

ANÁLISE DA RESISTÊNCIA AO FOGO DE BLOCOS DE ALVENARIA CERÂMICA DE VEDAÇÃO UTILIZANDO PROTEÇÃO DE TINTA INTUMESCENTE

*Carlos Alexandre Santos Sales¹
Eliana Cristina Barreto Monteiro²*

RESUMO

Os incêndios estão presentes na história de várias cidades do mundo e chegaram a protagonizar mudanças significativas no desenho urbano e nas características construtivas de suas edificações. No Brasil, o conhecimento sobre segurança contra incêndio em edificações só se tornou assunto de importância após duas grandes tragédias nacionais: os incêndios nos edifícios Andraus (1972) e Joelma (1974), ambos na cidade de São Paulo. Atualmente, após a tragédia na boate Kiss em Santa Maria - RS em 2013, que culminou com a morte de 242 jovens, muitas alterações nas legislações de proteção contra incêndio estão sendo sugeridas no Congresso Nacional e nas Assembleias Legislativas Estaduais, porém, em sua maioria, sem respaldo científico e normativo. Juntamente com essas mudanças, muitos produtos e equipamentos surgem diariamente com o objetivo de proteger a vida humana e o patrimônio histórico. Nesse sentido, surgem as proteções passivas por tintas intumescentes que, conforme se verifica com os resultados desse trabalho, possuem a propriedade de manter o conforto e isolamento térmico adequados, além de manter a resistência a compressão e capacidade máxima de carga dos blocos cerâmicos de vedação em níveis aceitáveis pela norma brasileira, após a exposição direta a chama durante um período de 60 minutos.

Palavras-chave: Alvenaria; Incêndio; Proteção Passiva; Resistência; Tintas Intumescentes.

1. Mestre em Engenharia Civil – UNICAP-PE (2016), Especialista em Engenharia de Segurança do Trabalho – ESTÁCIO-RJ(2015), Licenciado em Física – UFPE (2008) e Major do Corpo de Bombeiros Militar de Pernambuco. Email:carlosales@gmail.com

² Docente dos Programas de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade de Pernambuco e Universidade Católica de Pernambuco. Doutora em Engenharia Civil pela Universidade de São Paulo-USP

ANALYSIS OF RESISTANCE SEALING MASONRY CERAMIC BLOCK FIRE USING INTUMESCENT PAINT PROTECTION

ABSTRACT

Fires are present in the history of cities around the world and came to star in significant changes in urban design and the construction characteristics of their buildings. In Brazil, the knowledge about fire safety in buildings only became a matter of importance after two great national tragedies: fires in buildings Andraus (1972) and Joelma (1974), both in São Paulo. Currently, after the tragedy at Kiss nightclub in Santa Maria - RS in 2013, which culminated in the death of 242 young people, many changes in fire protection laws are being suggested in Congress and in State Legislative Assemblies, however, mostly without scientific and regulatory support. Along with these changes, many products and equipment appear daily in order to protect human life and the historical heritage. In this sense, there are passive protections for intumescent coatings that, as evidenced by the results of this work, have the property to maintain comfort and thermal insulation appropriate, while maintaining resistance to compression and maximum load capacity of sealing ceramic blocks at acceptable levels by the Brazilian standard, after direct exposure to flame for a period of 60 minutes.

Keywords: Masonry; Fire; Passive Protection; Resistance; Intumescent Paints.

Artigo recebido em 03/10/16 e Aceito em 15/10/16.

1 INTRODUÇÃO

Os incêndios estão presentes na história de várias cidades no mundo e, em algumas delas, chegaram a protagonizar mudanças significativas no desenho urbano e nas características construtivas de suas edificações. Tais incêndios aconteceram em escala urbana, ou seja, atingiram centenas ou milhares de edificações.

No Brasil, o conhecimento sobre segurança contra incêndio em edificações só se tornou assunto de importância após duas grandes tragédias nacionais: os incêndios nos edifícios Andraus (em 1972 com dezesseis mortos) e Joelma (em 1974 com cento e oitenta e nove mortos), ambos na cidade de São Paulo.

Tanto o incêndio no edifício Andraus como no edifício Joelma demonstraram as consequências da ausência de segurança contra incêndio nos projetos arquitetônicos: a falta de saídas de emergência; a facilidade de propagação de chamas e fumaça tanto pelo interior como pelo exterior do edifício; a falta de controle sobre a utilização de materiais combustíveis; a dificuldade de salvamento e de combate ao fogo; entre outros.

As normas e legislações nacionais de segurança contra incêndio definem que as paredes e elementos de vedação devem possuir um determinado tempo de resistência ao fogo, o qual varia com o tipo de ocupação da edificação e com a altura total. Contudo as sugestões de desempenho de materiais oferecidas pela grande parte desses códigos normalmente são baseadas em conhecimentos empíricos, sendo que os mesmos denotam uma resistência ao fogo bem superior, quando ensaiados em laboratório.

Como os blocos cerâmicos possuem bom desempenho ao fogo, logicamente, espera-se que uma parede construída com tais blocos também possua boa resistência ao fogo, que, segundo a NBR 14432 (2000), pode ser definida como a propriedade de um elemento de construção de resistir à ação

do fogo por determinado período de tempo, mantendo sua segurança estrutural, estanqueidade e isolamento térmico.

A resistência ao fogo das paredes de uma edificação é muito importante para a segurança contra incêndio, uma vez que, em incêndios ocorridos em edifícios de grande altura, constatou-se que as vias de circulação apresentavam uma grande vulnerabilidade à fumaça, ao calor e às chamas, o que dificultava o abandono da edificação e permitia ao incêndio propagar-se rapidamente (ONO, 2007).

Como apresenta boa resistência ao fogo e não produz fumaça ou gases tóxicos, uma parede de alvenaria com blocos cerâmicos torna-se uma boa alternativa para minimizar a propagação do incêndio, proporcionando tanto o isolamento térmico e quanto a estabilidade necessária ao edifício (OLIVEIRA, 1998).

Entretanto, foram encontrados poucos estudos sobre a resistência ao fogo de paredes de alvenaria com blocos cerâmicos, os quais envolveram somente paredes com 14 cm de espessura (CHICHIERCHIO, 1990; THOMAZ; HELENE, 2000).

A proteção passiva contra incêndio é constituída por meios de proteção incorporados à edificação e que não requer nenhum tipo de acionamento para o seu funcionamento em situação de incêndio. São exemplos de proteção passiva o controle de materiais de acabamento e revestimento, proteção das rotas de fuga, compartimentação e isolamento de risco.

As tintas intumescentes foram desenvolvidas há muito tempo - a primeira patente é de 1938 e os princípios que regem sua atuação já são muito bem conhecidos. Revestimentos intumescentes são muito utilizados na proteção de estruturas de aço para períodos de trinta e sessenta minutos, e seu uso para noventa minutos tem aumentado em alguns países.

Devido à falta de informações técnicas sobre esse assunto, este trabalho visa estudar a variação da resistência à compressão de blocos cerâmicos de

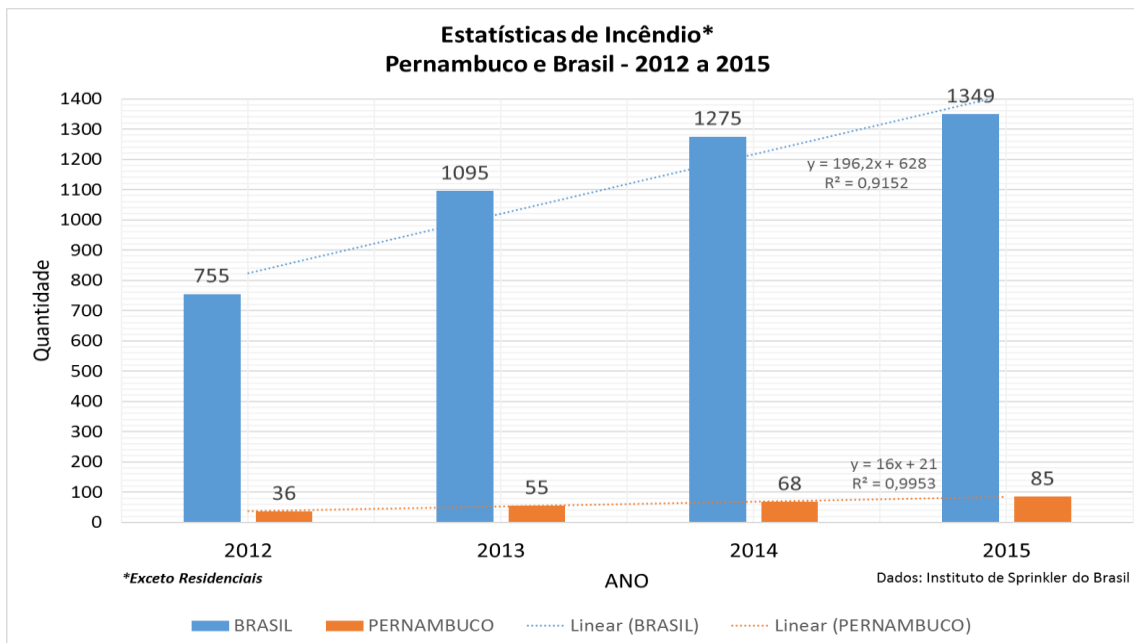
alvenaria de vedação com furos na horizontal e dimensões de 9 cm X 19 cm X 19 cm, quando submetidos ao fogo e protegidos por tintas intumescentes. Deste modo, poderemos verificar a eficiência da proteção passiva no que se refere à resistência mecânica e o isolamento térmico.

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

O maior incêndio no Brasil em cinco décadas, a tragédia da boate Kiss, em Santa Maria/RS, em janeiro de 2013, despertou a atenção da sociedade para a necessidade de proteger pessoas e edificações contra incêndios. Contudo, um aspecto em particular do sinistro, responsável direto pela dimensão catastrófica do desastre, ainda permanece pouco abordado em projetos arquitetônicos, normas e regulamentos. A escolha do revestimento em pisos, forros e paredes, que em Santa Maria se revelou desastrosa e cuja queima produziu uma fumaça tóxica que causou a maioria das 242 mortes, deve levar em conta o seu desempenho em termos de reação ao fogo.

O Brasil, nos últimos quatro anos, já contabiliza 4.474 incêndios e o Estado de Pernambuco 244 incêndios (exceto residenciais), havendo uma tendência crescente tanto em termos nacionais como no estado, conforme pode se verificar na figura 1.

Figura 1 – Estatísticas de Incêndios - Brasil e Pernambuco (2012 a 2015)



Fonte: Sales (2016)

Quando materiais combustíveis são utilizados e, por isto, seu comportamento em um incêndio fica aquém do previsto nas normas, os chamados retardantes de chama podem ser aplicados em sua superfície com grande eficácia. Com a criação das Normas de Desempenho na Construção Civil (NBR 15.575, 2013) e legislações estaduais que visam reduzir os riscos de incêndios em edificações, o Brasil passa hoje por um momento importante para retratar seus avanços nas áreas de retardantes de chamas.

O problema é que o país ainda não acompanha o desenvolvimento mundial na área. Isto se deve a uma série de fatores, como pouco conhecimento de projetistas, baixo incentivo ao ensino e pesquisa, carências normativas, ausência de certificação nacional e escassez de laboratórios para ensaios de qualidade e desempenho. Se há deficiências no mercado, no entanto, elas não se explicam por uma baixa demanda.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

Estudar a resistência ao fogo, com aplicação de proteção passiva de tinta intumescente, de blocos de alvenaria cerâmica de vedação, por exposição direta à chama.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Avaliar experimentalmente a variação da resistência à compressão de blocos cerâmicos de alvenaria de vedação expostos diretamente a chama com e sem proteção passiva;
- Avaliar a eficiência da proteção por tintas intumescentes no isolamento térmico quando da incidência direta da chama;

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Fatores que influenciam o desempenho ao fogo de paredes de alvenaria

O desempenho ao fogo de uma parede de alvenaria depende de diversos fatores. Primeiramente, destacam-se fatores ligados ao tipo de bloco utilizado na alvenaria, compreendendo as características do material utilizado e a geometria dos blocos (THOMAZ; HELENE, 2000).

Além do bloco, as características construtivas como o tipo das juntas de assentamento, dos revestimentos e do preenchimento dos vazados também exercem influência na resistência ao fogo (THOMAZ; HELENE, 2000; MEYER, 2006). Por fim, Meyer (2006) ainda apresenta alguns fatores ligados à estabilidade estrutural da parede, como o índice de esbeltez da parede, o carregamento aplicado e a presença de excentricidades.

2.2 Sistemas de proteção contra incêndios

A obtenção das condições de segurança ao incêndio requer adequados meios de combate, visando não permitir o colapso estrutural do edifício, facilitando a fuga dos usuários e garantindo a aproximação e ingresso no edifício para ações de combate (COELHO, 2010).

2.2.1 Proteção Ativa

As medidas de proteção ativa vêm a complementar as medidas de proteção passiva sendo compostas basicamente de equipamentos e instalações prediais que serão acionadas em caso de emergência, de forma manual ou automática, usualmente não exercendo nenhuma função em situação normal de funcionamento da edificação (SEITO, *et al.*, 2008). Dentre os principais sistemas de proteção ativa encontram-se:

- Detecção e alarme manual ou automático de incêndio;
- Extinção manual e/ou automática de incêndio;
- Iluminação e sinalização de emergência;
- Controle de movimento de fumaça.

2.2.2 Proteção Passiva

Proteção passiva é o conjunto de medidas de proteção contra situações de incêndio incorporadas à construção do edifício e que devem, portanto, ser previstas pelo arquiteto. Seu desempenho ao fogo independe de qualquer ação externa (SEITO, *et al.*, 2008). Os principais meios de proteção passiva são:

- Saídas de emergência (localização, quantidade e projeto);
- Reação ao fogo de materiais de acabamento e revestimento;
- Resistência ao fogo dos elementos construtivos;
- Controle de fumaça;

- Separação entre edificações.

2.3 Tintas intumescentes

As tintas intumescentes foram desenvolvidas há muito tempo - a primeira patente é de 1938 - e os princípios que regem sua atuação já são muito bem conhecidos. Desde sua criação, e, em particular, durante os últimos vinte anos, seu uso tem crescido em todos os países.

O termo intumescente deriva do latim “tumescere”, que significa iniciar, expandir. A intumescência ocorre pela reação de componentes ativos sob influência do calor, produzindo uma expansão significativa. Esses componentes ativos, ou intumescentes, expandem muitas vezes sua espessura inicial aplicada quando aquecidos (tipicamente mais do que 60x), produzindo uma massa carbonácea que protege qualquer substrato sobre o qual o revestimento tenha sido aplicado.

Um sistema intumescente possui, de modo geral, três componentes: um primer, a tinta intumescente (a fase que reage) e um selante (a pintura de acabamento). Em algumas situações, o primer ou o acabamento podem não ser necessários.

Os revestimentos intumescentes possuem os seguintes ingredientes:

- Um catalisador que se decompõe sob efeito do calor, produzindo um ácido mineral (como o ácido fosfórico). O polifosfato de amônio é o catalisador comumente utilizado.
- Um agente carbonizante, como o amido, que se combina com o ácido mineral, formando uma massa carbonácea.
- Um aglutinante, ou resina, que amolece a uma temperatura predeterminada.
- Um agente espumífico que se decompõe juntamente com a fusão do ligante, liberando grandes volumes de gases não-inflamáveis. Esses gases incluem o dióxido de carbono, amônia e vapor de água. A produção desses

gases promove o inchamento (intumescimento) da massa carbonácea, gerando uma espuma carbonácea, que se expande cerca de 60x (ou mais) o volume original da tinta, promovendo a proteção térmica.

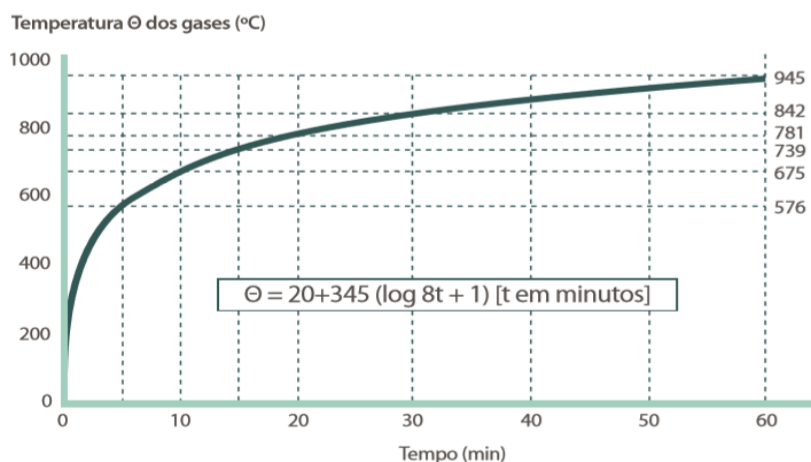
O uso destes produtos corresponde, em certos países, a mais do que 40% do mercado de produtos de proteção térmica usados em edifícios de múltiplos andares.

2.4 Considerações sobre a norma de desempenho – NBR 15.575 (2013)

2.4.1 Desempenho estrutural em situações de incêndio

Em situação de incêndio, há necessidade de se minimizar o risco de colapso estrutural da edificação. Os materiais empregados na estrutura e nas compartimentações devem estar em acordo com o TRRF – Tempo Requerido de Resistência ao Fogo, conforme a norma NBR 14.432(2000). Devem também ser atendidas normas específicas para o tipo de estrutura em questão. Para outros tipos de estrutura, a NBR 15.575 (2013) estabelece que deve ser obedecido o Eurocode correspondente, em sua última edição.

Figura 2 - Curva de crescimento da temperatura em forno de resistência ao fogo



Fonte: CBIC (2013)

São considerados os critérios abaixo para classificação da resistência ao fogo de componentes e elementos da construção (pilares, paredes, portas, etc.):

Estanqueidade: permite avaliar se as chamas e os gases quentes desenvolvidos no interior do ambiente em combustão são liberados por fissuras ou aberturas no elemento construtivo, podendo expor as pessoas e os objetos que se encontram na face não exposta ao fogo aos efeitos do incêndio;

Isolamento térmico: permite avaliar se o calor transmitido por radiação e condução através da superfície do elemento construtivo pode ameaçar a segurança das pessoas e dos objetos que se encontram na face não exposta ao fogo. Considera-se que o isolamento térmico deixa de ser atendido quando a temperatura da face não exposta ao fogo atinge $140^{\circ}\text{C} + T_{\text{ambiente}}$ na média, ou $180^{\circ}\text{C} + T_{\text{ambiente}}$ em qualquer ponto de medida;

Estabilidade: permite avaliar se o elemento ou sistema construtivo não perde seu caráter funcional, ou seja, se não apresenta ruína durante o tempo de ensaio. Vale ressaltar que, no caso de componentes com função estrutural, o ensaio é realizado com atuação da carga vertical de serviço a que o elemento estará submetido na obra real.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

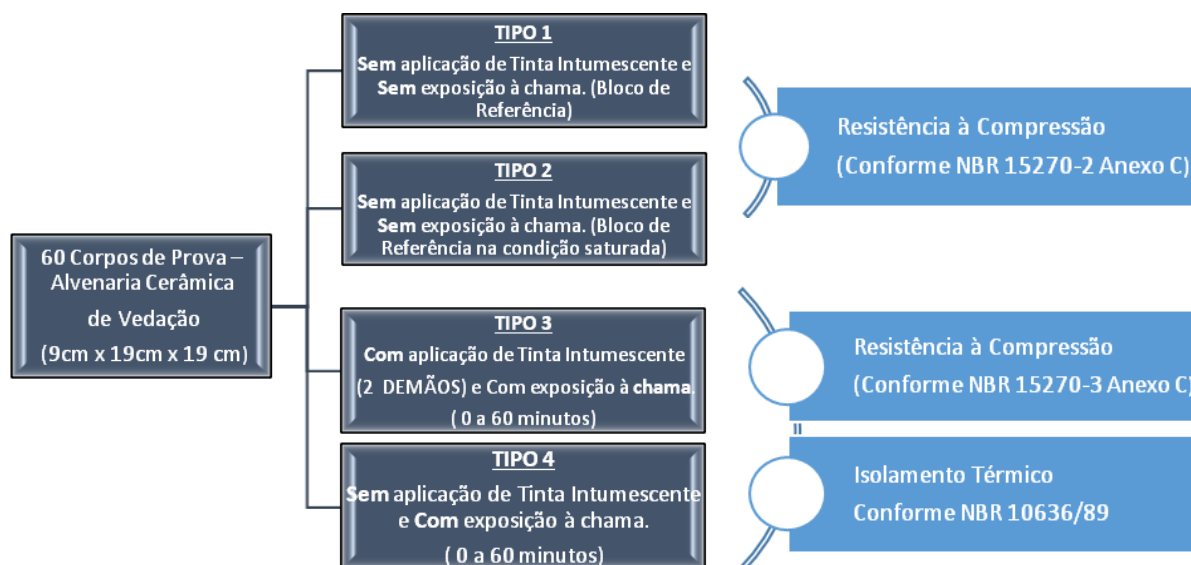
3.1 MATERIAIS E EQUIPAMENTOS

- ❑ 60 (sessenta) Blocos Cerâmicos de Alvenaria de vedação com 8 furos na horizontal e dimensões 9 cmX19cmX19cm, adquiridas no comércio de Recife-PE;
- ❑ Maçarico com Gás Butano (Temperatura da chama 1200°C);
- ❑ Termômetro Infravermelho Marca BENETECH modelo GM300 (Temperatura: -50°C a 380°C);
- ❑ Termômetro digital Salvterm 1200K (Temperatura: -50°C a 1350°C) com sensor de superfície com haste de 6,5mm de diâmetro por 260mm de comprimento;

- ❑ Tinta Intumescente CKC-333®;
- ❑ Rolo de espuma para aplicação da tinta intumescente;
- ❑ Equipamentos de Proteção individual: máscara, luvas e óculos de Proteção;
- ❑ Proteção do laboratório: Extintor Portátil de Pó Químico Seco de 4Kg.

3.2 CARACTERIZAÇÃO DOS TIPOS DE CORPOS DE PROVA

Os 60 (sessenta) corpos de prova foram distribuídos em 4 grupos (tipos) de 15 (quinze) blocos, sendo os dois primeiros grupos utilizados como base de referência para fins de análise de resistência à compressão (condição saturada e não saturada). Podemos verificar o organograma com o resumo dos ensaios, bem como, em seguida, o detalhamento da execução experimental por tipo.



É interessante ressaltar que o tempo de exposição ao fogo definido para os grupos 3 e 4 foi de 60 minutos em função de limitações de custo do combustível, por ser o tempo indicado pelo fabricante como tempo de proteção para 2 demãos de tinta, bem como por ser o dobro do tempo mínimo exigido para paredes estruturais até cinco pavimentos, segundo a norma de desempenho.

É importante mencionar que existem diferenças significativas entre ensaios para o sistema de vedação, prismas e blocos individualmente, bem como que os revestimentos desses últimos também influenciam nos testes. A análise será realizada no bloco cerâmico de vedação, sem qualquer tipo de revestimento que não seja a proteção da tinta intumescente (tipo 3). Essa condição, além de simular condições de muitas unidades habitacionais de baixa renda, também simula a condição mais extrema possível do material no caso de um incêndio.

A aplicação da chama, bem como as medições de temperatura foram realizadas no centro geométrico de todas as faces, com a finalidade de encontrarmos os maiores valores a que foram expostos, ficando a lata contendo o combustível a uma distância de 20 centímetros dos blocos expostos. A temperatura média ambiente durante os ensaios foi de 33°C.

3.2.1 Corpos de Prova Tipos 1 e 2 (Blocos de Referência)

Os 15 (quinze) blocos caracterizados como do tipo 1 são aqueles utilizados como referência para efeito de resistência à compressão. Para esses blocos não foram aplicadas proteções passivas nem exposição a nenhum tipo de chama, sendo conservados a temperatura ambiente. Já os 15 (quinze) blocos caracterizados como do tipo 2, diferentemente do modelo anterior foram ensaiados após 24h de imersão em água. No que se refere ao recebimento, preparação, acondicionamento dos corpos de prova e procedimentos estão de acordo com o previsto nas normas ABNT NBR 15270-1 e ABNT NBR 15270-2 e ABNT NBR 15270-3.

3.2.2 Corpo de Prova Tipo 3 (com aplicação de tinta intumescente e exposição direta a chama) e Corpo de Prova Tipo 4 (sem aplicação de tinta intumescente e exposição direta a chama)

Nos 15 (quinze) blocos caracterizados como do tipo 3, foram executados os procedimentos iniciais de caracterização e preparação (capeamento) idênticos aos já descritos para o tipo 1, porém, nesse tipo de bloco foram aplicadas 2 (duas) demãos de tinta intumescente, conforme descrição a seguir, além de exposição de cada bloco à 60 minutos de exposição direta a chama.

Foram aferidas, após a aplicação dos 60 minutos de exposição direta a chama, a temperatura da face que sofreu diretamente a aplicação da chama, a temperatura da face imediatamente oposta, através do primeiro septo do bloco e a temperatura da face do bloco sem aplicação de tinta intumescente.

Além do levantamento de temperaturas visando verificação da eficiência do isolamento térmico, após a exposição à chama, os blocos foram levados à prensa hidráulica para fins de verificação da resistência a compressão e carga máxima suportada.

A tinta escolhida para o ensaio foi a tinta intumescente da marca CKC-333, a qual foi selecionada em função da gama de certificações internacionais, bem como por ter sido a única marca, dentre as disponíveis no mercado nacional, que se dispuseram a apoiar esta pesquisa encaminhando amostra para teste.

A tinta intumescente CKC-333 é um revestimento interno à base de água acrílica, atóxico, inodoro, anti-mofo e anti-fungos, que a aproximadamente 200°C, dá início a um processo de expansão volumétrica, provocando o retardamento da elevação das temperaturas nos elementos de concretos, alvenarias e drywall.

Já nos 15 (quinze) blocos caracterizados como do tipo 4, foram executados os procedimentos iniciais de caracterização e preparação

(capeamento) idênticos aos já descritos para o tipo 1, porém, não foi aplicada proteção passiva por tinta intumescente, havendo 60 minutos de exposição direta à chama.

Foram aferidas as temperaturas, após a aplicação dos 60 minutos de exposição direta a chama, nos mesmos locais que os blocos do tipo 3, bem como, após o levantamento de temperaturas, os blocos foram levados a prensa hidráulica para fins de verificação da resistência a compressão e carga máxima suportada.

3.3 LEVANTAMENTO DE DADOS DO TIPOS DE CORPOS DE PROVA

Para os corpos de prova foram levantados os dados conforme tabelas 1 e 2, que seguem abaixo. Em Sales (2016) temos as tabelas com os dados completos da pesquisa.

Tabela 1 – Levantamento de dados para os blocos do tipo 1 e tipo 2 (Saturado).

PLANILHA DE LEVANTAMENTO DE DADOS								
TIPO 1 (Não Saturado) e TIPO 2 (Saturado)								
Bloco	Massa(Kg)	Dimensões			Vol. (cm³)	Dens.(Kg/cm³)	Cmax(KN)	R(MPa)
		C (cm)	L(cm)	H(cm)				

Os blocos dos tipos 3 e 4 foram submetidos a uma hora de incidência direta à chama e antes de serem levados a prensa hidráulica, para verificação da resistência a compressão e carga máxima suportada, foram aferidas as temperaturas nas faces onde a chama incidiu diretamente, na face imediatamente oposta, através do primeiro septo e na face mais distante da aplicação da chama. O procedimento experimental para os blocos do tipo 4 foi idêntico ao realizado com os blocos do tipo 3, porém, esses corpos de prova não receberam a proteção passiva por tinta intumescente.

Tabela 2– Levantamento de dados para os blocos dos tipos 3 e 4.

PLANILHA DE LEVANTAMENTO DE DADOS (BLOCO DE ALVENARIA CERÂMICA DE VEDAÇÃO)													
TIPO 3 (Com Proteção e Exposição ao Fogo)													
Bloco	Massa	Dimensões			Vol.	Dens.	Temperatura					Cmax(KN)	R(MPa)
	m(Kg)	C (cm)	L(cm)	H(cm)	cm³	Kg/cm³	Td(°C)	Ti1(°C)	Ti2(°C)	ΔT1(°C)	ΔT2(°C)		

Figuras 3 – Exposição direta a chama de blocos tipo 3 (com tinta intumescente)



4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Para a resistência dos blocos do tipo 1:

$$\bar{R}_1 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{15} R_i \rightarrow \bar{R}_1 = 2,484 MPa ; s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (R_i - \bar{R})^2}{n-1}} \rightarrow s \cong 0,70$$

Considerando os valores calculados anteriormente para média e desvio padrão, temos:

Para $k = 3$:

$$\bar{R}_1 \pm 3s \rightarrow 2,484 \pm 3.(0,70) \Rightarrow R_{1min} = 0,40 MPa \text{ e } R_{1máx} = 4,57 MPa$$

Para carga máxima suportada dos blocos do tipo 1:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (c_i - \bar{c})^2}{n-1}} \rightarrow s \cong 10,23$$

Para $k = 3$:

$$\bar{C}_{1\max} \pm 3s \rightarrow 39,997 \pm 3.(10,23) \Rightarrow \bar{C}_{1\max,\min} = 9,30KN \text{ e } \bar{C}_{1\max,\max} = 70,69KN$$

Para a resistência dos blocos do tipo 2:

$$\bar{R}_2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{15} R_i \rightarrow \bar{R}_2 = 2,036MPa; s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (R_i - \bar{R})^2}{n-1}} \rightarrow s \cong 0,46$$

Considerando os valores calculados anteriormente para média e desvio padrão, temos:

$$\bar{R}_2 \pm 3s \rightarrow 2,036 \pm 3.(0,46) \Rightarrow R_{2\min} = 0,66MPa \text{ e } R_{2\max} = 3,41MPa$$

Para carga máxima suportada dos blocos do tipo 2:

$$\bar{C}_{2\max} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{15} C_i \rightarrow \bar{C}_{2\max} = 33,505KN; s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (C_i - \bar{C})^2}{n-1}} \rightarrow s \cong 10,23$$

$$\bar{C}_{2\max} \pm 3s \rightarrow 33,505 \pm 3.(7,47) \Rightarrow \bar{C}_{2\max,\min} = 11,20KN \text{ e } \bar{C}_{2\max,\max} = 55,81KN$$

Se considerarmos três desvios padrão, temos que todos os valores para a resistência a compressão e carga máxima suportada dos blocos dos tipos 1 e 2 devem ser considerados como representativos.

Comparando os valores médios das resistências à compressão e as cargas máximas suportadas dos tipos 1 e 2, temos:

$$\frac{\bar{R}_1 - \bar{R}_2}{\bar{R}_1} = \frac{2,484 - 2,036}{2,484} = 0,18 \text{ ou } 18\% ;$$

$$\frac{\bar{C}_1 - \bar{C}_2}{\bar{C}_1} = \frac{39,997 - 33,505}{39,997} = 0,16 \text{ ou } 16\%$$

Realizou-se a análise de variância (ANOVA) para um único fator, que para os tipos 1 e 2 se distinguem pela condição saturada ou não. Realizamos a análise através do software MS Excel 2016, onde para os dados de resistência à compressão resultou a seguinte tabela:

Tabela 3 – ANOVA (Resistência Tipos 1 e 2)

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	1,506	1	1,506624	4,3395	0,046486	4,19597181
Dentro dos grupos	9,721	28	0,347186			

Podemos verificar que, como o valor de P encontrado (0,046) é menor do que o nível de significância estipulado que foi de 5% (0,05) ou, analisando de outra forma, como o valor de F (4,33) encontrado é maior do que o $F_{crítico}$ (4,19) então devemos rejeitar a hipótese nula (H_0) em que as médias seriam iguais. Dessa forma, podemos afirmar que as condições saturadas e não saturadas influenciam os resultados obtidos para a resistência à compressão.

Realizando a mesma verificação de representatividade dos dados coletados para os blocos dos tipos 3 e 4, verificamos que, para três desvios padrão, todos os dados são significativos.

Tabela 4 – Valores médios e desvios padrão para blocos do tipo 3.

Dados	TIPO 3 (Com Exposição à Chama e Com Proteção)						
	Temperatura (60' de exposição)					Cmax(KN)	R(MPa)
	Td(°C)	Ti1(°C)	Ti2(°C)	ΔT_1 (°C)	ΔT_2 (°C)		
Média (X)	938,067	187,000	40,920	751,067	897,147	37,993	2,380
Desvio Padrão (s)	54,61	10,62	2,00	57,89	54,21	7,19	0,42
X+3s	1101,89	218,85	46,91	924,75	1059,79	59,55	3,64
X-3s	774,25	155,15	34,93	577,39	734,50	16,44	1,12

Tabela 5 – Valores médios e desvios padrão para blocos do tipo 4.

Dados	TIPO 4 (Com Exposição à Chama e Sem Proteção)						
	Temperatura (60' de exposição)					Cmax(KN)	R(MPa)
	Td(°C)	Ti1(°C)	Ti2(°C)	ΔT_1 (°C)	ΔT_2 (°C)		
Média (X)	1166,33	509,73	92,82	656,60	1073,51	21,86	1,34
Desvio Padrão (s)	34,16	30,46	5,39	44,78	35,09	5,81	0,35
X+3s	1268,8	601,12	108,98	790,95	1178,78	39,28	2,40

	1						
X-3s	1063,8 6	418,35	76,66	522,25	968,24	4,45	0,29

Avaliando inicialmente a temperatura da face onde a chama incidiu diretamente, verificamos que as temperaturas variam aproximadamente 25% em termos médios.

$$\frac{\bar{T}_{ds} - \bar{T}_{dc}}{\bar{T}_{dc}} = \frac{1166,33 - 938,07}{938,07} = 0,2433 \text{ ou } 24,33\%$$

Quando analisamos as faces imediatamente opostas a aplicação da chama, a variação de temperatura entre os blocos com e sem proteção assume valores médios da ordem de 172% maiores quando os blocos não possuem proteção passiva.

$$\frac{\bar{T}_{fos} - \bar{T}_{foc}}{\bar{T}_{foc}} = \frac{509,73 - 187,00}{187,00} = 1,7258 \text{ ou } 172,58\%$$

Figura 4 – Comparativo das temperaturas das faces imediatamente opostas para os blocos com e sem proteção passiva, tipos 3 e 4 respectivamente.

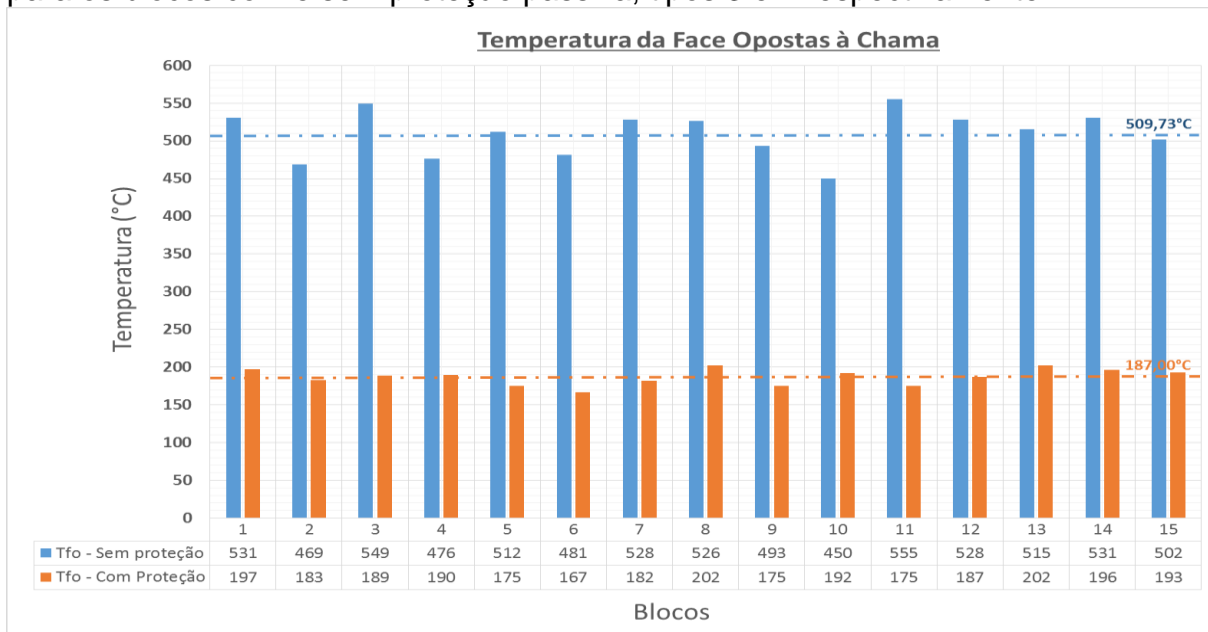
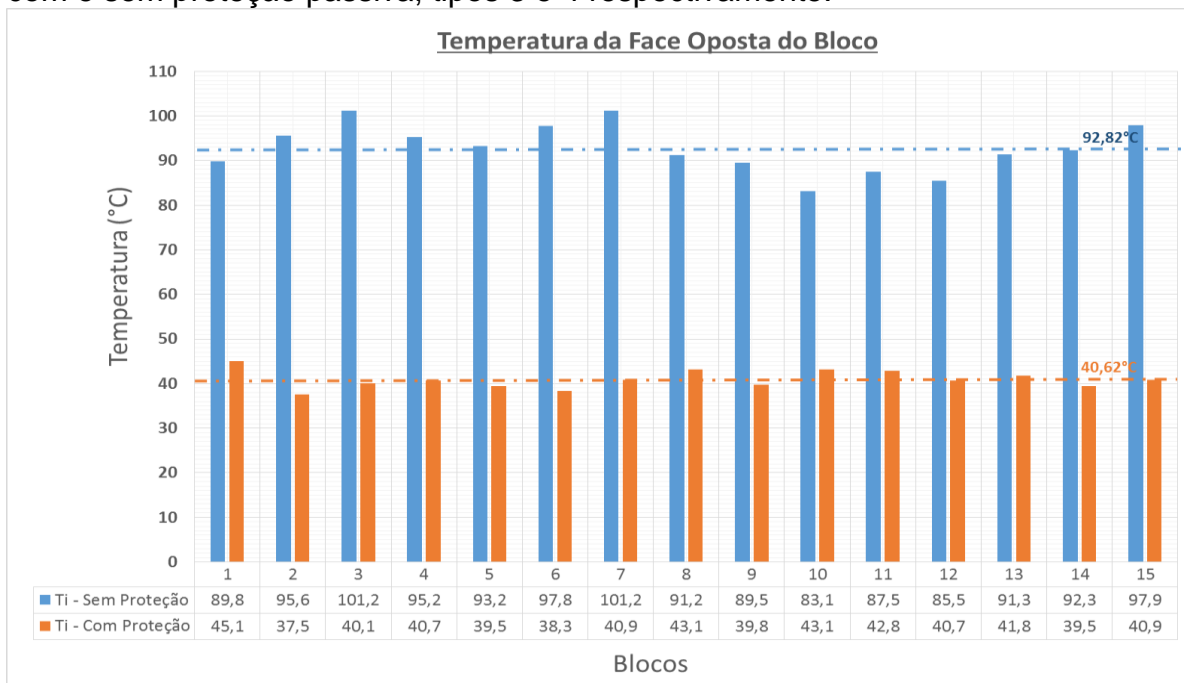


Figura 5 – Comparativo das temperaturas das faces opostas para os blocos com e sem proteção passiva, tipos 3 e 4 respectivamente.



Essa menor diferença entre as variações de temperatura, na face oposta mais distante deve ocorrer em virtude do isolamento térmico natural que o ar entre os septos proporciona ao bloco.

Verifica-se que nenhum dos blocos com proteção passiva atingiu temperaturas maiores que 46°C (figura 5).

$$\frac{\bar{T}_{i_s} - \bar{T}_{i_c}}{\bar{T}_{i_c}} = \frac{92,82 - 40,62}{40,62} = 1,285 \text{ ou } 128,50\%$$

Realizando análise de variância para o fator temperatura dos tipos 3 e 4, considerando as temperaturas de cada face medida, Verifica-se que para todos os grupos de medições de temperatura realizadas, o valor de P é inferior ao nível de significância estipulado de 5% (0,05), bem como o valor de F é inferior ao Fcrit. Dessa forma, rejeita-se a hipótese nula (H0) em que as médias seriam iguais. Portanto, podemos afirmar que os valores são distintos e as condições de proteção e sem proteção passiva, tornam as amostras distintas.

No que se refere ao comparativo da resistência à compressão e da capacidade máxima de carga entre os blocos com e sem proteção passiva, temos:

$$\frac{\bar{R}_c - \bar{R}_s}{\bar{R}_s} = \frac{2,38 - 1,34}{1,34} = 0,776 \text{ ou } 77,6\% ;$$

$$\frac{\bar{C}_c - \bar{C}_s}{\bar{C}_s} = \frac{37,993 - 21,860}{21,860} = 0,738 \text{ ou } 73,8\%$$

Verifica-se que após a exposição ao fogo, durante o período de 60 minutos, os blocos sem proteção diminuíram em média 70% de sua resistência à compressão e 67% da sua capacidade máxima de carga quando comparados aos blocos que possuíam a proteção passiva.

Pode-se ainda comparar os valores de resistência à compressão e capacidade de carga entre os blocos com proteção e os blocos do tipo 1 que foram aqueles que tiveram maiores valores de resistência e capacidade de carga, os quais escolhemos como referência.

$$\frac{\bar{R}_1 - \bar{R}_3}{\bar{R}_1} = \frac{2,484 - 2,38}{2,484} = 0,042 \text{ ou } 4,2\% ;$$

$$\frac{\bar{C}_1 - \bar{C}_3}{\bar{C}_1} = \frac{37,997 - 37,993}{37,997} = 0,000105 \text{ ou } 0,011\%$$

Figura 6 – Comparativo das resistências à compressão para os blocos com e sem proteção passiva, tipos 3 e 4 respectivamente.

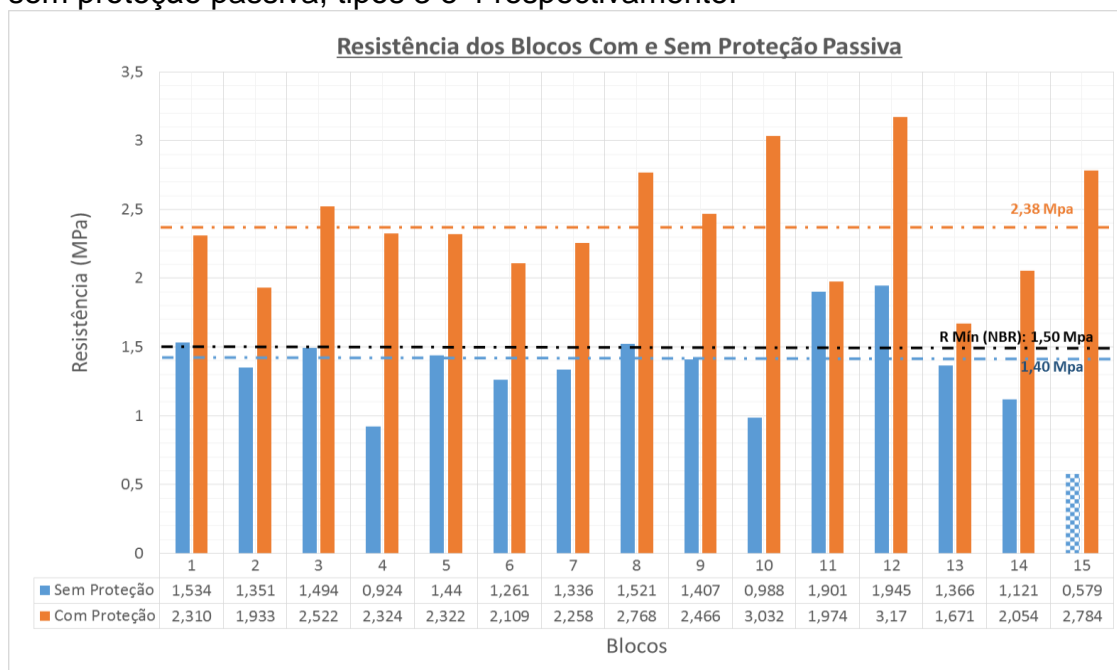
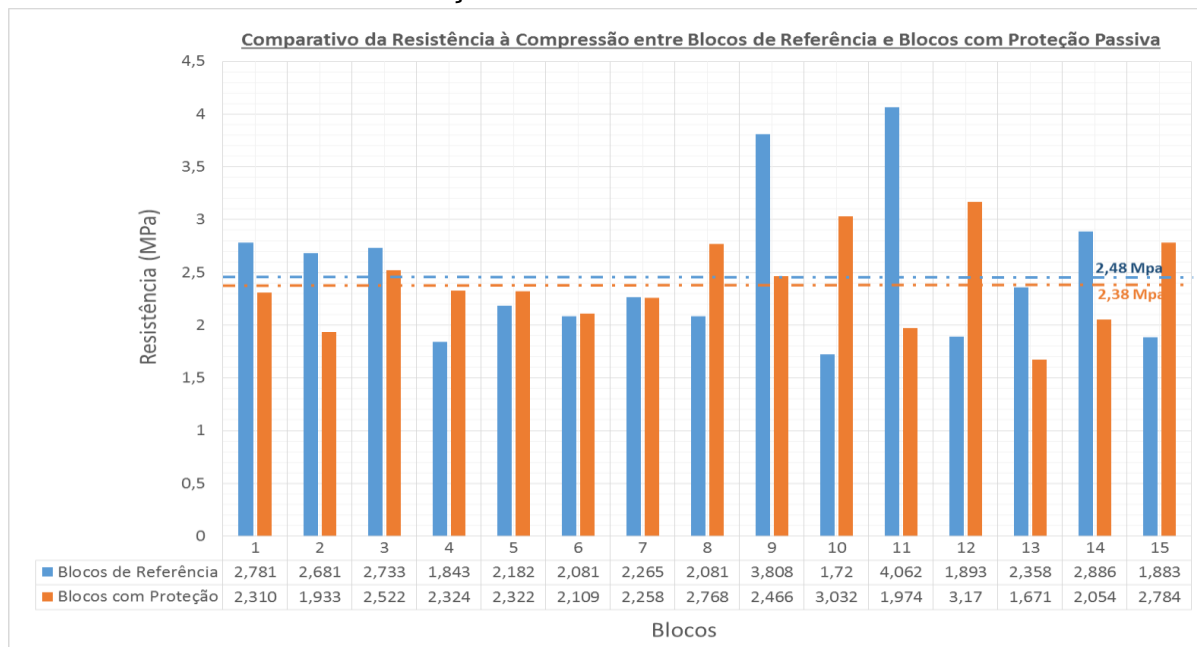


Figura 7 – Comparativo da Resistência à Compressão entre Blocos de Referência e Blocos com Proteção Passiva.



Verifica-se que quando comparamos os valores médios da resistência à compressão, temos uma pequena variação, cerca de 5%, o que também pode ser visto individualmente quando se analisa bloco a bloco (figura 7).

Tabela 6 – Resumo de Dados (resistência à compressão - tipos 3 e 4)

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	8,0383280	1	8,03832	53,7939	5,5E-08	4,19597
Dentro dos grupos	4,1839861	2	0,14942	6		2
	3	8	8			

Verifica-se que para, o valor de P é inferior ao nível de significância estipulado de 5% (0,05), bem como o valor de F é inferior ao F_{crit} . Pode-se afirmar que os valores são distintos e as condições de proteção e sem proteção passiva, tornam as amostras distintas.

Verifica-se que mesmo após 60 minutos de incidência direta da chama nos blocos do tipo 3, os quais possuíam proteção passiva por tinta intumescente, que os valores médios da resistência a compressão bem como da capacidade máxima de carga sofreram pequena variação, abaixo de 5%, quando comparados aos valores obtidos dos blocos de referência, demonstrando, além da excelente eficiência no isolamento térmico, que os parâmetros estruturais dos blocos foram mantidos.

Em função dessa pequena variação, realizamos novamente o teste de análise de variância com o intuito de verificar se as médias eram distintas.

Tabela 7 – ANOVA (Resistência a Compressão- tipos 1 e 3)

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	0,081	1	0,08112	0,245753	0,62395	4,195972
Dentro dos grupos	9,242	28	0,330088			

Dessa forma, como o valor de P encontrado (0,624) é bem superior ao nível de significância estipulado que foi de 5% (0,05) ou, analisando de outra forma, como o valor de F (0,245) encontrado é inferior do que o $F_{crítico}$ (4,19) então devemos aceitar a hipótese nula (H_0) em que as médias seriam iguais. Portanto, estamos considerando os conjuntos de blocos de referência, que não foram expostos, ao conjunto de blocos protegidos por tintas intumescentes, após 60 minutos de exposição, como idênticos.

Além disso, no que se refere a exigência da NBR 15270 (2005) - Componentes Cerâmicos - Parte 1 - Blocos Cerâmicos para alvenaria de vedação - Terminologia e requisitos, quanto à resistência à compressão mínima para blocos de vedação com furos da horizontal, todos os blocos com proteção passiva (tipo 3) permaneceram atendendo ao requisito normativo, que exige pelo menos 1,5 MPa. Já para os 15 blocos sem a proteção passiva (tipo 4), 11 (onze) blocos tiveram resistência menor do que o exigido pela norma brasileira e 2 (dois) ficaram muito próximos desse valor.

Em termos de custo benefício, podemos dizer que os materiais retardantes e de proteção passiva foram beneficiados pelo maior emprego e disseminação no Brasil, o que fez com que os custos também caíssem consideravelmente.

Hoje em dia é possível realizar o tratamento de tecidos a R\$7,00/m² e pinturas intumescentes a R\$17,00/m². As madeiras envernizadas, por ser um material mais nobre, de altíssima tecnologia, e ainda por cima produzido no Reino Unido, apresenta um preço de R\$30-35/m². Para o produto utilizado na pesquisa temos um custo de aproximadamente R\$45/m².

Considerando que atualmente os revestimentos empregados em projetos novos ou de reforma, chegam a custar até R\$350/m² sem muita dificuldade, justifica-se bastante o emprego de retardantes e materiais de proteção passiva.

Percentualmente, a proteção passiva de uma edificação completa, incluindo as suas áreas comuns, não passa de 0.3% do seu orçamento total. Se incluirmos todos revestimentos internos usados pelos arquitetos e decoração, não irá ultrapassar em média 0,6% do custo do prédio.

5. CONCLUSÕES

Gostaríamos, ao final desse trabalho, de fomentar a proteção contra incêndios através da utilização de proteção passiva por meio de tintas intumescentes. Tudo aquilo que em Segurança do Trabalho e mais especificamente em Proteção Contra Incêndio acreditamos ser custo, na verdade vem a salvaguardar nosso maior bem que é a vida. Sem mencionar outros prejuízos como patrimônio e meio ambiente.

É importante comentar que acreditamos que eventos semelhantes ao de Santa Maria/RS em 2013 ultrapassam os limites da engenharia e das normas de prevenção contra incêndio e adentram em questões de ordem cultural do Brasil. Independentemente da quantidade de saídas de emergência ou de suas dimensões, se, em caso de sinistro, essas vias são interrompidas por

seguranças do estabelecimento que são orientados a bloquear a passagem até que o cidadão pague a conta, a questão passa a ser de outra ordem.

Da mesma forma que, estabelecimentos conseguem aprovação para seu funcionamento com determinada capacidade de público, mas na prática os empresários e/ou proprietários ultrapassam e muito esse limite na busca pelo lucro excessivo. Nenhum órgão de fiscalização do Brasil, tais como CREA, Corpos de Bombeiros Militares, Prefeituras conseguem ser onipresentes e suplantar essas questões culturais, que também passam pela consciência do usuário (cidadão) de não frequentar locais inseguros ou que excedam a capacidade de público.

Questões como essas poderiam ser resolvidas através de leis e decretos que estabelecessem, por exemplo, a extinção dos cartões de consumo em boates e locais de reunião de público, devendo o consumo nesses estabelecimentos ser pago de forma imediata, bem como com controle visível e contagem do número de pessoas que estão dentro do estabelecimento em tempo real. Mas infelizmente, essas questões não são prioridades para os empresários e políticos brasileiros, nem tampouco são fiscalizadas pela população em sua maioria.

Após análise e dos dados e resultados obtidos ao longo desse trabalho é possível extrair as seguintes conclusões que seguem abaixo.

Quando submetidos à análise de variância (ANOVA) de um único, foram considerados distintos (médias diferentes) os fatores saturação dos blocos, temperaturas e resistência à compressão dos blocos com e sem proteção, indicando que os fatores escolhidos tornavam as amostras distintas. Já quando realizamos a mesma análise de variância para os blocos de referência e os blocos com proteção, após 60 minutos de inocência da chama, verificamos que os grupos seriam idênticos do ponto de vista dessa análise, reforçando ainda mais o efeito da proteção passiva.

Quando se compara os valores de resistência à compressão e capacidade máxima de carga dos blocos escolhidos como referência (tipos 1 e 2), encontramos uma variação nos valores inferiores a 18%, em termos médios, nas condições não saturadas e saturadas.

A temperatura da face diretamente exposta a chama, medida em seu ponto mais desfavorável, é em média 25% inferior quando o bloco possui proteção passiva por tintas intumescentes, proporcionando uma melhora significativa no ambiente do ponto de vista da evacuação além de preservar ainda mais as características dos materiais construtivos do local.

Após a incidência da chama por 60 minutos e ao analisar as temperaturas das faces imediatamente opostas a aplicação da chama dos blocos dos tipos 3 e 4, encontra-se uma diferença superior a 170% naqueles em que não existe a proteção passiva, o que nos mostra a relevância da aplicação da proteção para redução do gradiente térmico da parede em situação de incêndio.

A variação da temperatura do bloco como um todo (faces opostas mais distantes) tem valor também significativo, em torno de 128%, que é inferior ao anteriormente citado, em função do isolamento térmico natural do ar, fato que nos leva a concluir que a configuração do bloco perfurado é superior, em termos de isolamento térmico, ao bloco maciço.

A resistência à compressão e capacidade máxima de carga dos blocos com proteção passiva foram cerca de 70% superiores aos blocos sem proteção, após 60 minutos de exposição direta a chama;

Mais de 70% dos blocos sem proteção passiva e que foram expostos a chama tiveram resistência a compressão inferior a 1,50 MPa, mínimo estipulado pela norma brasileira, enquanto 100% dos blocos com proteção tiveram valores superiores ao que solicita a norma, além de diferir menos que 5% dos valores considerados como padrão de referência, mesmo após 60 minutos de exposição.

Sabe-se que, além da questão cultural e política do Brasil não valorizar a prevenção ou manutenção de obras, os investimentos na área de segurança normalmente são escassos, isso quando ocorrem. A proteção passiva é com certeza uma excelente opção quando estamos tratando de áreas críticas como saídas de emergências, locais com potencial reunião de público, alto risco e concentração de material combustível, bem como edificações cujo perfil e propósito impedem intervenções estruturais como igrejas e sítios históricos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14432**: Exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações – Procedimento. Rio de Janeiro, 2000.

_____. **NBR 15270**: Componentes cerâmicos Parte 1: Blocos cerâmicos para alvenaria de vedação – Terminologia e requisitos. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 15270**: Componentes cerâmicos Parte 2: Blocos cerâmicos para alvenaria estrutural – Terminologia e requisitos. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 15270**: Componentes cerâmicos Parte 3: Blocos cerâmicos para alvenaria estrutural e de vedação – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 15575**: Edificações habitacionais – Desempenho Parte 4: Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas. Rio de Janeiro, 2013.

BRASIL, CKC do. **Proteção Passiva Contra Incêndio**. Disponível em: <<http://ckc.com.br>>. Acesso em: 27 dez. 2015.

CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO (CBIC). **Desempenho de edificações habitacionais: guia orientativo para atendimento à norma ABNT NBR 15575/2013**. Fortaleza, Gadioli Cipolla Comunicação, 2013.

CHICHIERCHIO, L. C. Conforto ambiental: Desempenho térmico e acústico e proteção contra o fogo. In: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA CONSTRUÇÃO

Revista FLAMMAE

Revista Científica do Corpo de Bombeiros Militar de Pernambuco

Seção 1 – Artigos Técnico Científicos

Artigo publicado no Vol.02 Nº05 - Edição Especial 2016 - ISSN 2359-4829

Versão on-line disponível em: <http://www.revistaflammae.com>

INDUSTRIALIZADA - ABCI. **Manual técnico de alvenaria**. São Paulo: ABCI, p. 119-141, 1990.

COELHO, A. L. **Incêndios em edifícios**. Editora Orion, primeira edição – outubro de 2010.

MEYER, U. **Extended Application Rules for the fire performance of masonry walls**. In: 7th INTERNATIONAL MASONRY CONFERENCE, 2006, Londres. Disponível em: < <http://www.masonry.org.uk/> >. Acesso em: 06 dez. 2015.

OLIVEIRA, L. A. P. de. **Estimativa da resistência ao fogo de paredes de alvenaria pelo critério de isolamento térmico**. Boletim Técnico da Faculdade de Tecnologia de São Paulo, nº 05, dezembro, 10 p. 1998.

ONO, R. Parâmetros para garantia da qualidade do projeto de segurança contra incêndio em edifícios altos. **Ambiente Construído**. Porto Alegre, v. 7, n. 1, p. 97-113, 2007.

SALES, C. **Análise da resistência ao fogo de blocos de alvenaria cerâmica de vedação utilizando proteção de tinta intumescente**. 2016. 125 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Católica de Pernambuco, Recife. 2016.

SEITO, A. I. et al. **A Segurança contra Incêndios no Brasil**. São Paulo: Projeto Editora. 2008. p496,497.

THOMAZ, E.; HELENE, P. **Qualidade no projeto e na execução de alvenaria estrutural e de alvenarias de vedação em edifícios**. Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, BT/PCC/252. São Paulo: EPUSP, 2000. 31 p.