutos equivalentes (após desligamento do forno), pode-se considerar que o painel ensaiado apresenta um comportamento mínimo exigido de uma parede de alvenaria maciça, rebocada em ambas as faces, com espessura de 23 cm. Um componente é dado como estanque se, sob efeito do calor, ele não sofra fissuração que permita a passagem de gases quentes, revelada através da não inflamação de um chumaço de algodão. Como não se observaram fissuras que permitissem a liberação de gases quentes através dos painéis, não foi necessário realizar o teste do chumaço de algodão.

Tabela 03: Resultados obtidos do ensaio no painel.

Descrição Mini Paredes	Tempo eq [min]	Termopar (°C)							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Cerâmico	30 eq	670	83	74	16	17	16	19	19
	60 eq	863	189	175	40	42	38	43	46
	90 eq	905	336	318	62	69	57	71	73
	120 eq	919	443	433	92	98	103	102	104
	240 eq	916	554	550	125	138	140	135	140
Concreto	30 eq	455	86	64	22	19	17	26	20
	60 eq	698	103	162	51	49	46	52	47
	90 eq	836	226	290	75	74	65	78	67
	120 eq	890	334	391	108	101	79	109	85
	240 eq	939	511	531	172	164	143	170	149
Tijolo maciço	30 eq	903	28	26	19	22	22	22	22
	60 eq	918	60	65	21	23	22	24	25
	90 eq	921	108	93	29	31	28	32	36
	120 eq	919	109	113	40	40	37	46	53
	240 eq	923	168	217	58	55	54	63	36
Cerâmico preenchido com areia	30 eq	591	60	46	11	13	13	14	14
	60 eq	812	165	96	15	15	16	16	18
	90 eq	900	198	191	30	27	29	29	31
	120 eq	910	293	277	42	39	42	42	41
	240 eq	921	438	433	62	65	63	62	57
Cerâmico revestido com gesso	30 eq	508	61	33	14	16	16	17	17
	60 eq	750	140	79	29	28	28	33	32
	90 eq	848	261	152	46	45	47	50	49
	120 eq	903	357	236	56	58	58	60	62
	240 eq	927	530	419	105	103	92	108	100

De acordo com os resultados anteriores, nenhuma das condições limites impostas pela NBR 5628/2001 foi atingida no decorrer do ensaio. O pico de temperatura interna do forno de 900°C ± 5%, foi atingido 1h após iniciado o aquecimento do forno, mantendo-se, nesta faixa de temperatura por um total de 4h, quando foi estabelecido o encerramento do ensaio e o desligamento do forno, de acordo com o CÓDIGO DE EDIFICAÇÕES DE PORTO ALEGRE, de 1992. Destaca-se que, mesmo o forno tendo sido desligado após 4h de permanência do pico de temperatura, manteve-se a medição das temperaturas dos termopares por um período de, aproximadamente, mais 3 horas, para que fosse obtido o comportamento de resfriamento do forno.

Em relação à degradação do material, foi observado que as faces não expostas ao forno não apresentaram degradação significativa devido aos efeitos da temperatura. Após a abertura do forno, examinaram-se visualmente as faces expostas diretamente ao calor, constatando-se a ocorrência de decomposição da argamassa de revestimento situada nas juntas expostas do

painel. Este fato pode ser explicado pela decomposição dos compostos de silicato de cálcio hidratado e de hidróxido de cálcio presentes na argamassa, devido às reações de desidratação da pasta de cimento. As fissuras geradas não se propagaram para a face não exposta ao fogo e, por esta razão, não chegaram a permitir a passagem de gases aquecidos, capazes de inflamar uma bucha de algodão com álcool, permanecendo o painel estanque a gases quentes.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho buscou reproduzir uma situação real de incêndio para, assim, avaliar a eficiência térmica e a resistência mecânica dos componentes dos sistemas de compartimentação verticais estruturais, com carregamento de 52,5 kN, expostos por meio das distintas mini paredes ensaiadas. Logo, diante da execução desse programa experimental, das análises, das discussões e dos resultados obtidos, pode-se concluir que:

- a realização de ensaios em escala reduzida mostrou-se viável à consecução dos objetivos de análise dinâmica de propagação do incêndio e de resistência dos materiais, apresentando resultados coerentes de forma qualitativa e quantitativa, bem como reduzindo o custo.
- o ensaio realizado indicou que a transmissão de calor nos painéis avaliados dá-se com um bom retardo térmico. Os dados coletados indicaram uma estimativa de tempo de resistência a altas temperaturas superior a quatro horas, para as condições de ensaio adotadas. Este resultado pode ser visto como um bom indicativo quanto ao comportamento, em termos de isolamento térmico, que seria apresentado pelo elemento em situações de incêndio.
- com a aplicação de revestimento de gesso, obteve-se aumento de 80% da resistência e, com o preenchimento de areia nos vazados principais dos blocos, o acréscimo verificado foi de 100%. Logo, o emprego destes é uma boa alternativa para o aumento da resistência ao fogo, a um custo relativamente baixo.
- quanto à estanqueidade a gases quentes, pode-se concluir que os elementos ensaiados apresentaram boas condições, pois resistiram a mais de quatro horas de ensaio, sem permitir o vazamento significativo de gases quentes. Assim, pode-se comparar o comportamento do elemento ensaiado com o de uma parede de alvenaria construída com tijolos maciços, com reboco de ambos os lados, com espessura de 23 cm, atendendo ao Artigo 18 da Lei Complementar nº 420/98, de Porto Alegre, RS.
- quanto à resistência mecânica (ensaio à compressão), os painéis mantiveram-se íntegros por um determinado tempo, rompendo em uma tensão mínima de 2,0 Mpa, preservando e desempenhando sua função estrutural; contudo, a redução de resistência chega a 50% relacionando-se com painel não submetido ao fogo.

- Constatou-se também que, após o término dos ensaios, os elementos ensaiados mantiveram a sua integridade, não apresentando ruptura.

6. REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY OF TESTING AND MATERIALS. **ASTM E119:** Standard methods for fire tests of building construction and materials. Philadelphia, 2008.

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

_____. **NBR 14432:** Exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações – Procedimento. Rio de Janeiro, 2001.

BARBOSA, C. S. **Resistência e deformabilidade de blocos vazados de concreto e suas correlações com as propriedades mecânicas do material constituinte.** 2004. 162f. Dissertação (Mestrado em Engenharia das Estruturas) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2004.

ISO, ISO 834-8:2002. **Fire-resistance tests -- Elements of building construction -- Part 8: Specific requirements for non-loadbearing vertical separating elements**.

Lei Complementar nº 284/92 – 5. ed. do Código de Edificações, Institui o ***Código de Edificações de Porto Alegre.***

Lei Complementar nº *420* /1998– **Código de Proteção contra Incêndio de *Porto Alegre*** – CORAG – Assessoria de Publicações Técnicas.

LIMA, Alexandre Nascimento de. **Análise experimental da influência da resistência e espessura da argamassa de assentamento no desempenho mecânico de prismas de blocos cerâmicos.** 2010. 128f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil: Estruturas) – Universidade Federal de Alagoas, Centro de Tecnologia. Maceió, 2010.

RAMALHO, M. A. e CORRÊA, M. R. S. **Projeto de edifícios de alvenaria estrutural**. 1. ed. São Paulo: Pini, 2003. 174 p.

RAZENTE, J. A. **Aplicação de recursos computacionais em projetos de edifícios em alvenaria**. São Carlos, 2004. 188 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

ROSEMANN, F. **Resistência ao fogo de paredes de alvenaria estrutural de blocos cerâmicos pelo critério de isolamento térmico** 2011. 138f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

SILVA, V. P. Considerações sobre as normas brasileiras de estruturas em situação de incêndio. **Revista Incêndio**, n. 46, p. 52-57, 2007.

SILVA, V. P. et al. Segurança das estruturas em situação de incêndio. In: SEITO, A. I. et al. (Coord.). **A segurança contra incêndio no Brasil.** São Paulo: Projeto Editora, 2008. p. 135-167.

VILLAR, F. H. R. **Alternativas de sistemas construtivos para condomínios residenciais horizontais - estudo de caso**. São Carlos, 2005. 139 p. Dissertação (Mestrado em Construção Civil), Universidade Federal de São Carlos, São Carlos.