

Universidade Federal do Rio de Janeiro

Determinação experimental das propriedades de combustão de materiais com
base em poliuretano usados na construção civil

César Augusto Martins Vaz Filho

Macaé

2019

Determinação experimental das propriedades de combustão de materiais com
base em poliuretano usados na construção civil

César Augusto Martins Vaz Filho

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Curso de Graduação em Engenharia Civil
da Universidade Federal do Rio de Janeiro -
Campus Macaé, como requisito parcial para
aquisição do título de engenheiro civil.

Orientadora: Profa. Dra. Monique Amaro

Macaé

Novembro de 2019

Determinação experimental das propriedades de combustão de materiais com base em poliuretano usados na construção civil

César Augusto Martins Vaz Filho

PROJETO DE GRADUAÇÃO SUBMETIDO AO CORPO DOCENTE DO CURSO DE ENGENHARIA CIVIL DE MACAÉ DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE ENGENHEIRO CIVIL

Examinado por:

Prof. Conrado Vidotte Plaza, D.Sc

Universidade Federal do Rio de Janeiro

Prof. Rafael Malheiro da Silva do Amaral Ferreira, D.Sc

Universidade Federal do Rio de Janeiro

Prof. Monique de Freitas Rocha, D.Sc

Universidade Federal do Rio de Janeiro

MACAÉ, RJ - BRASIL

NOVEMBRO DE 2019

CIP - Catalogação na Publicação

V393d Vaz Filho, César Augusto Martins
Determinação experimental das propriedades de combustão de materiais com base em poliuretano usados na construção civil / César Augusto Martins Vaz Filho. -- Rio de Janeiro, 2019.
52 f.

Orientadora: Monique Amaro de Freitas Rocha.
Trabalho de conclusão de curso (graduação) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Campus Macaé Professor Aloisio Teixeira, Bacharel em Engenharia Civil, 2019.

1. Espuma PU. 2. Incêndio. 3. Taxa de perda de massa. I. Rocha, Monique Amaro de Freitas, orient. II. Título.

Resumo do projeto de graduação apresentado à escola de Macaé/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de engenheiro civil.

Determinação experimental das propriedades de combustão de materiais com base em poliuretano usados na construção civil

César Augusto Martins Vaz Filho

Novembro/2019

Orientadora: Monique Amaro

Curso: Engenharia civil

O presente trabalho relata a influência da espuma de poliuretano em situações de incêndio. Foram feitas consultas a diversas referências bibliográficas, relatórios periciais, mídia e ensaios já realizados, envolvendo os incêndios dos seguintes locais: The nightstate club, Boate Kiss, colectiv club e ninho do urubu, avaliando a influência dos materiais em estudo nas circunstâncias dos incêndios. Além da revisão bibliográfica, foi realizado um ensaio experimental através do equipamento cone calorímetro de perda de massa onde a espuma apresentou comportamento indesejável de reação ao fogo. Dessa forma, tornam-se fundamentais os meios de proteção passiva e ativa como medidas preventivas, uma vez que fornecem também uma proteção aos elementos estruturais, bloqueando, ou pelo menos dificultando, a ação dos meios externos na estrutura da edificação quando bem empregados. A partir disto, há uma melhor oportunidade para se efetuar um comparativo entre os incêndios, averiguando mudanças e semelhanças entre os ocorridos e de se enfatizar a importância da adoção de métodos prevenção e combate ao incêndio.

Palavras-chave: Edificações em situação de incêndio, Espuma de poliuretano, proteção ao incêndio e pânico

Abstract of undergraduate Project presented to Macaé/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of engineer.

Experimental determination of combustion properties of polyurethane-based materials used in construction

César Augusto Martins Vaz Filho

November/2019

Advisor: Monique Amaro

Course: Civil engineering

The present work reports the influence of polyurethane foam in fire situations. Several bibliographies, newspaper articles, reports and test were consulted, involving the fires on this places: The nightstate club, Boate Kiss, collectiv club and ninho do urubu, evaluating the influence of the materials under study on the circumstances of the fires. In addition to the literature review, an experimental test were conducted through the mass loss cone calorimeter equipment where the foam showed undesirable reaction behavior to fire. thus, passive and active means of protection are essential as preventive measures, since they also provide protection to structural elements, blocking or at least hindering the action of external means in the structure of the building when properly employed. From this, there is a better opportunity to make a comparison between fires, ascertaining changes and similarities between those occurred and to emphasize the importance of adopting fire prevention and fire fighting methods.

Keyword: Buildings in fire situation, Polyurethane foam, protection of fire and panic

Sumário

1	Introdução.....	1
1.1	Motivação	1
1.2	Objetivos	2
1.3	Organização da monografia	3
2	Revisão da literatura	4
2.1	Espuma de poliuretano.....	4
2.2	Conceituando incêndio	4
2.3	Segurança contra incêndio em edificações	7
2.4	Tempo requerido de resistência ao fogo	8
2.5	Meios de prevenção	9
2.6	Princípio de extinção	10
3	Histórico de incêndio envolvendo poliuretano.....	12
3.1	The station nightclub – West Warwick, USA 2003.	12
3.2	Boate Kiss – Santa Maria, Brasil 2013.	15
3.3	Colective Nightclub – Bucarest, Romênia 2015	16
3.4	Ninho do urubu – Rio de Janeiro, Brasil	17
4	Metodologia de pesquisa.....	19
4.1	Método para a avaliação de inflamabilidade	19
4.2	Cone calorímetro de perda de massa	19
4.3	Amostras	20
4.4	Equipamento de proteção individual	21

4.5 Ensaio	22
5 Análise dos resultados experimentais	24
5.1 Taxa de liberação de calor – TLC	26
5.2 Pico da taxa de liberação de calor – PTLC	27
5.3 Calor total liberado – CTL.....	28
5.4 Taxa de perda de massa – TPM	30
5.5 Tempo total de ignição – TTI.....	31
5.6 Tempo total de combustão – TTC	32
6 Conclusões	34
7 Bibliografia.....	35
Anexo	38

Lista de abreviaturas

CCPM	cone calorímetro de perda de massa
CTL	calor total liberado
EPI	equipamento de proteção individual
EPU	espuma de poliuretano
NIST	National Institute of standards and technology
PTLC	pico do TLC
PU	poliuretano
TI	tempo de ignição
TIG	temperatura de ignição
TLC	taxa de liberação de calor
TPM	taxa de perda de massa
TRF	tempo de resistência ao fogo
TRRF	tempo requerido de resistência ao fogo
TTC	tempo total de combustão

1. Introdução

Os materiais constituídos por poliuretano (PU) vem ganhando destaque na construção civil por possuírem uma série de vantagens, como elasticidade, facilidade no corte e modelagem, bom isolamento térmico e acústico, baixo custo e menor peso comparado às técnicas construtivas anteriores (como de alvenaria). Apesar disso, devido à fórmula dos compostos orgânicos e sua alta inflamabilidade, a combustão do poliuretano produz gases óxidos do tipo cianeto, monóxido e dióxido de carbono. Os gases do cianeto são letais aos seres humanos: recentes estudos indicam que uma concentração de 270 ppm no sangue humano é considerada letal instantaneamente. O gás monóxido de carbono é originado pela combustão incompleta de compostos orgânicos e, devido ao seu caráter instável, se liga facilmente a hemoglobina presente no sangue humano, podendo causar asfixia. Incêndio é a ocorrência de fogo não controlado, que pode ser extremamente perigosa para os seres vivos e estruturas. Dessa forma, a engenharia procura meios de atenuar os perigos iminentes dessas situações.

1.1. Motivação

Há uma diversa área de aplicabilidade da espuma PU, pois o material é comumente utilizado como isolamento térmico e acústico de baixo custo. Por outro lado, exemplos de catástrofes envolvendo esse material exposto a incêndios não faltam. Inicialmente, destaca-se o container do Centro de Treinamento George Helal, também conhecido como Ninho do Urubu (Figura 1), que era revestido internamente com a espuma de PU, em um incêndio ocorrido em 2019 ocasionou a morte de 10 pessoas e 3 feridos (Fonte: Globo Esporte, 2019). Destaca-se ainda o incêndio ocorrido na Boate Kiss (Figura 2), em 2013, na cidade de Santa Maria. Esta boate foi revestida com a espuma em questão de

forma amadora e sem acompanhamento profissional, ocasionando a morte de 242 pessoas e 636 feridos (Fonte: VEJA, 2013).



Figura 1. Incêndio no Ninho do Urubu, Rio de Janeiro em 08/02/2019. (Fonte: GE.globo 2019)

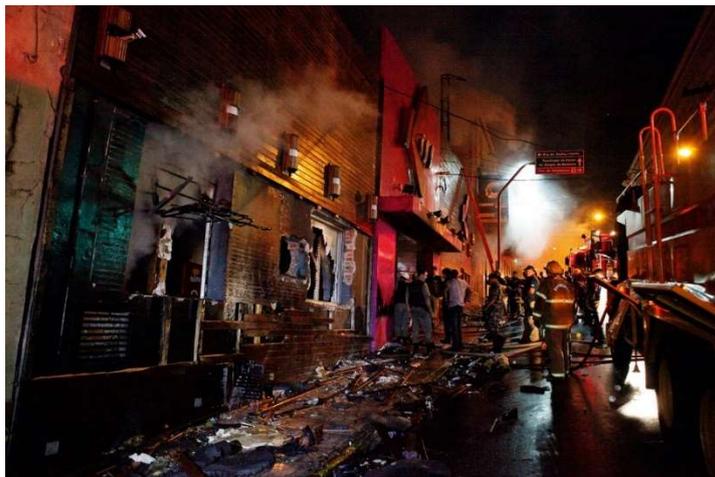


Figura 2. A tragédia da Boate Kiss, Rio Grande do Sul em 27/01/2013. (Fonte: VEJA 2013)

Entretanto, como qualquer material de construção em geral [...], exige características adequadas de reação/resistência ao fogo, definidas por parâmetros fornecidos por normas específicas de segurança contra incêndios, visando minimizar a ignição, propagação de chamas e produção excessiva de fumaça/toxidade. (ROCHA, 2018)

Sendo assim, esse trabalho tem como principal motivação detalhar, através de diversas fontes, os principais problemas envolvidos com relação a segurança nos incêndios exemplificados.

1.2. Objetivos

O objetivo geral deste trabalho é determinar as propriedades da espuma PU em situação de incêndio generalizado utilizando o ensaio de cone calorímetro de perda de massa (CCPM). Com o CCPM é possível obter de forma quantitativa a taxa de liberação de calor por unidade de superfície e tempo (TLC), calor total liberado (CTL), taxa de perda de massa (TPM), tempo total de ignição (TI) e tempo total de combustão (TTC). Também foi medida, com o auxílio de um termômetro a laser, a temperatura de ignição (TIG). Através deste teste, é possível avaliar os impactos desse material e a partir disso, criar parâmetros para elaboração de um sistema de avaliação da reação ao fogo.

1.3. Organização da monografia

Na próxima etapa da monografia, será feita uma revisão bibliográfica conceituando o incêndio e abordando conceitos básicos sobre calor desenvolvido, tempo de resistência ao fogo - TRF, proteção passiva e ativa ao incêndio.

No capítulo 3, será feita uma abordagem histórica com três exemplos de incêndio, todos envolvendo a espuma PU, explicando como se dá o desenvolvimento e as principais falhas na proteção.

No capítulo 4, serão apresentados a metodologia de pesquisa, o ensaio e o funcionamento do CCPM e os corpos de prova. No capítulo 5, será feita a análise de dados obtidos no ensaio e, por fim, no capítulo 6, será apresentada a conclusão do autor.

2. Revisão da literatura

2.1. Espuma de poliuretano

Os materiais termo-acústicos são materiais que permitem, de forma individualizada ou em conjunto, a isolamento da área interior em relação à exterior e vice-versa. Geralmente, são empregados no interior das paredes ou misturados à matéria prima, mas também podem ser empregados individualmente em portas, janelas, pisos e tetos. Entre os materiais mais utilizados podemos destacar: as lãs, como a lã de rocha e de vidro; a vermiculita; as fibras, como a fibra de coco, e; as espumas plásticas/elastoméricas (DELL' ANTÔNIO, 2011).

Os elementos termo acústicos devem obedecer a um tempo de resistência ao fogo mínimo, tempo esse determinado através de ensaios laboratoriais padronizados. A resistência inclui, além das características físicas e mecânicas de integridade e estanqueidade, a continuidade da função termo acústica, não devendo ser realizado o emprego de materiais de baixa resistência que não atendam a estes critérios. Outro fator que deve ser observado dentro das propriedades termo acústicas é a presença de enchimentos nas paredes de alvenaria com blocos vazados. Essa característica da alvenaria, apesar de aumentar a condutibilidade térmica, quando bem empregada pode aumentar a capacidade de isolamento térmico do conjunto da alvenaria, se tornando um grande aliado no combate ao incêndio (OLIVEIRA, 1998).

A espuma de poliuretano é um material termo-acústico de amplo uso na construção civil. É um material de baixo custo que tem propriedades térmicas e acústicas. É usada para assentamento, vedação, calafetação, isolamento e fixação. A espuma expansiva é um selante e adesivo elástico de poliuretano, desenvolvido para uso por profissionais. Absorve barulho e vibrações naturais, não encolhe e não cede a pressão.

2.2. Conceituando o incêndio

Em uma situação de incêndio temos a presença de calor fumaça e fogo. O fogo, de acordo com a NBR 13860, é definido como o processo de combustão caracterizado pela emissão de calor e luz. Para ter o fogo é necessário o que conhecemos como tetraedro do fogo, sendo eles: combustível, comburente, calor e reação em cadeia.

Segundo Pignatta & Vargas (2010), o combustível é substância que reage com o comburente, capaz de produzir energia em forma de calor por meio de reação química da combustão. O Comburente é a substância que alimenta a reação química da combustão. Normalmente o comburente presente em incêndios é o oxigênio. A reação em cadeia é definida como uma sequência de reações de combustão. Tal fenômeno ocorre devido ao calor liberado ser maior que a energia de ativação da reação, o que torna suficiente para manter a combustão.

Segundo Pignatta & Vargas (2010), o calor é definido como energia térmica em trânsito. Tal energia tem fluxo do corpo da maior temperatura para o de menor temperatura. Existem três formas de transferência: convecção, condução e radiação. A convecção é a transferência que ocorre entre uma superfície e um fluido em movimento (nos casos de incêndio, normalmente o ar). Na condução o calor percorre através do meio material através do contato. O último consiste em transferência de calor em formas de onda eletromagnética, nesse caso não é necessário o meio material.

O incêndio pode ser dividido em três etapas: ignição, aquecimento brusco e extinção. A ignição é a fase caracterizada pelo surgimento do primeiro foco de incêndio. O aquecimento brusco é a fase caracterizada pelo crescimento rápido da temperatura no ambiente, fenômeno conhecido como flashover. Após a falta de combustível ou comburente no meio, o incêndio terá sua intensidade reduzida até seu fim, fase caracterizada por extinção.

Pode-se dizer que as fases de um incêndio real estão relacionadas às suas categorias de risco, com isso a evolução do incêndio é caracterizada por três fases, conforme (Figura 3): a fase inicial ou ignição (primeira fase), fase de

inflamação generalizada ou flashover (segunda fase) e a fase de extinção ou o que se chama de fase de resfriamento (terceira fase) (COSTA, 2008).

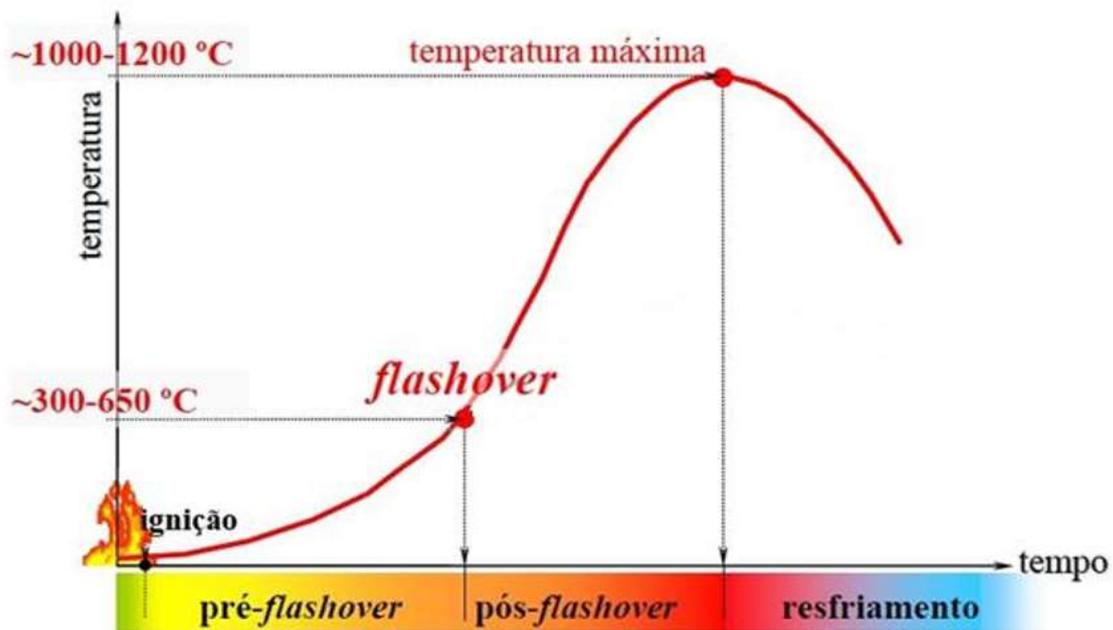


Figura 3. Fases principais de um incêndio real (COSTA, 2008).

Incêndio padronizado é utilizado para estimar a temperatura dos gases em um incêndio definido como padrão. Tem como base a norma americana ASTM E-119 (1918) e a britânica BS 476 (1932).

$$\theta_g = 20 + 345 \log(8t + 1) \quad \text{EQ 1}$$

Onde θ_g é a temperatura dos gases em °C e t é o tempo em minutos.

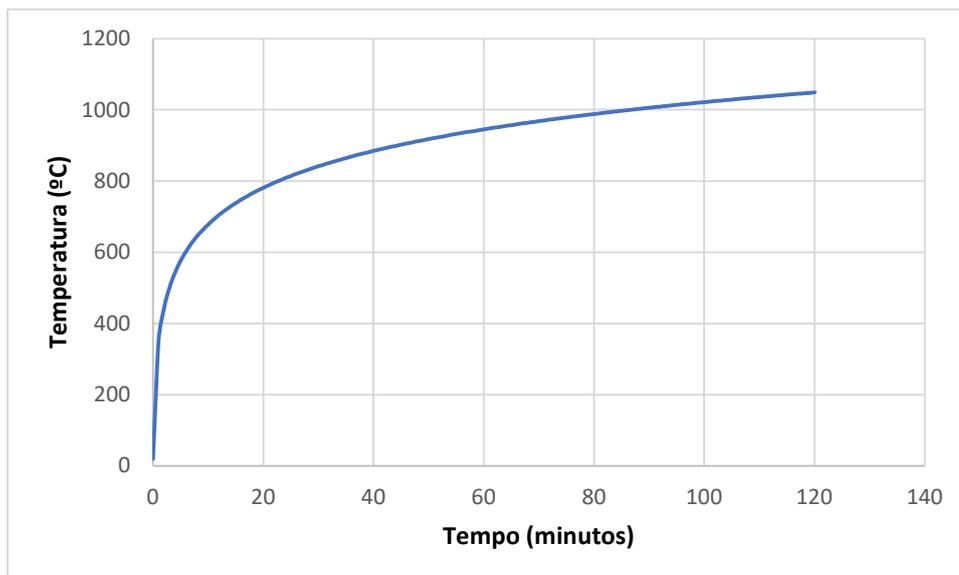


Figura 4. Gráfico de dispersão da equação θ_g (COSTA, 2008).

A curva-padrão não representa uma situação real de incêndio, uma vez que as características do cenário de incêndio podem variar de um compartimento para o outro. Portanto, qualquer conclusão com base nessa curva deve ser analisada com cuidado (COSTA & SILVA, 2003).

2.3. Segurança contra incêndio em edificações

A principal finalidade da “segurança contra incêndio em edificações” é minimizar o risco à vida das pessoas expostas ao sinistro. Uma vida humana é perdida a cada dez minutos devido a incêndios, segundo estatísticas internacionais. [...] Entende-se, portanto, como risco a vida, a exposição severa dos usuários da edificação à fumaça, ao calor e aos gases quentes, e em menor nível, à falência de elementos construtivos (PIGNATTA & VARGAS 2010).

Um elemento construtivo pode ser analisado sob o aspecto da sua resistência ao fogo e sob o aspecto da sua reação ao fogo. Resistência ao fogo trata da capacidade de um elemento construtivo de suportar os efeitos de um incêndio sem deixar de exercer suas funções (estanqueidade, isolamento térmico, incolumidade). Já reação ao fogo trata das características de combustão de

elementos incorporados aos revestimentos e acabamentos, como a velocidade de propagação do fogo na superfície de um dado material, a quantidade de calor necessária para iniciar a ignição, quantidade de fumaça gerada, etc. (Pignatta & Vargas 2010).

Outra finalidade da “segurança contra incêndio em edificações” é a redução das perdas patrimoniais (Figura 5). Considera-se perda patrimonial, aquela causada pela destruição parcial ou total da edificação e do seu conteúdo como consequência do incêndio (Pignatta & Vargas 2010).

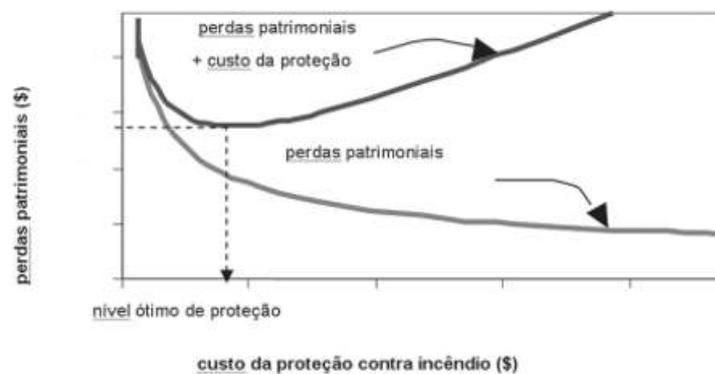


Figura 5. Custo da proteção contra incêndio (Pignatta & Vargas 2010)

Uma estrutura, é considerada segura quando apresenta capacidade de atender seu estado limite de serviço sem grandes deformações. Uma estrutura em situação de incêndio é considerada segura quando suporta, em situação de pânico, os esforços sem colapsar.

2.4. Tempo requerido de resistência ao fogo (TRRF)

O Tempo Requerido de Resistência ao Fogo pode ser definido como o tempo mínimo, descrito em minutos, de resistência ao fogo que um elemento construtivo, quando sujeito ao incêndio-padrão, deve resistir. (com respeito à integridade, estanqueidade e isolamento, onde aplicável) (NBR 14432:2001).

A NBR 14432:2001 indica os tempos requeridos em norma que devem ser respeitados pelas edificações brasileiras (Figura 6)

Tabela A.1 – Tempos requeridos de resistência ao fogo (TRRF), em minuto

Grupo	Ocupação	Divisão	Profundidade do subsolo					Altura da edificação				
			Classe S _r h _s > 10 m	Classe S ₁ h _s ≤ 10 m	Classe P ₁ h ≤ 6 m	Classe P ₂ 6 m < h ≤ 12 m	Classe P ₃ 12 m < h ≤ 23 m	Classe P ₄ 23 m < h ≤ 30 m	Classe P ₅ h > 30 m			
A	Residencial	A-1 a A-3	90	60 (30)	30	30	60	90	120			
B	Serviços de hospedagem	B-1 e B-2	90	60	30	60 (30)	60	90	120			
C	Comercial varejista	C-1 a C-3	90	60	60 (30)	60 (30)	60	90	120			
D	Serviços profissionais, pessoais e técnicos	D-1 a D-3	90	60 (30)	30	60 (30)	60	90	120			
E	Educacional e cultura física	E-1 a E-6	90	60 (30)	30	30	60	90	120			
F	Locais de reunião de público	F-1, F-2, F-5, F-6 e F-8	90	60	60 (30)	60	60	90	120			
G	Serviços automotivos	G-1 e G-2 abertos lateralmente e G-3 a G-5	90	60 (30)	30	60 (30)	60	90	120			
		G-1 e G-2 abertos lateralmente	90	60 (30)	30	30	30	30	60			
H	Serviços de saúde e institucionais	H-1 a H-5	90	60	30	60	60	90	120			
		I-1	90	60 (30)	30	30	60	90	120			
I	Industrial	I-2	120	90	60 (30)	60 (30)	90 (60)	120 (90)	120			
		J-1	90	60 (30)	30	30	30	30	60			
J	Depósitos	J-2	120	90	60	60	90 (60)	120 (90)	120			

/ANEXO B

Figura 6. Tempos requeridos de resistência ao fogo –TRRF (NBR 14432:2001).

A tabela indica valores, em minutos, que as edificações devem suportar de acordo com o incêndio padrão em função da altura e tipo de ocupação.

2.5. Meios de prevenção

Para garantir a segurança estrutural da edificação em situação de incêndio há um conjunto de regras e normas regulamentadas pelo COSCIP - Código de segurança contra incêndio e pânico – disponível em CBMERJ-RJ.

As medidas de proteção contra incêndio são classificadas em dois tipos: proteção passiva e proteção ativa. Proteção passiva são medidas de proteção ao incêndio presente na edificação, por tanto devem ser previstas no projeto arquitetônico. Ela auxilia na evacuação de pessoas e evita a propagação de calor e fumaça. Os principais são a escada de emergência, placas indicando a saída de emergência mais próxima, compartimentação vertical e horizontal. Já a proteção ativa são meios de combate ao incêndio que dependem de um acionamento, podendo ser manual ou automático. São compostas basicamente de equipamentos e instalações prediais que serão acionadas em caso de emergência. Não exerce nenhuma função em situação normal de funcionamento da edificação como exemplo o extintor de incêndio, hidrante e sprinklers.

2.6. Princípios de extinção

Considerando que o fogo só existe quando estão presentes os quatro itens necessários – combustível, comburente, calor e a reação em cadeia -, os métodos para extinção do fogo consistem em acabar com um dos itens fundamentais. Os métodos são conhecidos por resfriamento, abafamento, isolamento e extinção química.

O resfriamento é o método que consiste na diminuição da temperatura e, conseqüentemente, menor energia disponível. O agente mais comum é a água. O abafamento ocorre quando se impede o contato do combustível com o comburente. Para as combustões alimentadas pelo oxigênio, no momento em que a quantidade deste gás se encontra abaixo de 16% a combustão deixará de existir. Para combater incêndios por abafamento pode ser utilizado gases inertes, porém não pode ser utilizado em locais com pessoas presentes. O isolamento visa retirada do combustível da reação, essa por sua vez não é muito

utilizada em combate ao incêndio. A extinção química funciona como a adição de um elemento ao combustível a fim de tornar o material não inflamável.

3. Histórico de incêndios envolvendo poliuretano

3.1. The Station Nightclub – West Warwick, USA 2003.

De acordo com a BBC Brasil, o incêndio na casa de eventos The Station Nightclub ocorreu em 20 de fevereiro de 2003. O fogo foi causado pelo show pirotécnico enquanto a banda de rock “Great White” se apresentava. As investigações indicam que o flashover se deu após 1 minuto. A tragédia causou a morte de 100 pessoas e 230 feridos.

De acordo com as investigações do “National Institute of Standards and Technology” um sistema de sprinklers teria contido o fogo por tempo suficiente para dar fuga a todos. Entretanto, na boate em questão não havia o sistema, pois a mesma era um restaurante que passou por adaptação para funcionar como casa de eventos e, na mudança de funcionamento, não foi exigido o sistema.

As figuras 7, 8 e 9 foram retiradas de uma perícia técnica do NIST. A figura 7 mostra, na planta baixa, o local de início do incêndio. A figura 8 indica o número de corpos mortos em cada local do estabelecimento e através da imagem podemos notar o problema com a proteção passiva, a saída de emergência não foi dimensionada corretamente o que ocasionou diversas mortes próximas as portas. -Saídas de 80 cm não seriam adequadas para locais que recebem um grande público. - A figura 9 representa um cronograma adaptado para português. Com essa imagem podemos notar que o fogo se alastra de maneira muito rápida o que reforça a necessidade da rota de fuga bem sinalizada.

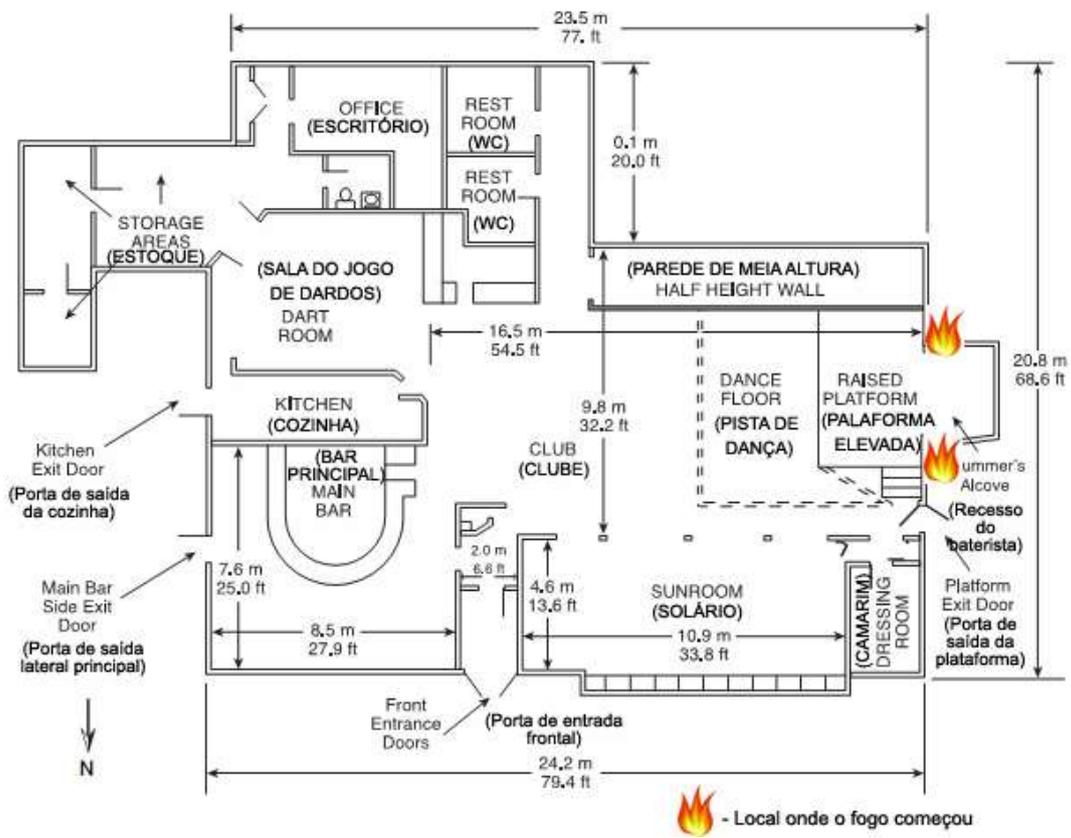


Figura 7. Planta baixa indicando o início do incêndio (NIST, 2005)

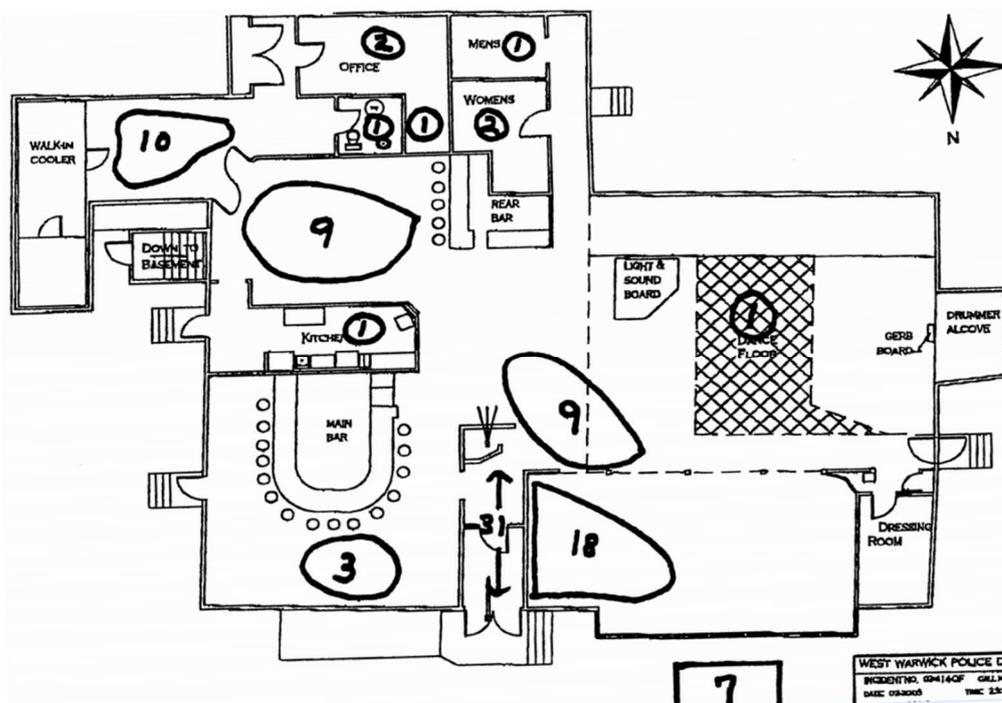


Figura 8. Número de vítimas encontradas por local (NIST, 2005).

Hora	Tempo de fogo	Descrição
23:08	00:00:00	Primeiras chamas na parede superior, lado esquerdo
	00:00:25	Chamas tocando o teto dos dois lados da plataforma
	00:00:30	Banda para de tocar, multidão começa a evacuar
23:09	00:00:36	Três chamadas foram feitas para a emergência
	00:00:41	Os alarmes de incêndio começam a tocar
23:09	00:00:59	Polícia chega ao local
23:09	00:01:13	Bombeiros são chamados
	00:01:30	Fumaça atinge a sala de jogos
	00:01:42	Pessoas empilhadas na porta. Fumaça entre as pessoas
23:10	00:04:38	fumaça aproximadamente 30 cm acima do chão. Chamas perto da porta

Figura 9. Cronograma (Adaptado de NIST, 2005)

Em um livro minucioso (*The Killer Show*, um trocadilho que se pode traduzir como "O Show Matador"), o advogado das vítimas, John Barylick, compara a tragédia da The Station com desastres como o do Titanic, em que os acontecimentos são uma sucessão de erros que ninguém conteve a tempo. (BBC BRASIL, 2013)

"Se a fiscalização tivesse feito o seu trabalho, se a casa tivesse empregados treinados para emergências, se não houvesse superlotação, se não tivessem feito uso de pirotécnicas ilegais dentro de um lugar fechado, se não tivessem usado nas paredes uma espuma inflamável que um analista chamou de 'gasolina líquida', se a casa tivesse saídas de emergências adequadas, poderia ter-se evitado o incêndio ou pelo menos tantas mortes", disse ele, em uma entrevista à rádio pública americana, NPR. Disse (BBC BRASIL, 2013)

3.2. Boate Kiss – Santa Maria, Brasil 2013.

A Boate Kiss tratava-se de uma casa noturna, de um pavimento, situada na região central da cidade de Santa Maria - RS, onde frequentemente ocorriam festas e eventos com atrações musicais e grande participação da população jovem. A capacidade máxima da Boate, segundo a perícia, seria de 769 pessoas, mas de acordo com o alvará de proteção e prevenção contra incêndio do Corpo de Bombeiros, a capacidade máxima do local seria de 691 pessoas. Na noite do incêndio, conforme depoimentos, a polícia local concluiu que havia cerca de pelo menos mil pessoas dentro do local (PCRS, 2013).

Na opinião da Comissão Especial do CREA-RS, a análise das informações disponíveis até o momento aponta, como causas fundamentais para a ocorrência do incêndio, a combinação do uso de material de revestimento acústico inflamável, exposto na zona do palco, associada à realização de show com componentes pirotécnicos. (PCRS, 2013)

Analisando relatos, a propagação do incêndio, por sua vez, foi fundamentalmente influenciada pela falha de funcionamento dos extintores localizados próximos ao palco, que poderiam ter extinguido o foco inicial de incêndio. (PCRS, 2013)

O grande número de vítimas, por sua vez, foi influenciado pela dificuldade de desocupação, pelas deficiências nas saídas de emergência, e pelo excesso na lotação máxima permitida. A superlotação (aparentemente era comum que a casa abrigasse cerca de 1.000 pessoas, e isso parece ter ocorrido na noite do sinistro) e as características inadequadas do espaço, em termos de sinalização, tamanho e localização das saídas de emergência dificultou a evacuação. (PCRS, 2013)

O fogo se iniciou no teto, devido ao uso de sinalizador de uso externo -conhecido como Sputnik- usado pelo vocalista da banda “Gurizada fandangueira”, os integrantes da banda e um segurança tentaram apagar o fogo com extintor de incêndio e água, porém não obtiveram sucesso e em cerca de três minutos o ambiente estava coberto de fumaça tóxica.

De acordo com o inquérito da polícia civil N.:001/2013/3ªDPR RS o estabelecimento tinha um histórico de problemas relacionados aos licenciamentos e alvarás a mesma funcionava sem o alvará de prevenção ao incêndio, esse havia vencido há mais de quatro meses

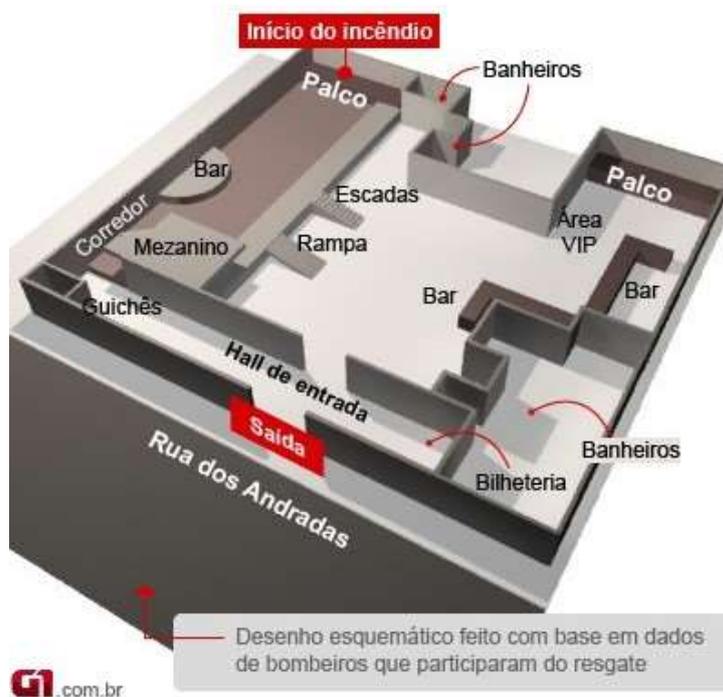


Figura 10. Apresentação incêndio boate Kiss (G1 2013)

3.3. Colective Nightclub – Bucarest, Romênia 2015

O desastre ocorreu na boate Colectiv, no centro de Bucareste, quando às 23h00 locais (19h00 de Brasília) centenas de jovens - entre 200 e 400 de acordo com vários testemunhos - assistiam ao show. (G1.Globo, 2015)

O incêndio teria sido iniciado após uma explosão durante um espetáculo pirotécnico, segundo testemunhas citadas pela imprensa local. (G1.Globo, 2015)

De acordo com a BBC 26 pessoas morreram e 150 ficaram feridos. A casa possuía apenas duas saídas de emergência e apenas uma pequena porta de 80cm estava funcionando durante o início do incêndio.



Figura 11. Foco de incândio Colective nightclub (ROMANIAN TELEVISION, 2017)

3.4. Ninho do urubu – Rio de Janeiro, Brasil

O incêndio que atingiu o Ninho do Urubu, como é conhecido o Centro de Treinamento do Flamengo, em Vargem Grande, na zona oeste do Rio de Janeiro, na madrugada desta sexta-feira 8, deixou dez mortos e três feridos, todos jogadores das categorias de base do clube carioca. (VEJA, 2019)

Jogadores da base do Flamengo que sobreviveram relataram que, minutos antes de o fogo começar, houve uma explosão em um aparelho de ar-condicionado. Também segundo esses relatos, o fogo se alastrou muito rapidamente. “O ar-condicionado pegou fogo, daí foi gerando um curto-circuito em todos os ar-condicionados, pegando tudo. Foi muito rápido, muito rápido. Não deu para conseguir chamar quase ninguém”, relatou Samuel Barbosa, piauiense de 16 anos que joga como zagueiro. Ele gravou um vídeo para tranquilizar os familiares. (VEJA, 2019)

A perícia inicial realizada pela Polícia Civil do Rio de Janeiro constatou que o incêndio no Ninho do Urubu, CT do Flamengo, começou após um curto-circuito no ar-condicionado do alojamento seis, ocupado por atletas da base do clube. As informações são do jornal *O Globo*. (VEJA, 2019)

Ouvido pela publicação, o engenheiro civil e ex-conselheiro do Conselho Regional de Engenharia e Agronomia do Rio de Janeiro (CREA-RJ) Antonio Eulalio Pedrosa Araujo, declarou que todos os aparelhos de ar-condicionado estavam ligados em série, aparentemente sem disjuntores que poderiam desligar cada unidade no caso de sobrecarga. (VEJA, 2019)

O Flamengo e a NHJ do Brasil, empresa responsável pelas estruturas, admitem a presença de poliuretano, considerado inflamável, mas declaram que havia tecnologia antichamas nos alojamentos. O Corpo de Bombeiros foi acionado às 5h17 e o fogo foi controlado ainda no início da manhã. (VEJA, 2019)



Figura 12. Após tragédia ninho do urubu (Globo, 2019)

4. Metodologia de pesquisa

Para avaliar o comportamento de reação ao fogo da espuma de poliuretano, a pesquisa teve a campanha experimental realizada no equipamento Cone Calorímetro de Perda de Massa (CCPM) de acordo com as recomendações contidas nas normas ISO 17554 (2014), específica para avaliar a taxa de perda de massa e ISO 13927 (2015), que avalia a taxa de liberação de calor e o tempo de ignição das amostras.

4.1. Método para a avaliação de inflamabilidade

Os testes experimentais foram realizados no Laboratório de Estruturas e Materiais do Programa de Engenharia Civil, no Centro de Tecnologia da Universidade Federal do Rio de Janeiro – CT/UFRJ.

Através do CCPM é possível obter, de forma quantitativa, a taxa de liberação de calor média por unidade de superfície e valor de pico (em kW/m²), calor total liberado (MJ), taxa de perda de massa (g/s), tempo de ignição (s) e tempo de combustão(s). Além disso, foi usado um termômetro para verificar a temperatura em que ocorreu a ignição do material.

4.2. Cone calorímetro de perda de massa

A Figura 13 representa o equipamento utilizado na configuração experimental. O CCPM utilizado é composto por duas partes que, por sua vez, são subdivididas em 10 elementos:

- a) conjunto do cone - constituída de (1) aquecedor, (2) balança (capacidade para amostras de 500 g), (3) ignição por faísca, (4) medidor de fluxo, (5) três termopares de controle, (6) mecanismo de obturador térmico e (7) suporte para amostras horizontais – e;

- b) a unidade de controle - contendo (8) um controlador de temperatura de leitura digital; (9) interruptores para alimentação, ignição, célula de carga e aquecedor cônico; e (10) controlador com leitura digital da célula de carga e tara eletrônica.

A Figura 13 ilustra o equipamento e suas partes componentes.

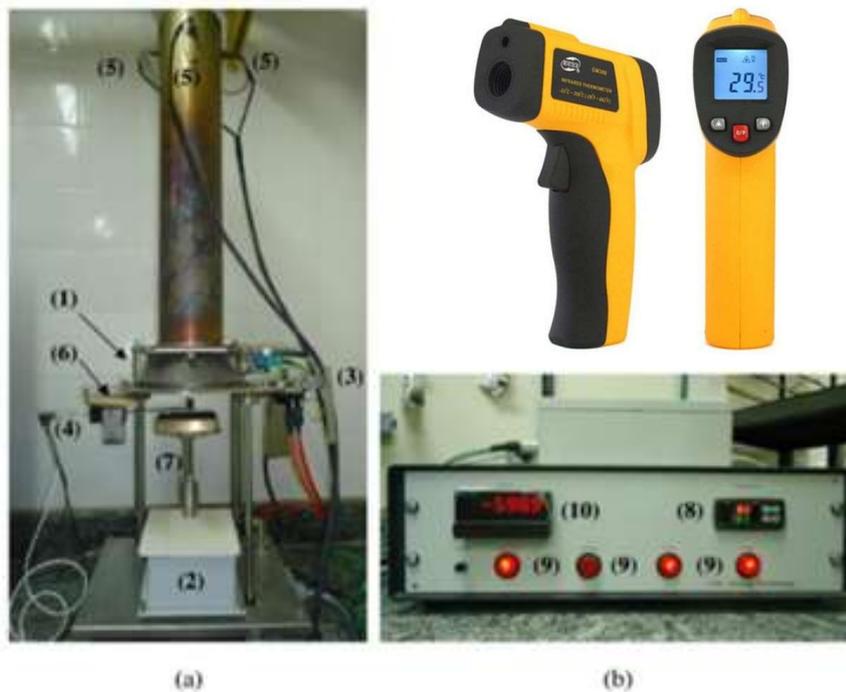


Figura 13. Equipamentos utilizado nos ensaios – (a) conjunto do cone, (b) unidade de comando e (c) termômetro digital (Fonte: Rocha, 2018).

4.3. Amostras

Os corpos de prova de espuma de poliuretano foram retirados de placas sanduíches utilizadas como divisórias. Suas dimensões e quantidades, padronizadas de acordo com a ISO 13927 (2015), possuíam formato quadrado com 10cm de lado e espessura de 40mm cada.

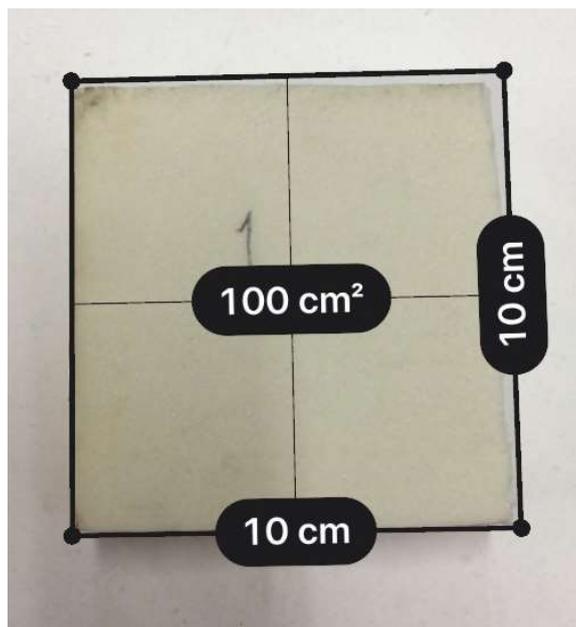


Figura 14. Corpo de prova de espuma de poliuretano (Fonte: Própria)

As amostras foram nomeadas e pesadas em temperatura ambiente (25°C). A partir da identificação, foi montada uma tabela com três amostras para fins de organização.

Tabela 1. Nomenclatura e dados das amostras.

Código	massa inicial (g)	espessura (mm)
EPU1	13	40
EPU2	12,5	40
EPU3	12,8	40

4.4. Equipamento de proteção individual

O uso do Equipamento de proteção individual -EPI- é fundamental para garantir a saúde e a proteção do operador, evitando consequências negativas em casos de acidentes. Todas as atividades que possam imprimir algum risco físico para o operador devem ser executadas com o auxílio de EPIs. Dessa forma, foi utilizado o conjunto de equipamento de proteção individual composto por

máscara, óculos e luva. Além disso a máscara é fundamental proteção devido a fumaça liberada pela espuma ser tóxica, já que contem gás cianeto.



Figura 15. Equipamentos de proteção individual utilizados (Fonte: Própria)

4.5. Ensaio

Para a realização do ensaio, inicialmente o aquecedor foi ligado até a temperatura de 720°C. Feito isso, a superfície do corpo de prova foi exposta a um nível constante de radiação de calor, com um fluxo de 50kW/m², correspondente ao calor liberado em incêndios bem desenvolvidos (SCHARTELK *et al.*, 2005), e colocada sobre uma balança onde registrou-se a taxa de perda de massa durante a combustão.

O preparo do ensaio está representado na figura 16. Em (a) configurações na qual foram inseridas no computador para que o equipamento operasse em condições semelhantes à de um incêndio. Em (b) mostra a espera de 1 minuto

para o aquecimento do CCPM até 720°C, que corresponde a temperatura em incêndios bem desenvolvidos.

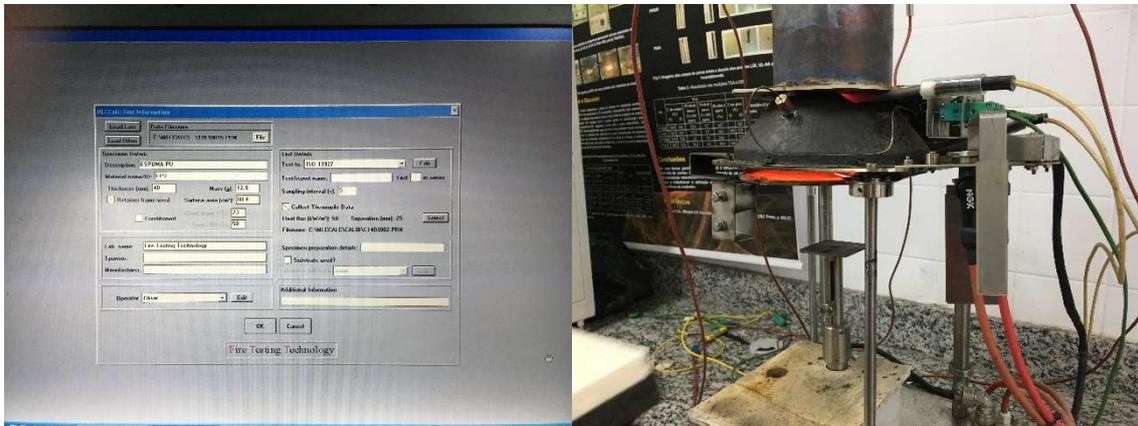


Figura 16. (a) configurações do computador (b) aquecimento do CCPM (Fonte própria)

5. Análise dos resultados experimentais

Este tópico aborda resultados e discussões obtidos no equipamento CCPM através da metodologia proposta e observações do autor. Além disso, foi feita a medição da temperatura de ignição com o termômetro digital.

Na Figura 17 estão representadas etapas do ensaio de CCPM ao longo do tempo. Em (a), a amostra de espuma PU é colocada na balança sob condições de temperatura e umidade ambiente e sob o aquecedor cônico. Em (b), o material começa a aquecer e liberar produtos gasosos que, com o oxigênio do ar, formam uma mistura inflamável. Em (c), ocorre a ignição com grande liberação de calor e fumaça densa. Em (d), é atingido o pico da taxa de liberação de calor. Em (e), começa a fase de resfriamento da amostra por falta de material combustível. Em (f), o fogo se apaga, caracterizando a extinção e o tempo de combustão total. Por fim, em (g), a amostra após o ensaio.



(a)

(b)



(c)



(d)



(e)



(f)



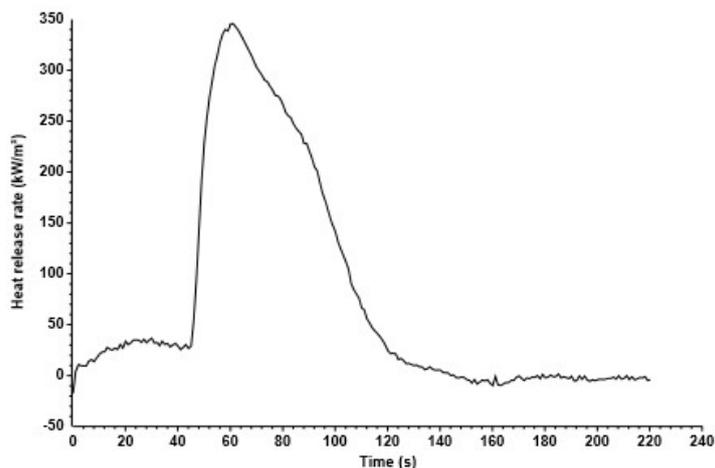
(g)

Figura 17. Seis estágios do comportamento de queima da amostra PU: (a) primeiro, (b) segundo, (c) terceiro, (d) quarto, (e) quinto, (f) sexto estágio e (g) amostra após o ensaio. (Fonte própria)

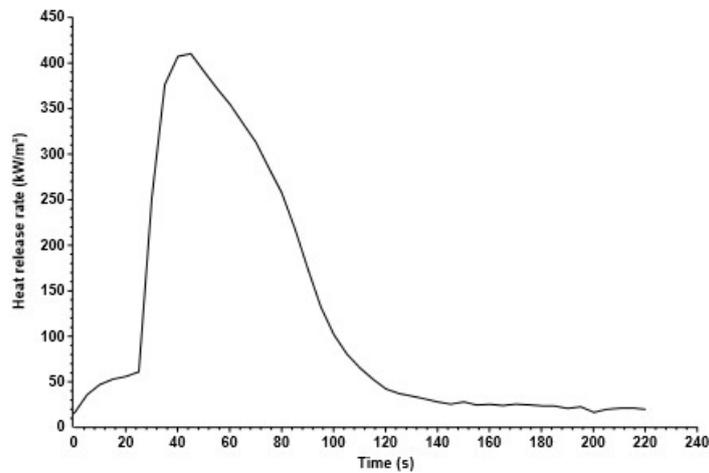
5.1. Taxa de Liberação de Calor – TLC

A taxa de liberação de calor (TLC)  a propriedade que expressa o calor liberado por um composto queimado. Com relação  variação do TLC ao longo do tempo, há um estágio inicial caracterizado por baixa liberação de calor. Após este período inicial, a TLC sofre um rápido aumento devido à combustão do material (pico de TLC). Após o PTLC, a TLC diminuiu gradualmente com o tempo, devido à diminuição do conteúdo de combustível disponível. Finalmente, o TLC torna-se insignificante encerrando as chamadas. Os gráficos obtidos por meio do ensaio nos mostram um comportamento parecido com o calor gerado em um incêndio padrão.

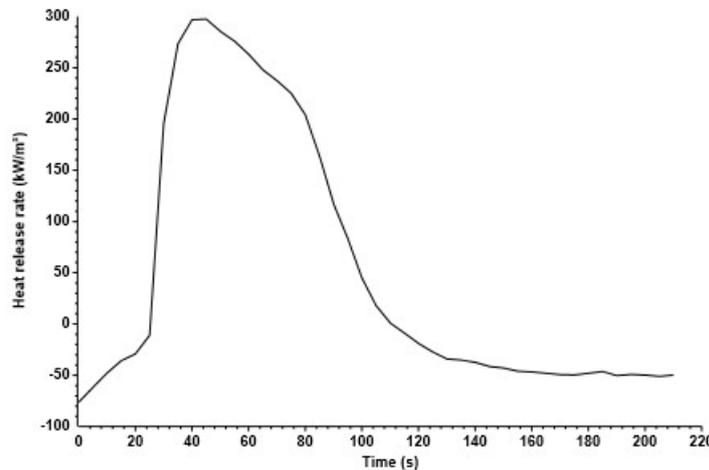
As figuras 14 mostra as curvas TLC nas amostras (a) EPU1, (b) EPU2 e (c) EPU3 medidos em função do tempo obtido no ensaio no CCPM.



(a)



(b)



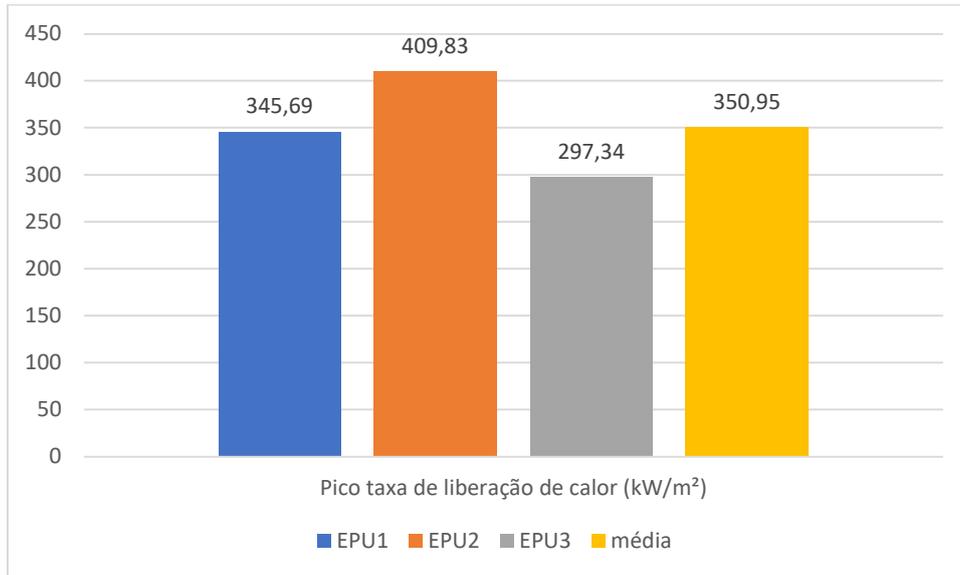
(c)

Figura 18. Taxa de libertação de calor em função do tempo das amostras: (a) EPU1, (b) EPU2 e (c) EPU3.

5.2. Pico da taxa de libertação de calor – PTLC

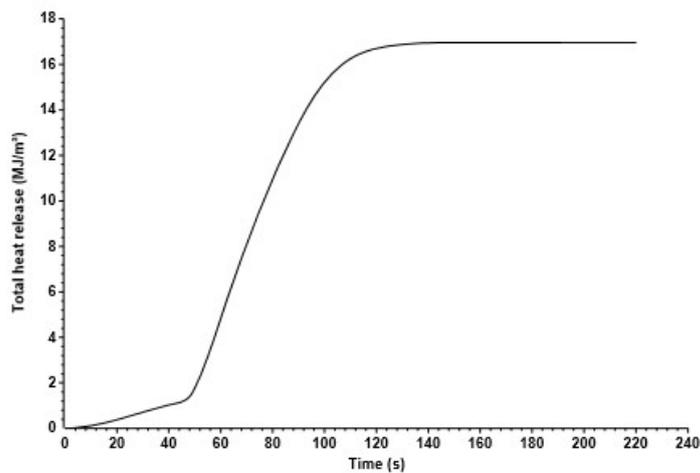
O PTLC ocorre durante um período muito curto de tempo e, muitas vezes, logo após a ignição, e é uma boa indicação da inflamabilidade máxima composta (MOURITZ et al., 2006). O PTLC é o maior valor da taxa de libertação de calor, expresso na mesma unidade (kw/m^2). Observando o valor do PTLC das três amostras - EPU1, EPU2 e EPU3- na Tabela 2, é possível observar valores convergentes com uma média 350kw/m^2 .

Gráfico 1. Pico da taxa de liberação de calor das amostras.

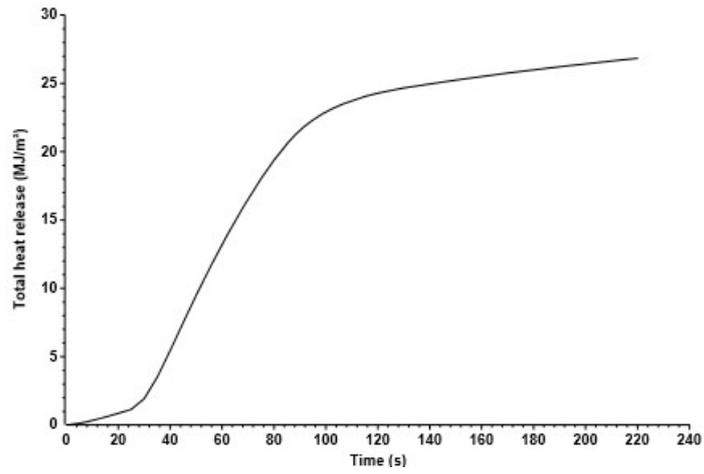


5.3. Calor Total Liberado - CTL

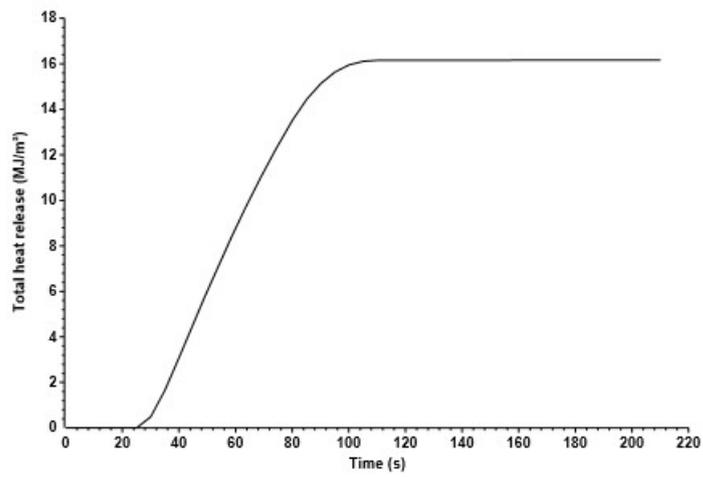
O CTL durante o período de combustão é considerado a medida mais confiável da contribuição do calor para um incêndio prolongado (MOURITZ et al., 2006). Na Figura 15, podemos observar que as três amostras – (a) EPU1, (b) EPU2 e (c) EPU3- apresentam curvas semelhantes e valores próximos no intervalo entre 15,1MJ/m² e 22,3MJ/m². Nesse critério, o material não é um principal combustível para contribuir o calor para o incêndio.



(a)



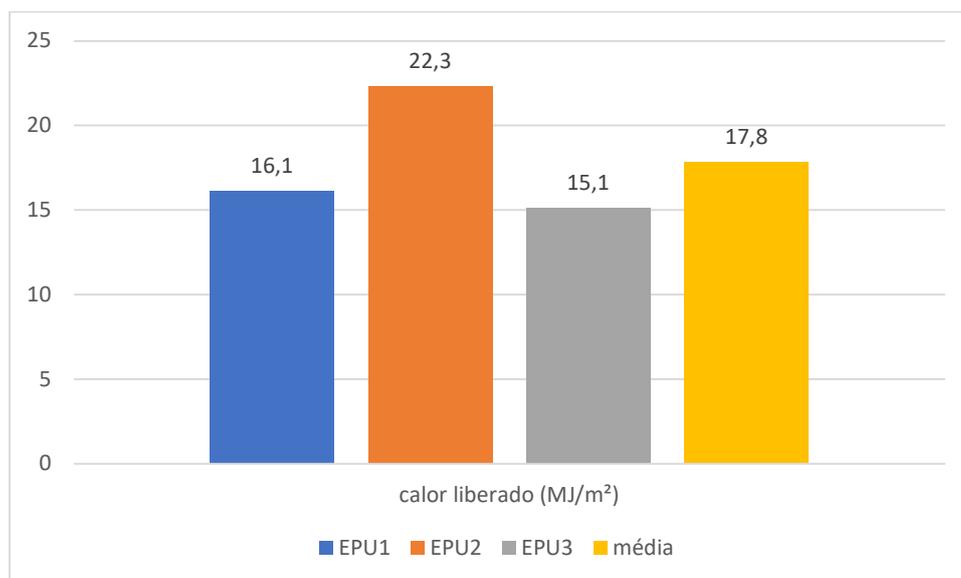
(b)



(c)

Figura 19. Calor total liberado em função do tempo das amostras: (a) EPU1, (b) EPU2 e (c) EPU3.

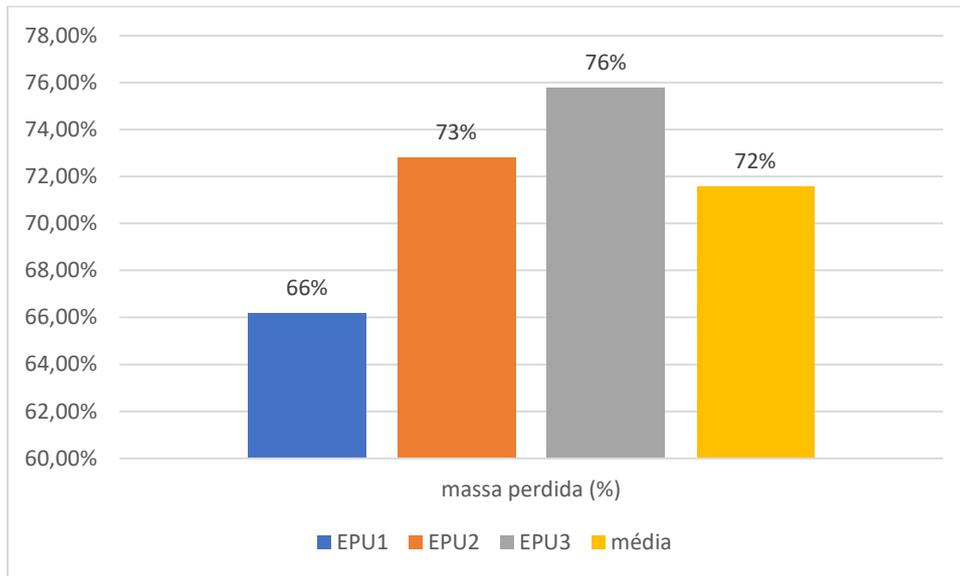
Gráfico 2. Calor total liberado das amostras.



5.4. Taxa de Perda de Massa – TPM

A TPM da amostra é apresentada como uma porcentagem da massa original das amostras e é monitorada continuamente através de uma célula de carga que permite que a TPM seja determinada como uma função do tempo decorrido da duração do teste. (Rocha, 2018). Nessa grandeza, pode-se observar na Tabela 4 que há uma grande perda de massa, na ordem de 70%. O material com alta perda de massa indica muita geração de fumaça, o que dificulta a evacuação de pessoas, uma vez que dificulta a visibilidade das rotas de fuga e possíveis obstáculos. A taxa de perda de massa, também está associada a perda de sessão e volume. Essa variável do ensaio nos reforça a importância de luzes indicadoras de saída de emergência como proteção passiva. Levando em consideração que no laudo técnico do The Station Nightclub as fumaças estavam em todo ambiente a partir de 30cm de altura em pouco tempo, sugere-se indicações de rota de fuga e luzes de emergência no chão.

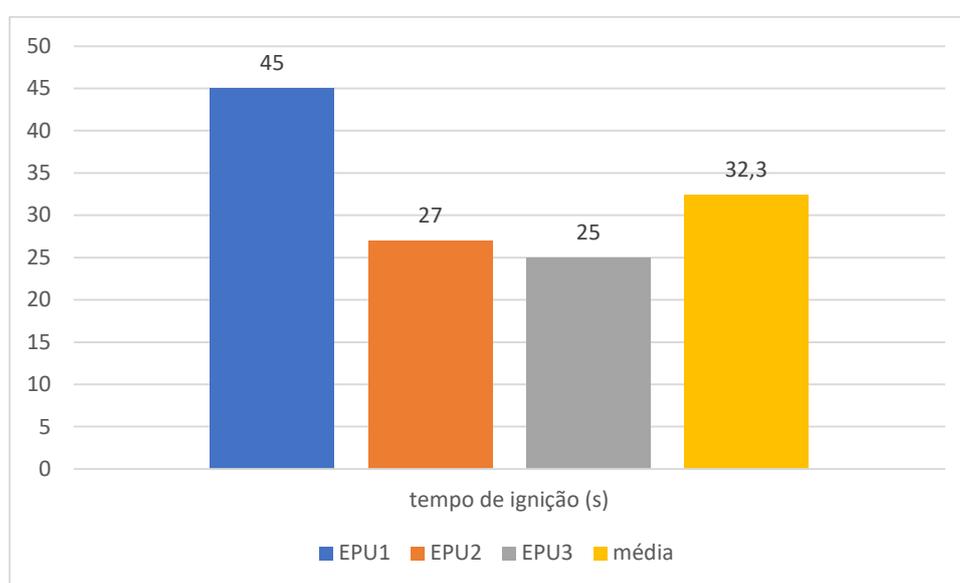
Gráfico 3. Taxa perda de massa das amostras.



5.5. Tempo Total de Ignição - TTI

O TTI define o tempo, expresso em segundos, que o material pode suportar o fluxo de calor irradiado pelo fogo antes de sofrer combustão. Nas amostras em estudo, Tabela 5, foi possível observar que o material apresenta um TTI muito curto, o que torna a evolução do incêndio muito rápida. O tempo total de ignição ser curto indica um problema comum aos quatro exemplos mostrados no Capítulo 3. Dessa forma, as proteções ativas e passivas devem ser bem dimensionadas para evitar que o fogo se propague. No momento da ignição, foi usado o termômetro para estimar a temperatura de ignição. A temperatura média aferida foi de 390°C, valor próximo ao calculado para o caso da The Station Nightclub de acordo com o NIST (370 ± 5)°C. A diferença entre estes valores pode ser decorrência do controle de umidade: enquanto no NIST a umidade é controlada em 50%, neste estudo não foi aferida a umidade.

Gráfico 4. Tempo total de ignição das amostras.



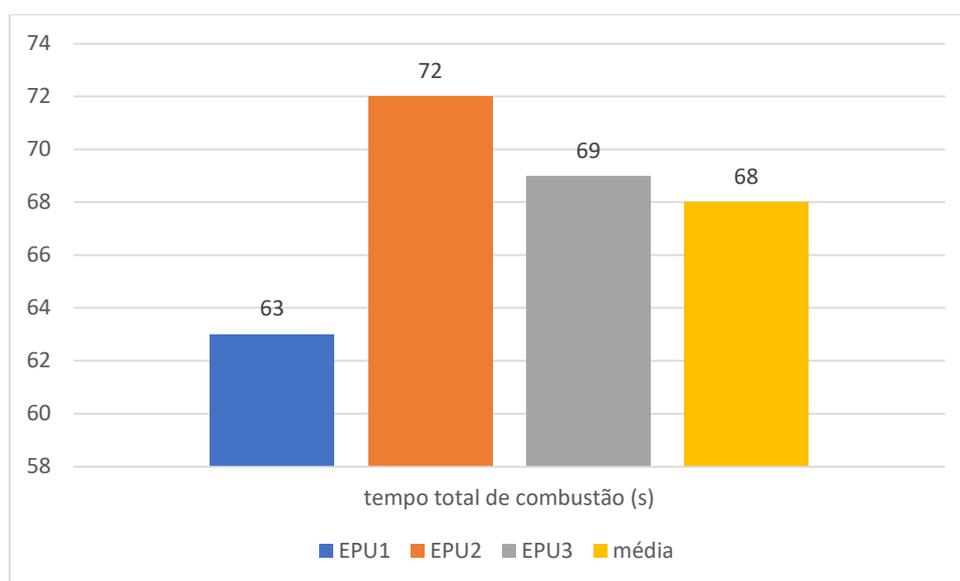
Como observado no gráfico o Tempo Total de Ignição é curto, o que reforça a necessidade de proteção passiva principalmente saídas de emergência e rotas de fuga em ambientes revestidos com a espuma PU.

5.6. Tempo Total de Combustão - TTC

O tempo total de combustão nos mostra o tempo, expresso em segundos, do instante do início da ignição até o cessar chamas (flameout). Nos exemplos do Capítulo 3, foram relatados que os ambientes estavam cobertos de fumaça em pouco tempo, ocasionando a morte dos usuários. Esse dado obtido do material estudado, Tabela 6, consolida que o material é rapidamente queimado. Da mesma forma, a investigação técnica do INST afirma que em 04 minutos e 38

segundos o ambiente já estava coberto de fumaça a partir de 0,3 m do solo. Dessa forma, saídas de emergência bem distribuídas e em medidas adequadas são proteção passiva fundamental para ajudar na evacuação das pessoas. No caso de “The nightstate club” as portas possuíam apenas 80cm de largura.

Gráfico 5. Tempo total de combustão das amostras.



6. Conclusões

A ocorrência das quatro catástrofes reforça a necessidade de medidas de proteção passiva e ativa na edificação. Mesmo havendo várias normas de proteção ao incêndio que objetivam a prevenção e minimização de danos, ainda há uma precária fiscalização para o cumprimento das mesmas. Vale observar que algumas vezes são feitas modificações nos projetos originais das edificações sem o consentimento dos órgãos públicos e responsáveis técnicos dos projetos. Tais modificações comprometem, por vezes, o sistema de proteção ao incêndio.

Em todas as edificações estudadas, a propagação das chamas se deu através dos revestimentos termo-acústico compostos por espuma de poliuretano. O “The nightstate club”, a Boate Kiss e o “Colective Nightclub” compartilharam de falhas semelhantes no dimensionamento de saídas de emergência, além disso vale destaque para a ausência de disjuntor no Ninho do Urubu, o que levou ao alastramento dos incêndios sem corte do fornecimento de energia elétrica. Dessa forma, temos exemplos de falha na proteção passiva e ativa, respectivamente.

Como foi demonstrado no ensaio CCPM, o revestimento em estudo apresenta desempenho insatisfatório nos critérios tempo de ignitibilidade, tempo de combustão e perda de massa. Dessa forma, os parâmetros insatisfatórios são responsáveis por um rápido desenvolvimento de calor e de uma grande quantidade de fumaça durante o incêndio.

Os incêndios aqui relatados serviram como um apelo a necessidade de elementos de proteção ativa e passiva em edificações que fazem uso do revestimento de espuma de poliuretano. Lastimavelmente, tais fatos envolveram a perda de várias vidas, sendo em sua maioria indivíduos leigos e inocentes sobre os riscos em que estavam se envolvendo.

7. Bibliografia

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14432 - Exigências de Resistência ao Fogo de Elementos Construtivos de Edificações – Procedimento. Rio de Janeiro, 2001.

BBC Brasil. Nos EUA, incêndio fatal em boate levou a prisões e indenizações, 2013. Disponível em:

<https://www.bbc.com/portuguese/celular/noticias/2013/01/130127_incendio_boate_rhode_island_pu.shtml>. Acesso em: 23 novembro 2019, 00:21:50.

COSTA, C. N. Dimensionamento de elementos de concreto armado em situação de incêndio. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo. 2008.

COSTA, C. N.; SILVA, V. P. Dimensionamento de estruturas de concreto armado em situação de incêndio. Métodos tabulares apresentados em normas internacionais. V Simpósio Epusp sobre estruturas de concreto. 2003.

DELL' ANTÔNIO, G. B. Materiais e Técnicas Construtivas para Um Melhor Isolamento Acústico. Universidade Regional de Blumenau - FURB. Blumenau, p. 51p. 2011.

G1.Globo, Nos eua, incêndio fatal em boate levou a prisões e indenizações. Disponível em: <<http://g1.globo.com/mundo/noticia/2013/01/nos-eua-incendio-fatal-em-boate-levou-a-prisoas-e-indenizacoes.html>> Acesso em 23 novembro 2019, 01:07:13.

G1.Globo, Romênia decreta luto após incêndio em boate que matou 27 pessoas. Disponível em: < <http://g1.globo.com/mundo/noticia/2015/10/romenia-decreta-luto-apos-incendio-em-boate-que-matou-27-pessoas.html>> Acesso em 23 novembro 2019, 01:07:13.

G1.Globo, Dono de boate admite alvará vencido e culpa banda por fogo, diz delegado. Disponível em: <<http://g1.globo.com/rs/rio-grande-do-sul/noticia/2013/01/dono-de-boate-admite-alvara-vencido-e-culpa-banda-por-fogo-diz-delegado.html>> Acesso em 23 novembro 2019, 02:20:30.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION - ISO 17554. Reaction to fire tests -- Mass loss measurement. 2014.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION - ISO 13927. Plastics -- Simple heat release test using a conical radiant heater and a thermopile detector. 2015

MENDONÇA, H. T. T, EDIFICAÇÕES CIVIS EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO: ESTUDO DE CASO DA BOATE KISS E DO EDIFÍCIO JOELMA, 2014 UNIFOR-MG. Formiga - MG

NIST. National Institute of Standards and Technology, Report of the Technical Investigation of The Station Nightclub Fire, 2005. Disponível em: <https://tsapps.nist.gov/publication/get_pdf.cfm?pub_id=100988>. Acesso em: 23 novembro 2019, 11:01:49.

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 1998. 10 p. Disponível em: <<http://bt.fatecsp.br/>>. Acesso em: 23 novembro 2019, 02:22:57.

PCRS, Inquerito policial N.: 001/2013/3ºDP. Disponível em: <<https://www.pc.rs.gov.br/upload/arquivos/carga20181247/06224708-20140718162221relatorio-ip-01-de-2013-licenciamento-da-boate-kiss-final.pdf>> Acesso em 23 novembro 2019, 02:28:19.

PCRS, Relatório final, Inquérito Nº. 94/2013/150501, Polícia civil do Rio grande do Sul. 2013. Santa Maria – RS

Pignatta & Vargas, Prevenção contra incêndio no projeto de arquitetura. – Instituto aço Brasil centro brasileiro da construção em aço Rio de Janeiro. 2010.

Pignatta et al. A segurança contra incêndio no Brasil. – Projeto editora São Paulo, São Paulo, 2008.

PIGNATTA & VARGAS, Resistência ao fogo das estruturas de aço, Instituto brasileiro de siderurgia, centro brasileiro da construção em aço, 2005 Rio de Janeiro - RJ

ROCHA, M. A. F. R. Aprimoramento das propriedades de retardamento ao fogo de polímeros reforçados com fibra de vidro. Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ. Rio de Janeiro, 2018 <<http://www.coc.ufrj.br/pt/teses-de-doutorado/603-2018/9186-monique-amaro-de-freitas-rocha-nascimento-3>>.

Acesso em 23 novembro 2019, 18:07:59.

TERRA, Banda comprou sinalizador externo por ser mais barato diz delegado, 2013 <<https://www.terra.com.br/noticias/brasil/cidades/tragedia-em-santa-maria/banda-comprou-sinalizador-externo-por-ser-mais-barato-diz-delegado,3451f4377288c310VgnVCM4000009bcceb0aRCRD.html>> Acesso em 23 novembro 2019, 14:01:10.

VEJA. O que se sabe sobre o incêndio no CT do Flamengo, 2019. Disponível em: <<https://veja.abril.com.br/brasil/o-que-se-sabe-sobre-o-incendio-no-ct-do-flamengo/>>. Acesso em: 23 novembro 2019, 14:09:22.

VEJA. Ar-condicionado no CT do Flamengo tinha 'gambiarra', diz sobrevivente, 2019. Disponível em: <<https://veja.abril.com.br/brasil/ar-condicionado-no-ct-do-flamengo-tinha-gambiarra-diz-depoimento/>>. Acesso em: 23 novembro 2019, 14:09:37.

VEJA, Perícia inicial: fogo em CT do flamengo partiu de curto em ar-condicionado. Disponível em: <<https://veja.abril.com.br/brasil/pericia-inicial-fogo-em-ct-do-flamengo-partiu-de-curto-em-ar-condicionado/>> Acesso em 23 novembro 2019, 14:11:05.

WIKIPEDIA, The stationg nightclub fire, 2019. Disponível em: <https://en.wikipedia.org/wiki/The_Station_nightclub_fire> Acesso em: 23 novembro 2019, 21:08:18.

WIKIPEDIA, Incêndio na Boate Kiss, 2019. Disponível em:< https://pt.wikipedia.org/wiki/Inc%C3%AAndio_na_boate_Kiss > Acesso em: 23 novembro 2019, 22:33:06.

Anexo

Specimen information

Thickness	40 mm	Specimen number	
Initial mass	13 g	Manufacturer	
Surface area	88.4cm ²	Sponsor	
Conditioned?	No	Edge frame used?	Yes
Temperature	N/A	Fixed to substrate?	No
RH	N/A	Substrate	N/A

Test

Standard used	ISO 13927	Heat flux	50 kW/m ²
Date of test	11 November	Separation	25 mm
Time of test	2019	HRR Calibration filename	C:\MLCCALC\CALIB\C1403002.PRN
Date of report	12:18	Gradient	0.766518 mV/kW
Sampling interval	11 November 2019 1 s	Intercept	0 kW

Test times

Time to ignition
 Time to flameout
 End of test time 45 s
 (for calculations) 108 s
 108 s

Test results (between 0 and 108 s)

Total heat release 16.1 MJ/m²
 Total heat release 13.0 g
 Initial mass 4.4 g
 Mass at EOT 8.6 g
 Mass lost
 Specific mass lost 0.97 kg/m²
 Percentage mass lost 65.9 %

Test results (between 45 and 108 s)

time (s)			Mean	Peak
Total heat release	14.9	MJ/m ²	236.85	345.69
	61	Heat release rate (kW/m ²)		
Mass at sustained flaming	9.4 g	Effective heat of comb. (MJ/kg)	26.61	75.07
Mass at EOT	4.4 g	Mass loss rate (g/s)	0.079	0.326
Mass lost	5.0 g			
Specific mass lost	0.56 kg/m ²			
Percentage mass lost	52.8 %			
Average specific MLR	52.8 g/(m ² ·s)			

Test averages

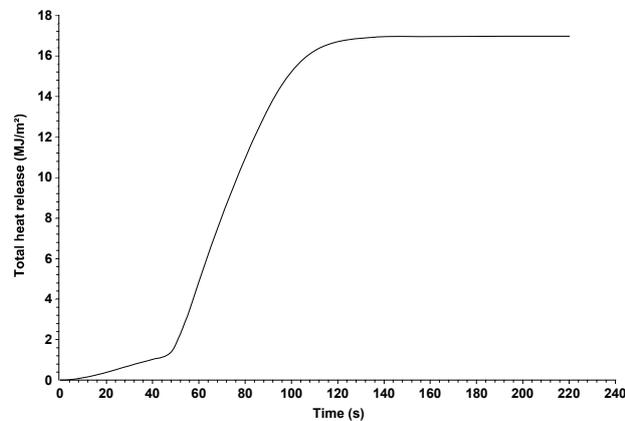
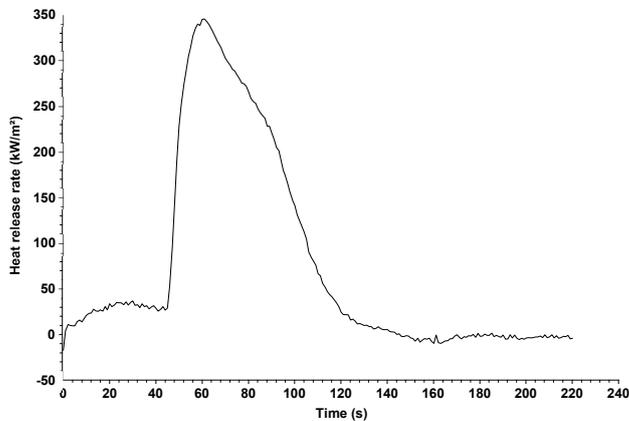
from ignition to ignition plus...180 s 300 s

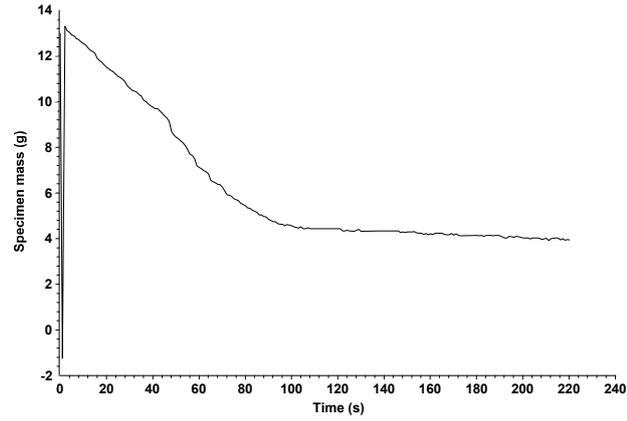
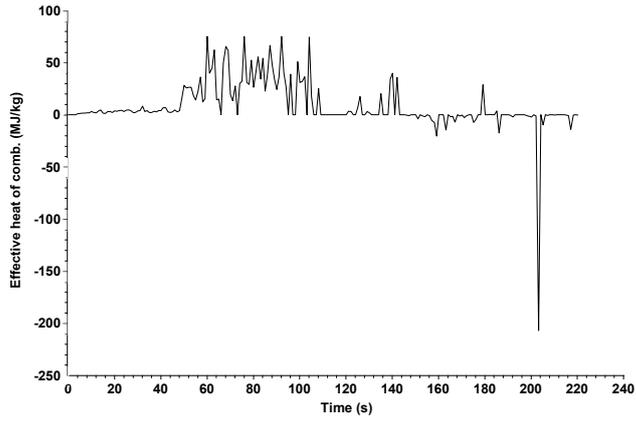
Heat release rate (kW/m²) - -

Effective heat of comb. (MJ/kg)

- Mass loss rate (g/s)

- -





Specimen information

Thickness	40mm	Specimen number	
Initial mass	12.5g	Manufacturer	
Surface area	88.4cm ²	Sponsor	
Conditioned?	No	Edge frame used?	Yes
Temperature	N/A	Fixed to substrate?	No
RH	N/A	Substrate	N/A

Test

Standard used	ISO 13927	Heat flux	50 kW/m ²
Date of test	11 November	Separation	25 mm
Time of test	2019	HRR Calibration filename	C:\MLCCALC\CALIB\C1403002.PRN
Date of report	12:32	Gradient	0.766518 mV/kW
Sampling interval	11 November 2019 5 s	Intercept	0 kW

Test times

Time to ignition
 Time to flameout
 End of test time 27 s
 (for calculations) 99 s
 99 s

Test results (between 0 and 99 s)

Total heat release 22.3 MJ/m²
 Total heat release 12.5 g
 Initial mass 3.4 g
 Mass at EOT 9.1 g
 Mass lost
 Specific mass lost 1.03 kg/m²
 Percentage mass lost 72.8 %

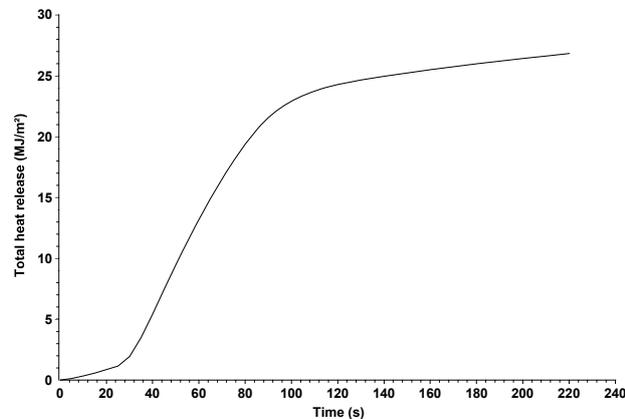
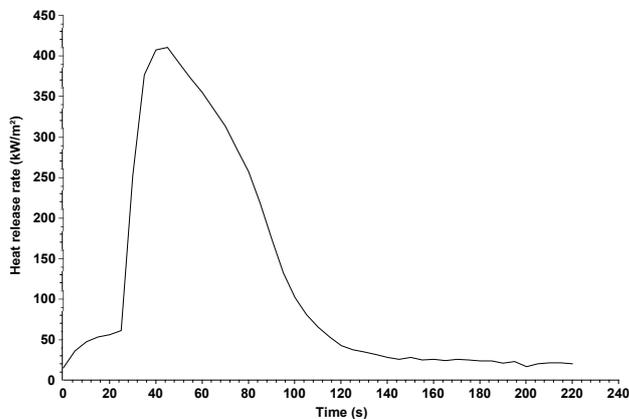
Test results (between 27 and 99 s)

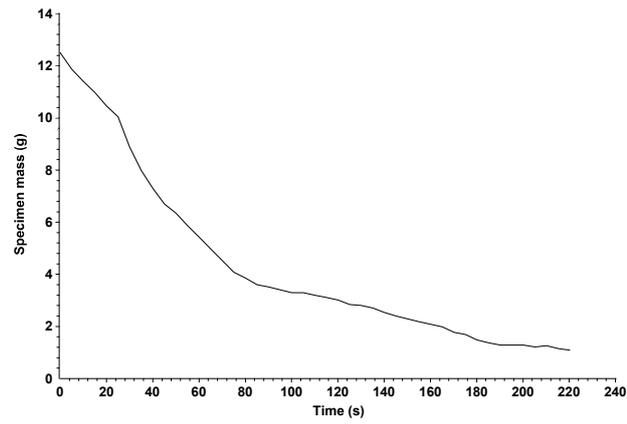
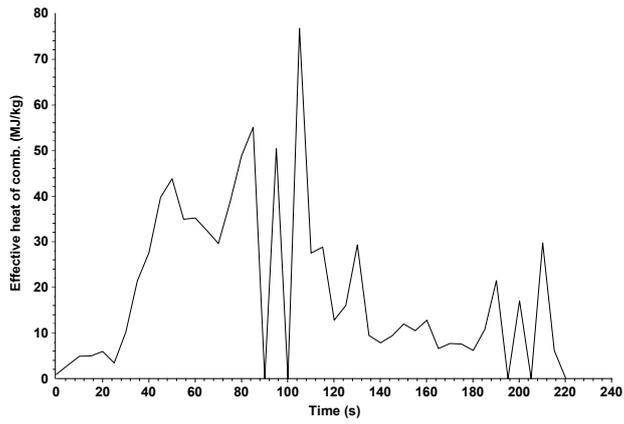
time (s)		Mean	Peak
Total heat release	21.2 MJ/m ²	299.85	409.83
Heat release rate (kW/m ²)	45		
Mass at sustained flaming	10.0 g Effective	33.26	55.0185
heat of comb. (MJ/kg)			
Mass at EOT	3.4 g	0.080	0.22030
Mass loss rate (g/s)			
Mass lost	6.6 g		
Specific mass lost	0.75 kg/m ²		
Percentage mass lost	66.1 %		
Average specific MLR	14.99 g/(m ² ·s)		

Test averages

from ignition to ignition plus...180 s 300 s

Heat release rate (kW/m²) - -
 Effective heat of comb. (MJ/kg) -
 Mass loss rate (g/s) -





Specimen information

Thickness	40 mm	Specimen number	
Initial mass	12.8 g	Manufacturer	
Surface area	88.4 cm ²	Sponsor	
Conditioned?	No	Edge frame used?	Yes
Temperature	N/A	Fixed to substrate?	No
RH	N/A	Substrate	N/A

Test

Standard used	ISO 13927	Heat flux	50 kW/m ²
Date of test	11 November	Separation	25 mm
Time of test	2019	HRR Calibration filename	C:\MLCCALC\CALIB\C1403002.PRN
Date of report	12:42	Gradient	0.766518 mV/kW
Sampling interval	11 November 2019 5 s	Intercept	0 kW

Test times

Time to ignition	
Time to flameout	
End of test time	25 s
(for calculations)	94 s
	94 s

Test results and 94 s)

(between 0	15.1 MJ/m ²
Total heat release	12.8 g
Initial mass	3.1 g
Mass at EOT	9.7 g
Mass lost	
Specific mass lost	1.10 kg/m ²
Percentage mass lost	76.0 %

Test results (between 25 and 94 s)

time (s)			Mean	Peak
Total heat release	15.1	MJ/m ²	Heat release rate (kW/m ²)	222.73 297.34
	45			
Mass at sustained flaming	9.7 g	Effective	heat of comb. (MJ/kg)	20.40 58.7885
Mass at EOT	3.1 g	Mass loss rate (g/s)	0.096	0.23130
Mass lost	6.7 g			
Specific mass lost	0.75 kg/m ²			
Percentage mass lost	68.4 %			
Average specific MLR	15.06 g/(m ² ·s)			

Test averages

from ignition to ignition plus...180 s 300 s

Heat release rate (kW/m ²)	-	-
Effective heat of comb. (MJ/kg)	-	-
Mass loss rate (g/s)	-	-

