

**CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DO DISTRITO FEDERAL
DEPARTAMENTO DE ENSINO, PESQUISA, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
DIRETORIA DE ENSINO
ACADEMIA DE BOMBEIRO MILITAR
“Coronel Osmar Alves Pinheiro”
CURSO DE FORMAÇÃO DE OFICIAIS**

Cadete BM/2 **IGOR HERNANDES SANTOS RIBEIRO**



**ANÁLISE DAS PROPRIEDADES ANTICHAMAS DE ESPUMAS
ACÚSTICAS NO EDIFÍCIO-SEDE DO CONSELHO FEDERAL DA OAB**

BRASÍLIA
2025

Cadete BM/2 **IGOR HERNANDES** SANTOS RIBEIRO

**ANÁLISE DAS PROPRIEDADES ANTICHAMAS DE ESPUMAS
ACÚSTICAS NO EDIFÍCIO-SEDE DO CONSELHO FEDERAL DA OAB**

Artigo científico apresentado à disciplina Trabalho de conclusão de curso como requisito para conclusão do Curso de Formação de Oficiais do Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal.

Orientador: Ten-Cel. QOBM/Comb. RODRIGO **BRANDÃO** DE ARAUJO
Coorientador: 1º Ten. QOBM/Compl. **DAVID ALLAN** PINHEIRO DO NASCIMENTO

BRASÍLIA
2025

Cadete BM/2 **IGOR HERNANDES SANTOS RIBEIRO**

**ANÁLISE DAS PROPRIEDADES ANTICHAMAS DE ESPUMAS
ACÚSTICAS NO EDIFÍCIO-SEDE DO CONSELHO FEDERAL DA OAB**

Artigo científico apresentado à disciplina Trabalho de conclusão de curso como requisito para conclusão do Curso de Formação de Oficiais do Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal.

Aprovado em: ____/____/____.

BANCA EXAMINADORA

NILSA ANTONIA DE OLIVEIRA – Ten-Cel. QOBM/Comb.
Presidente

RAFAEL COSTA GUIMARÃES – Cap. QOBM/Compl.
Membro

JORGE HAMILTON HEINE E SILVA – Cap. QOBM/Comb.
Membro

RODRIGO BRANDÃO DE ARAUJO – Ten-Cel. QOBM/Comb.
Orientador

RESUMO

Este artigo analisa as propriedades antichama de espumas acústicas utilizadas em ambientes construídos, com foco na espuma instalada no edifício-sede do Conselho Federal da OAB. Partiu-se da hipótese de que a espuma instalada no edifício da OAB não atenderia aos critérios mínimos de segurança contra incêndio. O estudo avaliou o desempenho dessas espumas frente ao fogo, comparando-as com materiais comerciais e técnicos. Foram realizados ensaios de inflamabilidade vertical e horizontal, conforme as normas UL 94 e NBR 9178, além de análise térmica por termogravimetria (TGA) e caracterização química por espectroscopia no infravermelho com transformada de Fourier (FT-IR). Os resultados indicaram que a espuma da OAB apresentou desempenho inferior, com propagação da chama e ausência de extinção espontânea, sendo classificada como convencional. As espumas comerciais demonstraram comportamento intermediário, com velocidades de queima compatíveis com a classificação antichama. Uma das espumas técnicas foi classificada como V-0 no ensaio vertical e autoextinguível no horizontal, demonstrando maior eficiência. A análise térmica revelou diferenças na estabilidade entre as amostras, e a caracterização química confirmou sua composição polimérica. Conclui-se que a espuma utilizada no edifício da OAB é inadequada para aplicações que exigem resistência ao fogo. Os resultados obtidos reforçam a importância da avaliação técnica de materiais aplicados em ambientes internos e subsidiam a criação de um Procedimento Operacional Padrão (POP) para análises periciais no âmbito do Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal.

Palavras-chave: Espuma acústica; Inflamabilidade; UL 94; NBR 9178; Termogravimetria; Segurança contra incêndio.

**ANALYSIS OF THE FLAME-RETARDANT PROPERTIES OF ACOUSTIC
FOAMS IN THE HEADQUARTERS BUILDING OF THE FEDERAL COUNCIL
OF THE OAB**

ABSTRACT

This article presents an analysis of the flame-retardant properties of acoustic foams used in built environments, focusing on the foam installed in the headquarters building of the Brazilian Bar Association (OAB). The study was based on the hypothesis that the foam used in the OAB building would not meet the minimum fire safety criteria. The performance of the foams under fire conditions was evaluated and compared with commercial and technical materials. Vertical and horizontal flammability tests were carried out according to UL 94 and NBR 9178 standards, along with thermal analysis by thermogravimetry (TGA) and chemical characterization by Fourier-transform infrared spectroscopy (FT-IR). The results showed that the OAB foam had inferior performance, with flame propagation and no self-extinguishing behavior, thus being classified as conventional. The commercial foams demonstrated intermediate behavior, with burning rates consistent with the flame-retardant classification. One of the technical foams was classified as V-0 in the vertical test and self-extinguishing in the horizontal test, indicating superior performance. Thermal analysis revealed differences in thermal stability among the samples, and chemical characterization confirmed their polymeric composition. It is concluded that the foam installed in the OAB building is not suitable for applications requiring fire resistance. The results reinforce the importance of technical evaluation in material selection for indoor environments and support the development of a Standard Operating Procedure (SOP) for forensic analysis by the Federal District Military Fire Department.

Keywords: Acoustic foam; Flammability; UL 94; NBR 9178; Thermogravimetry; Fire safety.

1. INTRODUÇÃO

A segurança contra incêndios é um dos pilares fundamentais no ciclo operacional do combate a incêndio e na engenharia de edificações, exigindo atenção especial aos materiais utilizados na construção civil. A escolha inadequada de revestimentos e isolamentos pode contribuir significativamente para a rápida propagação das chamas e para a emissão de fumaça tóxica, elevando o risco para ocupantes e equipes de resgate. Dentre os materiais frequentemente empregados, as espumas acústicas de poliuretano são amplamente utilizadas devido às suas propriedades de isolamento sonoro e custo acessível. Entretanto, quando não tratadas com aditivos retardantes de chama, essas espumas apresentam elevada inflamabilidade e liberam gases tóxicos ao entrar em combustão, agravando as consequências de um incêndio (Mitidieri; Ioshimoto, 1998).

O recente incêndio no edifício-sede do Conselho Federal da Ordem dos Advogados do Brasil (OAB), em Brasília, evidenciou a importância da análise criteriosa dos materiais empregados na construção e no acabamento de ambientes internos. A rápida propagação das chamas e a intensa geração de fumaça reforçam a necessidade de um controle rigoroso na aplicação de espumas acústicas, principalmente em locais de grande circulação. A tragédia da Boate Kiss, em 2013, serve como um marco para a compreensão dos riscos inerentes ao uso inadequado desse material, cujas propriedades termodegradáveis podem comprometer a segurança dos ocupantes em situações de emergência (Mendonça, 2014). Além da propagação do fogo, a inalação de fumaça tóxica é um dos principais fatores de óbito em incêndios (CBMDF, 2012). A combustão de espumas de poliuretano gera substâncias como monóxido de carbono e cianeto de hidrogênio, que, mesmo em pequenas concentrações, podem ser fatais. Portanto, torna-se indispensável a adoção de normas mais rigorosas para o controle do uso desse tipo de material, priorizando alternativas seguras e eficientes na contenção de chamas e minimização da toxicidade da fumaça (Salazar; Caraschi; Leão, 2005).

Diante desse cenário, este trabalho tem como objetivo **avaliar as propriedades antichamas da espuma acústica utilizada no edifício-sede do Conselho Federal da OAB e compará-las com espumas comercialmente vendidas como retardantes de chama, analisando sua eficiência na segurança contra incêndios.** Para atingir esse objetivo, busca-se

a) identificar as características físicas e térmicas da espuma acústica presente na OAB, verificando sua resistência ao fogo;

b) realizar testes comparativos com espumas comercializadas como antichama, avaliando seu desempenho sob as mesmas condições experimentais; e

c) analisar as normas vigentes e os critérios de segurança aplicáveis ao uso de espumas acústicas em edificações institucionais.

O presente estudo busca responder ao seguinte problema: **A espuma acústica utilizada na OAB apresenta resistência ao fogo conforme normas técnicas, ou representa risco potencial de incêndio?** A resposta a essa questão é essencial para embasar medidas preventivas e normativas que possam reduzir os riscos associados a esse tipo de material em edificações institucionais.

O estudo da inflamabilidade das espumas acústicas se justifica pela crescente preocupação com a segurança das edificações e pela necessidade de aprimorar a legislação e os critérios técnicos aplicáveis a materiais de construção (Zhang; Ge; Ma, 2024). O incêndio no edifício-sede da OAB e outros episódios semelhantes destacam a urgência de pesquisas que possam subsidiar normas mais eficazes, garantindo a escolha de materiais que não apenas atendam aos requisitos acústicos, mas que também contribuam para a segurança contra incêndios. Além disso, o Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal tem um papel fundamental na fiscalização e prevenção de incêndios, e este estudo busca fornecer embasamento técnico para aprimorar as diretrizes de segurança em edificações institucionais alinhado com o objetivo 2 do Plano Estratégico do CBMDF 2025-2030.

Este trabalho está estruturado em cinco capítulos. No primeiro, apresenta-se a introdução, contextualizando o tema e os objetivos do estudo. O segundo capítulo aborda o referencial teórico, com conceitos sobre propagação do fogo, toxicidade da fumaça e propriedades das espumas acústicas. No terceiro capítulo, detalha-se a metodologia adotada para a pesquisa experimental. No quarto capítulo, são apresentados e discutidos os resultados obtidos nos ensaios laboratoriais. Por fim, o quinto capítulo traz as considerações finais, incluindo as principais conclusões e recomendações para futuras pesquisas e aplicações práticas.

2. REVISÃO DE LITERATURA

A seguir será apresentado um referencial teórico baseada em trabalhos científicos sobre o que compreende boa parte do conhecimento sobre o fogo, e formas de propagação das chamas. Em seguida será abordado as espumas como material de conforto acústico na construção civil, bem como os retardantes de chama. E por fim, será feito uma análise dos efeitos nocivos desse tipo de material e o panorama da perícia de incêndio no CBMDF.

2.1. Fogo e propagação de calor

Seito (2008) estabeleceu o conceito de fogo, definindo-o como um "processo de combustão caracterizado pela geração de calor e emissão de luz"; uma "oxidação rápida autossustentável, acompanhada por alterações no calor e na intensidade luminosa"; e um "processo de combustão que se manifesta por calor, seguido de emissão de fumaça e/ou chamas".

O fogo tem a capacidade de se propagar em diferentes direções: verticalmente, horizontalmente e para baixo. Quando se propaga verticalmente (para cima), o ar aquecido e o gás em expansão percorrem todas as aberturas e dutos verticais, como escadas abertas e poços de elevadores (CBMDF, 2012).

Na propagação horizontal, o fogo pode se alastrar no mesmo plano horizontal devido ao fluxo de ar e à presença de combustível dentro e nas proximidades da área dividida horizontalmente (Freire, 2022).

A propagação para baixo ou para cima ocorre frequentemente quando aceleradores líquidos são utilizados ou quando o solo fica saturado com líquido inflamável por um período prolongado, ou ainda quando é impedido de subir. Quando o material incandescente escorre para um nível inferior, o fogo também se estende para baixo. Assim como a água, o fogo busca o caminho de menor resistência (CBMDF 2012; Coutinho, 2016).

O processo de propagação do fogo pode ocorrer de diversas formas, seja pelo contato direto da chama com outros materiais combustíveis, pela movimentação de partículas ou pela ação do calor (CBMDF, 2012).

A propagação do fogo está intimamente ligada ao princípio da transferência de calor, que é cientificamente definido pela interação entre objetos de diferentes temperaturas, envolvendo condução, radiação e convecção. A condução térmica é o mecanismo pelo qual o calor é transportado através de materiais sólidos. A convecção térmica ocorre quando a energia térmica é transferida por meio de um fluido aquecido (líquido ou gás), enquanto as ondas eletromagnéticas utilizam radiação de energia como meio de transmissão (Aragão, 2023).

De acordo com Camargo (2019), a transferência de calor é descrita como o movimento do calor de uma temperatura mais alta para uma temperatura mais baixa dentro de um meio, seja líquido, sólido ou gasoso, ou entre diferentes tipos de meios que estão fisicamente em contato.

A condução é causada pela interação física entre os objetos, enquanto a radiação envolve a transmissão de calor de um corpo com temperatura mais alta para um corpo com temperatura mais baixa, mesmo na ausência de contato físico e mesmo quando há vácuo entre eles (Camargo, 2019).

Quanto à convecção, ela refere-se ao movimento de calor que ocorre em meios sólidos, líquidos ou gasosos. Um exemplo prático desse fenômeno é o funcionamento de sistemas de refrigeração comumente utilizados em residências. A convecção é o processo pelo qual a energia é transferida através da combinação de condução de calor, armazenamento de energia e movimento de mistura, destacando-se pela capacidade de mover energia entre uma superfície sólida e um gás ou líquido (Coutinho, 2016).

2.2. Incêndio, principais causas e fases

O estudo conduzido por Souza (2019) destacou uma variedade de fatores que desempenham um papel significativo na iniciação e progressão de incêndios. Esses elementos abrangem a configuração geométrica e dimensões

do espaço, a área de superfície específica dos materiais combustíveis, a disposição desses materiais no local, a quantidade de materiais combustíveis temporários ou permanentemente incorporados, as propriedades de combustão dos materiais envolvidos, o ponto de origem do incêndio no ambiente, as condições climáticas predominantes, como temperatura e umidade relativa do ar, a presença de aberturas de ventilação nos espaços, as lacunas entre os ambientes que facilitam a propagação do fogo, as características arquitetônicas do projeto do ambiente ou edifício, além de quaisquer medidas existentes de prevenção ou proteção contra incêndios implementadas.

De acordo com Freire (2022), as origens dos incêndios podem ser classificadas em três categorias distintas. Primeiramente, temos as causas naturais, que não estão sujeitas à intervenção humana e incluem fenômenos como raios, vulcões, terremotos, calor solar e combustão espontânea. Em seguida, encontramos as causas motivadas por circunstâncias imprevistas, apresentando uma ampla variedade, como chamas abertas, eletricidade, balões, roedores, entre outros. Por fim, destacam-se as causas relacionadas a ações criminosas, englobando fraudes em seguros, queima de documentos, ciúmes, crimes passionais e incêndios intencionais.

A capacidade de agir e ter controle sobre algo proporciona uma sensação de segurança e confiança para explorar um objeto ou situação. No entanto, há situações em que esse controle não pode ser plenamente alcançado. O fogo, por exemplo, concedeu à humanidade muitas conquistas, mas também demonstrou ser capaz de causar danos irreparáveis quando não é devidamente controlado. A falta de domínio sobre o fogo resulta no que comumente denominamos como incêndio (Massarote, 2021).

No Brasil, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), por meio da NBR 13860 (1997), define o incêndio como "fogo fora de controle". Essa descrição ressalta a grande importância de manter a gestão adequada do fogo para prevenir danos significativos e assegurar um ambiente seguro.

No incêndio o fogo inicia-se de forma discreta e seu desenvolvimento está intrinsecamente ligado aos materiais disponíveis e à sua distribuição no

ambiente. Observa-se um padrão evolutivo atingível, dividido em três fases distintas, conforme descrito por Cerqueira (2022). A primeira fase, denominada fogo incipiente, é caracterizada por um crescimento lento que perdura de cinco a vinte minutos até a ignição. A segunda fase marca o início do crescimento das chamas e do aquecimento do ambiente, momento crucial para a ativação de sistemas de detecção e alarme de fumaça. Agir nesse estágio oferece uma alta probabilidade de sucesso na extinção e consequente controle do incêndio.

Quando a temperatura ambiente atinge aproximadamente 600°C, as estruturas de aço utilizadas em edifícios civis começam a perder resistência, correndo o risco de colapsar devido à ação de gases, gases combustíveis e fumaça provenientes da pirólise de combustíveis sólidos. A presença de líquidos inflamáveis pode resultar na geração de vapores, desencadeando uma inflamação sistêmica (*flashfire*) e envolvendo o ambiente em chamas, conforme detalhado por Nunes (2017). A extinção do fogo antes dessa fase crítica, por meio de chuveiros automáticos, hidrantes e mangueiras, eleva substancialmente a probabilidade de sucesso no combate ao incêndio.

Por fim a terceira fase é caracterizada pela gradual redução da temperatura ambiente e das chamas. É crucial compreender que a abordagem para combater um incêndio varia de acordo com os materiais envolvidos e as características específicas do incêndio (Souza, 2023). O método, técnica ou ação para extinguir um incêndio está diretamente vinculado ao tipo de material em combustão, para o qual são estabelecidas classificações específicas.

A classificação de incêndios no Brasil é segmentada em quatro categorias distintas: Classe A, Classe B, Classe C e Classe D. É relevante notar que essa classificação não se restringe ao território brasileiro, uma vez que diferentes normas estabelecem classificações similares em várias partes do mundo. Além disso são categorias utilizadas para classificar o tipo de combustível envolvido em um incêndio, facilitando o entendimento e a escolha das técnicas de combate adequadas (Ferreira, 2018).

As classes de incêndio A, B, C e D são categorias que identificam o tipo de combustível envolvido. A Classe A abrange materiais sólidos, a Classe B

refere-se a líquidos inflamáveis, a Classe C está relacionada a equipamentos elétricos energizados, e a Classe D engloba metais combustíveis. Cada classe requer abordagens específicas de combate, sendo fundamental escolher os agentes extintores adequados para controlar eficientemente os diferentes tipos de incêndio (CBMDF 2012).

2.3. Métodos de extinção de incêndio

O tetraedro do fogo é composto por quatro vertentes essenciais: combustível, comburente, energia e reações em cadeia. A inibição de qualquer um desses elementos pode contribuir para uma maior eficácia na supressão de incêndios. Segundo o CBMDF (2020), os métodos de combate a incêndios são centrados na remoção de elementos do tetraedro de fogo. O manual básico de combate a incêndios destaca quatro princípios fundamentais: resfriamento, sufocamento, isolamento de material e interrupção de reações em cadeia.

Conforme indicado por Seito et al. (2008), o método de resfriamento busca extinguir o fogo removendo o calor presente na reação de combustão, reduzindo a temperatura do combustível e limitando a liberação de gases inflamáveis. Além disso, o manual argumenta que o método de abafamento ao qual visa diminuir a concentração de comburente no processo de combustão, sendo aplicável quando a concentração não é suficiente para sustentar a queima.

No que diz respeito à remoção ou gerenciamento de materiais, Khan (2023) a define como um método cujo propósito principal é remover materiais combustíveis, seja para prevenir a ignição ou para conter a propagação do fogo.

Por fim, a interrupção da reação em cadeia implica o emprego de substâncias com a capacidade de inibir a progressão da reação de combustão. Esse procedimento visa evitar a continuidade do processo de queima do material combustível, sendo os agentes extintores de incêndio utilizados com o propósito específico de interromper a mencionada reação em cadeia (Lugon, 2020).

2.4. O papel das espumas acústicas no controle do som em edifícios

O conforto acústico é essencial em ambientes urbanos, garantindo bem-estar e produtividade. Segundo a norma NBR 15575, o desempenho acústico em edificações habitacionais deve atender critérios para isolamento sonoro entre ambientes e para redução de ruídos externos. As espumas acústicas destacam-se nesse cenário, devido à sua elevada porosidade, que permite absorver ondas sonoras e minimizar reverberações. Essas espumas são amplamente utilizadas em estúdios, salas de reunião e áreas industriais para melhorar a qualidade sonora e reduzir ruídos indesejados (Gerez, 2017).

Além disso, estudos apontam que o planejamento arquitetônico adequado, integrando barreiras acústicas e soluções baseadas em espumas, pode reduzir significativamente a propagação de som, aumentando a privacidade e o conforto ambiental. A aplicação das espumas deve considerar a combinação com outros materiais, como vidros duplos e paredes de alvenaria, para maximizar o desempenho (Fleck *et al.*, 2023).

2.5. Materiais Acústicos em Uso

As espumas de poliuretano são materiais de escolha pela sua leveza, alta capacidade de absorção sonora e fácil adaptabilidade a diferentes formatos. Essas espumas atuam como absorvedores de som por meio de seus poros abertos, dissipando a energia acústica como calor. Modificações químicas, como a inclusão de polímeros retardantes de chama, podem aumentar sua aplicabilidade em ambientes que requerem maior segurança contra incêndios (Pavan, 2017).

Outros materiais, como lã de rocha e lã de vidro, também são amplamente utilizados por suas propriedades térmicas e acústicas. Enquanto esses materiais oferecem maior resistência térmica, as espumas acústicas apresentam vantagens em termos de instalação e leveza estrutural. Recentemente, novos polímeros híbridos têm sido desenvolvidos para combinar propriedades acústicas e retardantes, atendendo demandas específicas em projetos de construção sustentável (Estravís *et al.*, 2016).

2.6. Desafios Associados

Um dos grandes desafios na construção civil é equilibrar a eficiência acústica com as propriedades retardantes de chama. Materiais retardantes podem afetar a densidade e a porosidade das espumas, impactando negativamente sua capacidade de absorção sonora. Por outro lado, espumas altamente porosas, eficientes no controle acústico, podem apresentar maior inflamabilidade (Marques *et al.*, 2016).

Pesquisas recentes buscam desenvolver espumas acústicas que integrem nanocompósitos, como argilas modificadas ou aditivos baseados em fósforo, para melhorar a resistência ao fogo sem comprometer o desempenho acústico. No entanto, esses avanços ainda enfrentam barreiras como custos elevados e processos produtivos complexos (Martins, 2009).

O conforto acústico na construção civil depende de uma abordagem integrada, que combine planejamento arquitetônico, escolha de materiais adequados e tecnologias avançadas. Espumas acústicas, particularmente as de poliuretano e polímeros modificados, desempenham papel crucial na criação de ambientes acusticamente agradáveis. Contudo, os desafios relacionados à compatibilidade entre eficiência acústica e segurança contra incêndios requerem pesquisas contínuas e inovação para atender às demandas do mercado de forma sustentável (Marques *et al.*, 2016).

2.7. Categorias de Retardantes de Chama

Os avanços tecnológicos recentes na formulação de retardantes de chama têm priorizado a combinação de materiais que ampliem a resistência ao fogo sem comprometer propriedades essenciais, como leveza, flexibilidade e sustentabilidade. Nesse contexto, diversos aditivos vêm ganhando destaque por sua eficácia técnica e potencial de aplicação industrial.

As argilas modificadas, quando incorporadas na matriz polimérica em escala nanométrica, formam barreiras físicas eficientes contra a propagação de chamas, além de melhorar a estabilidade térmica e reduzir a emissão de fumaça tóxica, conforme demonstrado por Fleck et al. (2023). Já os polifosfatos, amplamente utilizados em espumas de poliuretano, promovem a formação de uma camada isolante protetora que bloqueia a difusão de calor e oxigênio, sendo uma alternativa econômica e funcional (Brambilla, 2019).

Outro avanço relevante envolve o uso de nanopartículas como óxidos de alumínio, dióxido de silício e nanotubos de carbono. Esses materiais oferecem elevada eficiência na resistência térmica e estabilidade estrutural, embora ainda apresentem desafios quanto ao custo e à dispersão homogênea na matriz polimérica (Zhang; Ge; Ma, 2024).

A evolução dos retardantes de chama evidencia um esforço contínuo para equilibrar segurança, funcionalidade e impacto ambiental. Tecnologias baseadas em aditivos halogenados, livres de halogênio, nanocompósitos, argilas e nanopartículas revelam-se promissoras, mas reforçam a necessidade de inovação constante frente às demandas regulatórias e operacionais da engenharia de segurança contra incêndios.

2.8. Poluição e Bioacumulação

2.8.1. Problemas associados a aditivos halogenados e suas alternativas ecológicas

Aditivos halogenados, como retardantes de chama bromados e clorados, têm sido amplamente utilizados devido à sua eficácia na redução de inflamabilidade. No entanto, seu impacto ambiental e à saúde é motivo de crescente preocupação. Esses compostos são persistentes no meio ambiente, bioacumulam-se na cadeia alimentar e têm sido associados a efeitos tóxicos em organismos, incluindo interferências endócrinas e carcinogenicidade em humanos. Estudos mostram que produtos contendo retardantes halogenados podem liberar poluentes persistentes durante sua vida útil e especialmente em

processos de descarte inadequado, como a queima em aterros sanitários (Macedo, 2015).

Alternativas ecológicas, como retardantes livres de halogênios, surgiram como solução mais sustentável. Materiais à base de fósforo e nitrogênio são biodegradáveis e apresentam menor toxicidade. Por exemplo, o uso de polifosfatos de amônio reduz a emissão de gases nocivos durante a decomposição térmica. Nanocompósitos, como argilas modificadas e grafeno, também estão ganhando destaque por oferecerem maior eficiência retardante com menor impacto ambiental, embora seus custos de produção ainda sejam um desafio para a ampla adoção (Jerônimo, 2009).

2.8.2. Toxicidade de Materiais Durante a Combustão

Durante a combustão, materiais tradicionais, como polímeros com aditivos halogenados, liberam grandes quantidades de gases tóxicos, incluindo ácido clorídrico (HCl), ácido bromídrico (HBr) e dioxinas. Esses compostos são prejudiciais tanto para a saúde humana quanto para o meio ambiente, causando danos respiratórios agudos e contribuindo para mudanças climáticas devido à sua toxicidade e persistência atmosférica (Salazar; Caraschi; Leão, 2005).

Alternativas sustentáveis, como espumas acústicas tratadas com retardantes à base de fósforo, liberam quantidades menores de gases tóxicos e formam camadas carbonizadas que inibem a propagação de chamas. Nanocompósitos, como óxidos metálicos e argilas modificadas, não apenas reduzem a inflamabilidade, mas também minimizam a produção de fumaça opaca e tóxica. Estudos indicam que essas opções sustentáveis emitem até 70% menos gases nocivos em comparação com retardantes halogenados, além de apresentarem melhores resultados em testes de opacidade e toxicidade de fumaça (Trindade, 2013).

Os materiais tradicionais com aditivos halogenados representam um risco significativo à saúde e ao meio ambiente devido à poluição, bioacumulação e toxicidade durante a combustão. Alternativas ecológicas, como retardantes livres de halogênios e nanocompósitos, oferecem soluções promissoras, equilibrando desempenho retardante com menor impacto ambiental. No entanto, a transição

para essas tecnologias exige superar barreiras econômicas e logísticas (Macedo, 2015).

2.9. Perícia

Apesar de o foco principal deste estudo ser a perícia em incêndio, é essencial abordar o contexto teórico abrangente da perícia como um todo. Isso significa examinar a perspectiva geral, em sentido amplo, a fim de compreender os conceitos e inter-relações inerentes à própria perícia em incêndio.

2.9.1. História da perícia de incêndios no CBMDF

A história da perícia de incêndio realizada pelos Corpos de Bombeiros Militares teve início em 1973 no Instituto Nacional de Criminalística do Departamento de Polícia Federal. O responsável por esse marco foi o Professor Doutor Antônio Carlos Vila Nova, que ministrou o primeiro Curso de Perícia de Incêndio e Explosão (CPI) destinado aos oficiais do Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal (Andrade, 2007).

Podemos inferir que a origem desse curso está intrinsecamente ligada à história da perícia criminal de incêndio, uma vez que foi a própria polícia judiciária da União, por meio de seu instituto de criminalística, que iniciou os oficiais do CBMDF nesse campo de atuação.

Após a conclusão desse curso pioneiro, os serviços de perícia de incêndio começaram a ser transferidos para o CBMDF e foram incorporados às suas competências. Tal incorporação foi formalizada pelo artigo 2º da Lei nº 6.022, datada de 3 de janeiro de 1974. Essa legislação atribuiu ao CBMDF diversas competências, incluindo a realização de perícias de incêndio, fortalecendo assim o papel da Corporação nesse importante aspecto da segurança e investigação (Oliveira, 2023).

2.9.2. Panorama atual da perícia no CBMDF

A atribuição do Corpo de Bombeiros do Distrito Federal de conduzir perícias de incêndio estão descritas nos artigos 2º da Lei nº 7.479/86, da Lei nº 8.255/91 e do Decreto nº 7.163/10. (BRASIL, 1991)

O enfrentamento de incêndios pelo Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal (CBMDF) ocorre por meio de um ciclo operacional composto por três grandes fases: a) fase preventiva (ou normativa); b) fase ativa (ou de combate); e c) fase pericial (ou de perícia) (CBMDF, 2019).

A fase pericial visa investigar para esclarecer a causa e a subcausa, a propagação, o desenvolvimento, a extinção e as consequências do incêndio, fornecendo informações essenciais para as demais etapas do ciclo operacional². Seu foco recai sobre o local específico do incêndio ou caso real, analisando seus indícios (Santos, 2016).

Baigorri (2020) destaca que a importância da fase pericial reside no aprimoramento das ações da fase preventiva, visando evitar futuros incêndios com riscos semelhantes. Além disso, contribui para a constante revisão e elaboração de normas e regulamentos contra incêndio e pânico.

A fase pericial também aprimora a fase ativa ao apontar falhas em viaturas, equipamentos, materiais, técnicas e táticas utilizadas no combate ao incêndio. Propõe novos programas de treinamento, aquisição de viaturas e equipamentos, e avalia o desempenho operacional da Corporação Bombeiro-Militar, especialmente do CBMDF (Chaves, 2019).

Pascoal (2015) ressalta que a fase pericial identifica responsabilidades por falhas no cumprimento de normas, propondo revisões e subsidiando indústrias, profissionais de segurança, companhias seguradoras e a justiça. Conforme o CBMDF (2019), essa fase fornece subsídios para avaliar sistemas e equipamentos de segurança, permitindo a reavaliação, redimensionamento ou desenvolvimento de novos projetos.

Além disso, destaca-se a importância da fase pericial na valorização da concessão de habite-se e alvará de funcionamento, incentivando consultas

prévias à área de segurança contra incêndio e pânico oferecidas pelos corpos de bombeiros militares do Brasil (CBMDF, 2019).

Correa (2022) esclarece que a fase pericial fornece subsídios às companhias seguradoras ao exigir o laudo pericial do Corpo de Bombeiros Militar nos casos de incêndio, conforme orientação da Circular da Superintendência de Seguros Privados (SUSEP) nº 321, de 21 de março de 2006. Esta circular estabelece que as coberturas de responsabilidade civil só podem ser comercializadas mediante a contratação simultânea de cobertura do grupo incêndio, validando ou não os procedimentos de regulação e liquidação de sinistros após o incêndio.

3. METODOLOGIA

3.1. Pesquisa Experimental

Appolinário (2011) afirma que a pesquisa experimental é uma metodologia científica que se distingue pela manipulação de variáveis em um ambiente controlado, com o objetivo de investigar relações de causa e efeito. Por meio dessa abordagem, o pesquisador cria condições específicas para observar como as alterações em uma variável independente impactam a variável dependente. Esse tipo de investigação exige rigor no controle dos fatores externos, garantindo que os resultados obtidos sejam diretamente atribuíveis às manipulações realizadas, o que confere à pesquisa experimental um caráter objetivo e confiável na construção do conhecimento. Nesse sentido a seguir será abordado como ocorreu a análise das espumas flexíveis.

3.1.1. Amostra

Foram selecionadas cinco amostras de espumas flexíveis para a realização dos ensaios. A Espuma A foi escolhida por sua semelhança com o material utilizado na tragédia da Boate Kiss. A Espuma B foi coletada no edifício-sede do Conselho Federal da OAB, sendo um material real de interesse no estudo. As Espumas C e D foram adquiridas no comércio e identificadas como espumas antichamas, permitindo uma comparação com os demais materiais testados. Por fim, a Espuma E foi fornecida pela Diretoria de Investigação de Incêndios (DINVI) do Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal, garantindo uma referência adicional para a análise das propriedades físico-químicas e de inflamabilidade.

Figura 1 – Amostra da espuma B



Fonte: O autor.

3.1.2. Análise Termogravimétrica (TGA)

A análise térmica das amostras foi conduzida no equipamento TA Instruments Thermal Analysis – TGA, com os seguintes parâmetros experimentais:

Tabela 1 – Parâmetros Experimentais TGA

Etapa	Procedimento
1	Aquecimento a uma taxa de 20,00 °C/min até atingir a temperatura de 900,00 °C
2	Resfriamento com um salto direto para 60,00 °C
3	Finalização do método

Fonte: O autor.

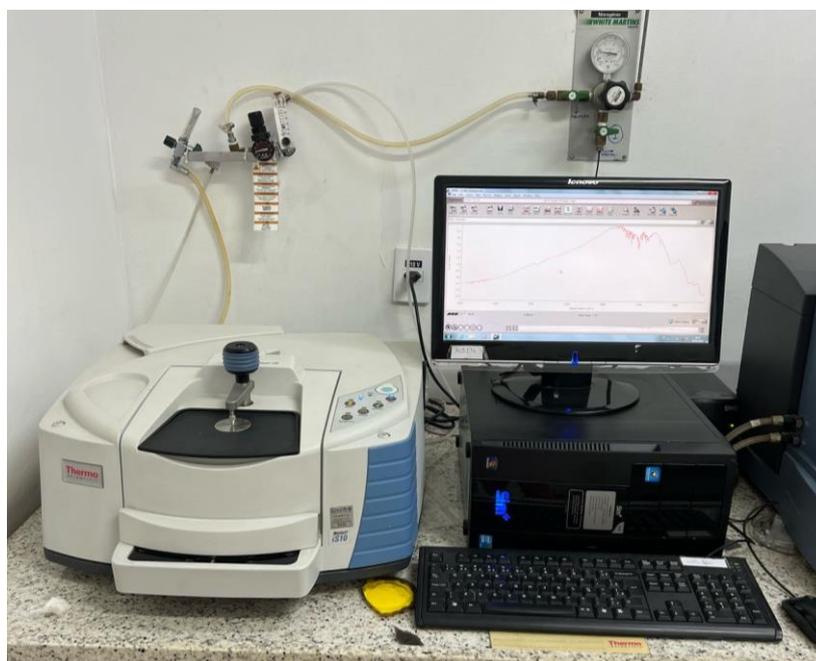
O procedimento segue a rotina que ocorreu no Laboratório de Química (LAQUI) da DINVI. O objetivo desse ensaio foi determinar a perda de massa das espumas em função do aumento da temperatura, caracterizando a decomposição térmica das amostras e identificando possíveis eventos térmicos, como a degradação inicial, formação de resíduos carbonizados e liberação de

voláteis. Esses dados fornecem informações fundamentais sobre o comportamento térmico e a resistência ao fogo das espumas analisadas.

3.1.3. Espectroscopia de absorção na região do infravermelho

Outra caracterização química das espumas foi realizada por espectroscopia no infravermelho com transformada de Fourier (FT-IR), utilizando um espectrômetro Thermo Fisher Scientific conforme Figura 2. A técnica foi empregada para identificar os grupos funcionais presentes nos polímeros constituintes das amostras, fornecendo informações sobre a composição química e possíveis alterações estruturais causadas pela degradação térmica.

Figura 2 – Equipamento de espectroscopia no infravermelho com transformada de Fourier (FT-IR) utilizado na caracterização das espumas acústicas do LAQUI.



Fonte: O autor.

As análises foram conduzidas no modo de transmissão, na região espectral de 4000 cm^{-1} a 500 cm^{-1} , coletando espectros na faixa de comprimento de onda correspondente à absorção característica de ligações químicas presentes nas espumas. Os espectros obtidos foram comparados com dados de referência para materiais poliméricos BPAD-ATR-POLYMER.

3.1.4. Ensaio de Inflamabilidade Vertical

Para avaliar o comportamento das amostras frente à exposição direta ao fogo, foi realizado o ensaio de inflamabilidade vertical de acordo com a norma **UL94**. As amostras foram cortadas nas seguintes dimensões:

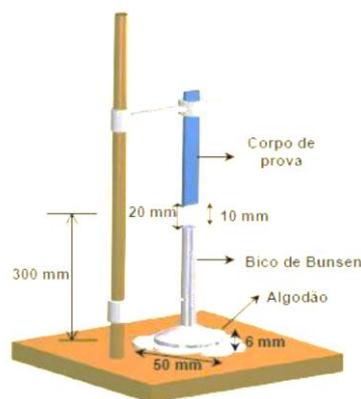
Comprimento: 125 ± 5 mm

Largura: $13,0 \pm 0,5$ mm

As amostras são fixadas verticalmente por uma extremidade, com o eixo longitudinal alinhado e o extremo inferior posicionado a 10 ± 1 mm acima do Bico de Bunsen, verificando-se:

- O tempo de queima após a remoção da chama;
- A formação de gotas incandescentes;
- A capacidade do material de autoextinção.

Figura 3 – Representação do ensaio de inflamabilidade vertical



Fonte: Ribeiro (2013).

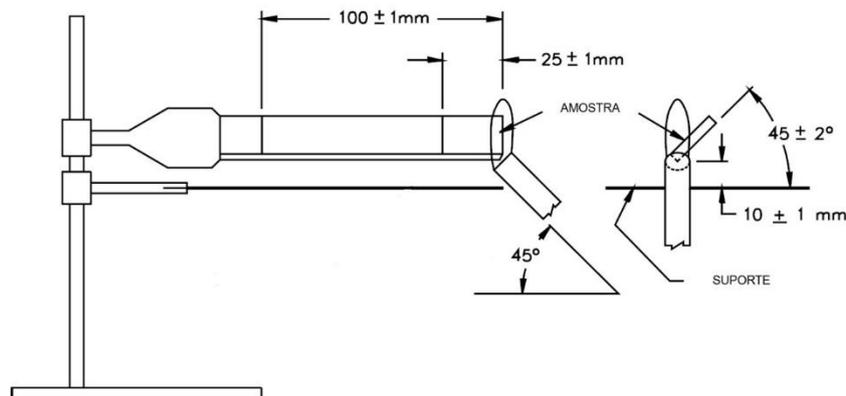
Esse método permite classificar as espumas quanto à sua resistência ao fogo, identificando os materiais com maior risco de propagação de chamas.

3.1.5. Ensaio de Inflamabilidade Horizontal

O ensaio de inflamabilidade horizontal foi realizado segundo a norma UL 94 (2023), sendo aplicado para materiais que continuam a propagar a chama mesmo após a remoção da fonte de ignição. Esse teste é essencial para

determinar a velocidade de queima (V_q) e classificar os materiais conforme sua taxa de combustão. A Figura 4 representa a estrutura da montagem do ensaio

Figura 4 – Representação do ensaio de inflamabilidade vertical



Fonte: UL 94 (2023).

As amostras foram preparadas com 150 mm de comprimento e fixadas horizontalmente por uma das extremidades. Foram realizadas marcações a 6 mm, 25 mm e 100 mm da extremidade exposta à chama. A ignição foi realizada com um bico de Bunsen posicionado a um ângulo de 45°, ajustado para gerar uma chama de 20 mm. A aplicação da chama ocorreu por um período de 30 segundos na extremidade livre da amostra. Foi registrado o tempo necessário para que a combustão progredisse até a marca de 25 mm e até a marca de 100 mm. O Cálculo da velocidade foi determinado a partir da equação abaixo:

$$Vq = \frac{60 \cdot S}{t}$$

Onde:

- Vq é a velocidade de queima (mm/min);
- S é a extensão da progressão da chama (mm);
- t é o tempo necessário para essa progressão (s).

Os ensaios de inflamabilidade horizontal foram realizados cinco vezes para cada amostra, com os tempos de queima anotados e as velocidades de propagação calculadas.

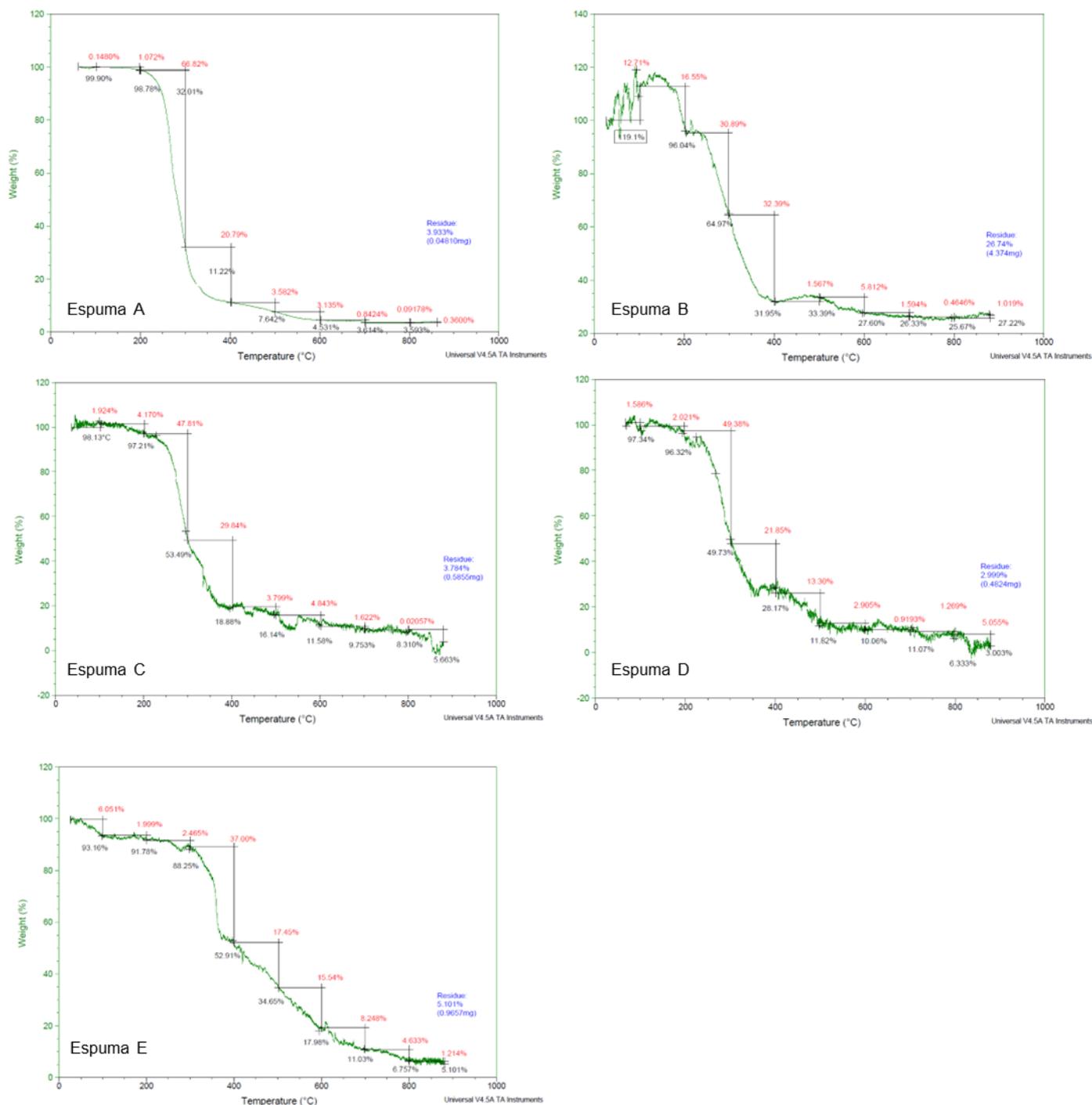
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A avaliação da inflamabilidade e das propriedades térmicas das espumas analisadas permite compreender seu comportamento frente à exposição ao fogo e sua adequação para aplicações que exigem resistência à chama. A seguir, são apresentados e discutidos os resultados dos ensaios de inflamabilidade e caracterização dos materiais, destacando as diferenças entre as amostras e sua classificação segundo critérios normativos.

4.1. Análise Termogravimétrica

A análise de termogravimetria (TGA) fornece informações essenciais sobre seu comportamento térmico e estabilidade frente ao aquecimento. A Figura 5 demonstra a relação entre a perda de massa do material e o aumento da temperatura, evidenciando as etapas de degradação.

Figura 5 – Curvas de Termogravimetria das espumas A, B, C, D e E.



Fonte: LAQUI.

Conforme apresentado nos gráficos acima, os resultados revelam diferentes comportamentos térmicos que refletem suas formulações químicas distintas. A Espuma A, exibe uma perda de massa superior a 96%, indicando

uma degradação térmica quase total e uma estabilidade mínima, consistente com sua alta inflamabilidade. Em contraste, a Espuma B, retirada de um cenário real de incêndio e com massa de 16.36 mg, apresenta uma perda inicial de 12.71% — provavelmente devido à volatilização de plastificantes — seguida por estabilização em 16.55% até 140 °C, sugerindo uma reticulação que oferece resistência inicial limitada, mas insuficiente para conter propagação térmica significativa.

A Espuma C, adquirida comercialmente com suposta presença de retardantes e massa de 15.47 mg, mostra perdas multifásicas de 1.92%, 4.17%, 47.81% e um pico de 97.21%, evidenciando uma estrutura complexa que confere resistência térmica inicial superior à da Espuma B, embora sua volatilização quase completa indique que os retardantes têm efeito limitado em altas temperaturas. Similarmente, a Espuma D, também comercial e com retardantes declarados, possui massa de 16.09 mg e registra perdas escalonadas de 1.59%, 2.02%, 49.38% e máximo de 96.32%, destacando-se por um controle térmico mais pronunciado em estágios intermediários, o que sugere uma formulação mais eficaz que a da Espuma C em mitigar a degradação. Já a Espuma E, com 18.93 mg e reconhecida por seu ótimo desempenho como retardante de chama, apresenta dados restritos a 120 °C, mas sua elevada massa inicial aponta para uma densidade que, combinada com aditivos especializados, como fosfatos ou halogenados, a posiciona como superior em resistência ao fogo.

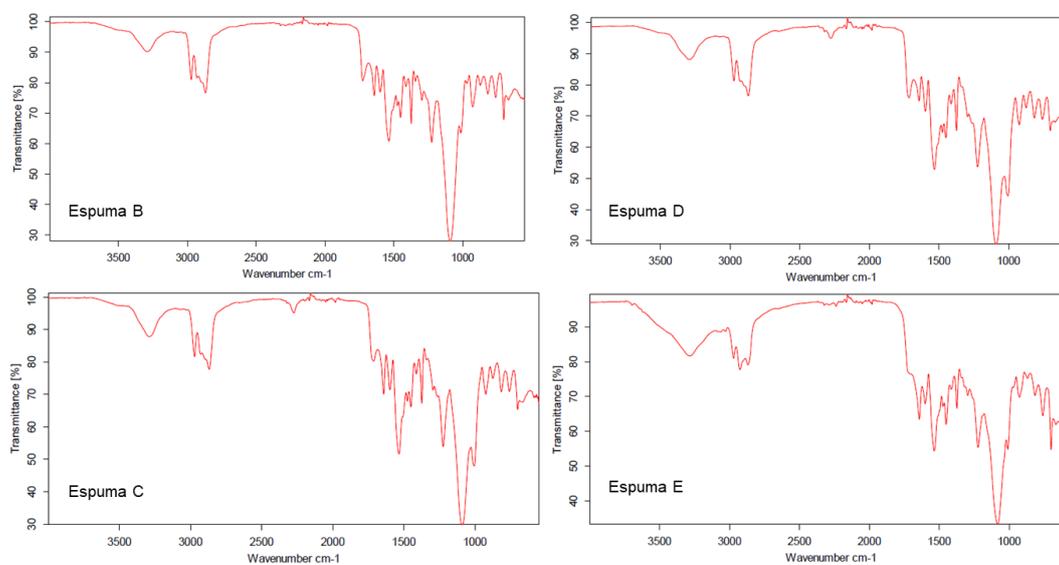
Conforme Brambilla (2019), espumas com composição rica em halogenados tendem a apresentar melhor desempenho antichama, o que se confirma nos resultados da Espuma E. A Espuma B, com comportamento térmico moderado, supera a Espuma A em estabilidade inicial, mas não alcança a sofisticação das Espumas C e D, que, apesar de suas perdas máximas (97.21% e 96.32%, respectivamente), exibem degradação controlada atribuível aos retardantes presentes. A Espuma D, com perdas como 49.38% e 21.85%, demonstra maior equilíbrio térmico que a Espuma C, cujos estágios de 9.75% e 5.66% sugerem uma resiliência multifásica, mas menos otimizada em temperaturas elevadas.

Esses perfis térmicos destacam a criticidade da formulação química no desempenho das espumas. A alta inflamabilidade da Espuma A reflete uma composição vulnerável, enquanto a Espuma B, oriunda de um incêndio real, indica resistência parcial insuficiente para condições extremas. As Espumas C e D, com retardantes comerciais, oferecem melhorias perceptíveis, com a Espuma D sobressaindo em controle térmico, embora ambas cedam em degradação total. A Espuma E, com seu desempenho retardante superior, sugere uma estrutura que supera as demais, alinhando-se a aplicações onde a segurança contra incêndio é prioritária. Assim, os dados orientam a seleção e aprimoramento de poliuretanos, equilibrando inflamabilidade e estabilidade para atender a exigências específicas, desde isolamentos comuns até materiais de alta segurança.

4.2. Análise da Espectroscopia de absorção na região do infravermelho

A espectroscopia de infravermelho, foi empregada para caracterizar as Espumas B, C, D e E. Os espectros das quatro espumas revelaram bandas diagnósticas consistentes com poliuretano, evidenciando a uniformidade de sua natureza química os espectros abaixo trazem o resultado a análise.

Figura 6 – Espectros FTIR das amostras das espumas B, C, D e E.



Fonte: LAQUI.

O estiramento C=O do grupo uretano, centrado em aproximadamente 1700 cm^{-1} , emerge como uma característica proeminente em todas as amostras, refletindo a presença dominante de ligações carbonílicas típicas da estrutura polimérica. Comparativamente, a Espuma B exibe uma banda C=O de intensidade particularmente pronunciada, sugerindo uma maior densidade de grupos uretano ou uma organização molecular mais ordenada em relação à Espuma E, onde a mesma banda aparece ligeiramente atenuada, possivelmente devido a interações com aditivos ou segmentos flexíveis na rede. As Espumas D e C, por sua vez, apresentam intensidades intermediárias nessa região, indicando uma composição química que equilibra rigidez e flexibilidade estrutural.

Na faixa de $2800\text{--}3000\text{ cm}^{-1}$, os estiramentos simétricos e assimétricos C-H das cadeias alifáticas foram detectados em todas as amostras, corroborando a presença de segmentos hidrocarbonetos característicos do poliuretano. A Espuma B destaca-se novamente por uma definição mais nítida dessas bandas, o que pode indicar uma maior proporção de cadeias saturadas ou uma menor interferência de grupos funcionais secundários. Em contraste, a Espuma E mostra uma leve ampliação nessas bandas, sugerindo a possível presença de ramificações ou plastificantes que modulam as vibrações C-H. As Espumas D e C exibem perfis espectrais similares nessa região, com larguras de banda que apontam para uma homogeneidade estrutural comparável, embora sutilmente distinta da Espuma B.

As vibrações N-H, observadas na região de $3300\text{--}3500\text{ cm}^{-1}$, associadas às ligações de hidrogênio intramoleculares do poliuretano, foram consistentes entre as amostras, mas com nuances reveladoras. A Espuma B apresenta uma banda N-H bem resolvida, indicativa de uma rede de ligações de hidrogênio robusta, potencialmente ligada a uma maior densidade de reticulação. A Espuma E, por outro lado, exibe uma leve sobreposição nessa região, o que pode refletir a influência de aditivos que competem por interações de hidrogênio, reduzindo a ordem molecular. As Espumas D e C mostram intensidades e larguras de banda N-H praticamente idênticas, sugerindo uma estrutura química e um grau

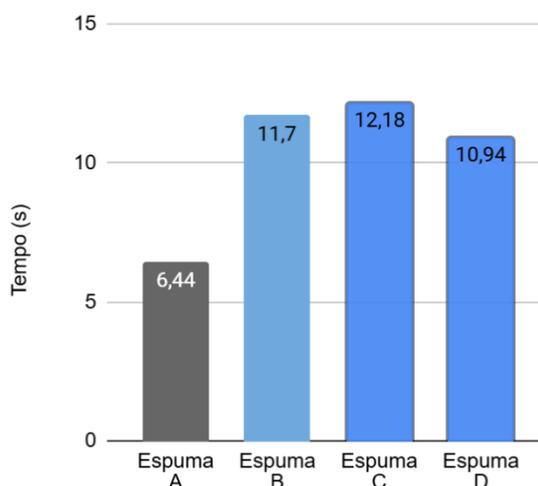
de reticulação equiparáveis, posicionando-as como intermediárias entre os extremos representados por B e E.

A ausência de bandas desconhecidas em todos os espectros exclui a presença de contaminantes detectáveis, reforçando a integridade química das amostras. Contudo, as diferenças espectrais observadas — como a intensidade do C=O, a nitidez dos estiramentos C-H e a resolução das vibrações N-H — apontam para variações na composição ou no processamento das espumas. A Espuma B, com suas bandas mais definidas, sugere uma formulação otimizada para uniformidade estrutural, possivelmente destinada a aplicações que demandam maior rigidez ou estabilidade térmica. A Espuma E, com assinaturas mais atenuadas, pode ter sido ajustada com aditivos para conferir flexibilidade ou resiliência, enquanto as Espumas D e C, com características espectrais balanceadas, parecem representar um meio-termo, adequadas a usos que requerem equilíbrio entre resistência e deformabilidade.

4.3. Ensaio de Inflamabilidade Vertical

Os resultados obtidos para os tempos médios de queima das espumas analisadas no ensaio de inflamabilidade vertical segundo a norma UL 94 indicam diferenças significativas no comportamento de principalmente da espuma A frente à exposição ao fogo conforme pode ser observado no gráfico abaixo:

Figura 7 – Gráfico do resultado do ensaio de inflamabilidade vertical.

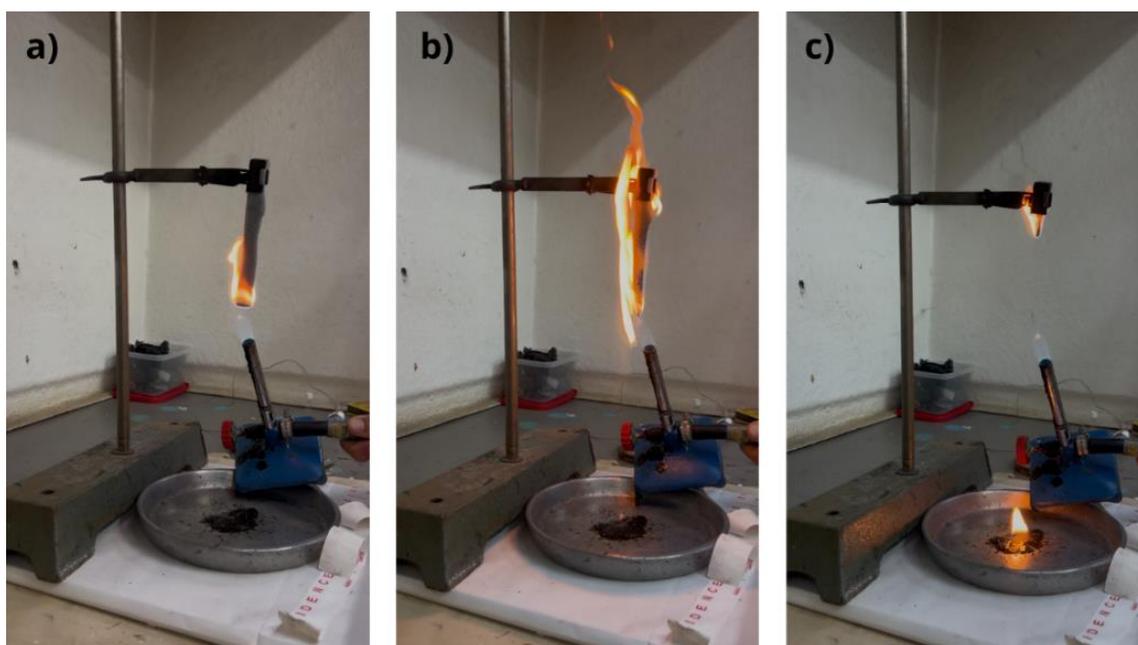


Fonte: O autor.

As espumas A, B, C e D apresentaram tempos médios de queima de 6,44 s, 11,7 s, 12,18 s e 10,94 s, respectivamente. Apesar dessas variações, todas exibiram um comportamento crítico: a queima autossustentada na primeira aplicação da chama ao corpo de prova. Esse fenômeno evidencia que esses materiais não possuem características intrínsecas de retardância à chama suficientes para extinguir a combustão de forma espontânea.

Entre essas amostras, a espuma A apresentou o pior desempenho, registrando o menor tempo médio de queima (6,44 s) e demonstrando maior suscetibilidade à propagação da chama. Esse resultado sugere que a espuma A possui uma composição mais inflamável do que as demais, com menor resistência térmica e ausência de mecanismos eficazes de autoextinção. Essa característica a torna especialmente crítica em cenários onde a segurança contra incêndios é essencial, aumentando o risco de combustão rápida e descontrole do fogo.

Esse resultado é determinante, pois, de acordo com os critérios estabelecidos pela UL 94, a autoextinção da chama após a retirada da fonte de ignição é um pré-requisito essencial para a classificação do material. Como as espumas A, B, C e D falharam nesse aspecto, conforme pode ser observado na Figura 8, elas não podem ser enquadradas dentro das categorias V-0, V-1 ou V-2, o que as torna inadequadas para aplicações que exigem conformidade com essa norma.

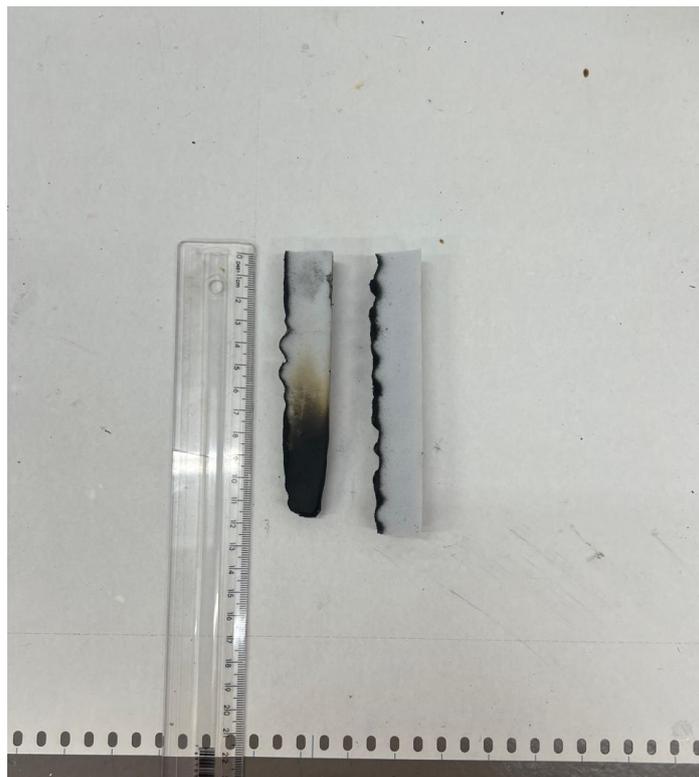
Figura 8 – Ensaio de inflamabilidade vertical com amostra da Espuma B

Fonte: O autor.

Por outro lado, a espuma E foi a única que demonstrou conformidade com os critérios da UL 94, sendo classificada na categoria V-0, que representa o mais alto nível de resistência à chama dentro desse ensaio. O material apresentou um tempo pós-chama de 1,32 s, enquanto a soma dos tempos t_1+t_2 resultou em 2,25 s, e a soma total dos tempos de pós-chama e pós-incandescência foi menor que 3,14 s. Além disso, a espuma E não queimou até o suporte nem gerou gotejamento de partículas incandescentes, eliminando qualquer risco de ignição secundária de outros materiais adjacentes.

A classificação V-0 para a espuma E indica que o material possui um sistema de retardância à chama eficiente, possivelmente devido à presença de aditivos halogenados, compostos fosforados ou estruturas poliméricas que promovem a formação de uma camada carbonizada, reduzindo a propagação da chama e limitando a combustão. Esse comportamento a torna uma opção viável para aplicações que exigem alto desempenho em segurança contra incêndios. A Figura 9 indica uma amostra antes e depois de passar pelo ensaio de inflamabilidade vertical

Figura 9 – Amostra da espuma E antes e após o ensaio de inflamabilidade vertical.



Fonte: O autor.

Portanto, os resultados confirmam que as espumas A, B, C e D apresentam riscos elevados de propagação do fogo e não atendem aos critérios da UL 94, sendo a espuma A a de pior desempenho, enquanto a espuma E demonstrou excelente resistência à chama, atendendo aos requisitos necessários para ser considerada um material com propriedades retardantes de chama segundo a norma.

4.4. Ensaio de Inflamabilidade Horizontal

O ensaio de inflamabilidade horizontal é essencial para avaliar a propagação da chama em materiais poliméricos e determinar sua classificação segundo normas de segurança contra incêndios. Esse teste permite quantificar a velocidade de queima das espumas, identificando sua capacidade de retardar ou sustentar a combustão após a remoção da fonte de ignição. A partir dos resultados obtidos nas Tabelas 2 e 3, é possível distinguir materiais convencionais daqueles com propriedades antichama ou autoextinguíveis,

auxiliando na escolha de espumas mais seguras para aplicações que exigem maior resistência ao fogo.

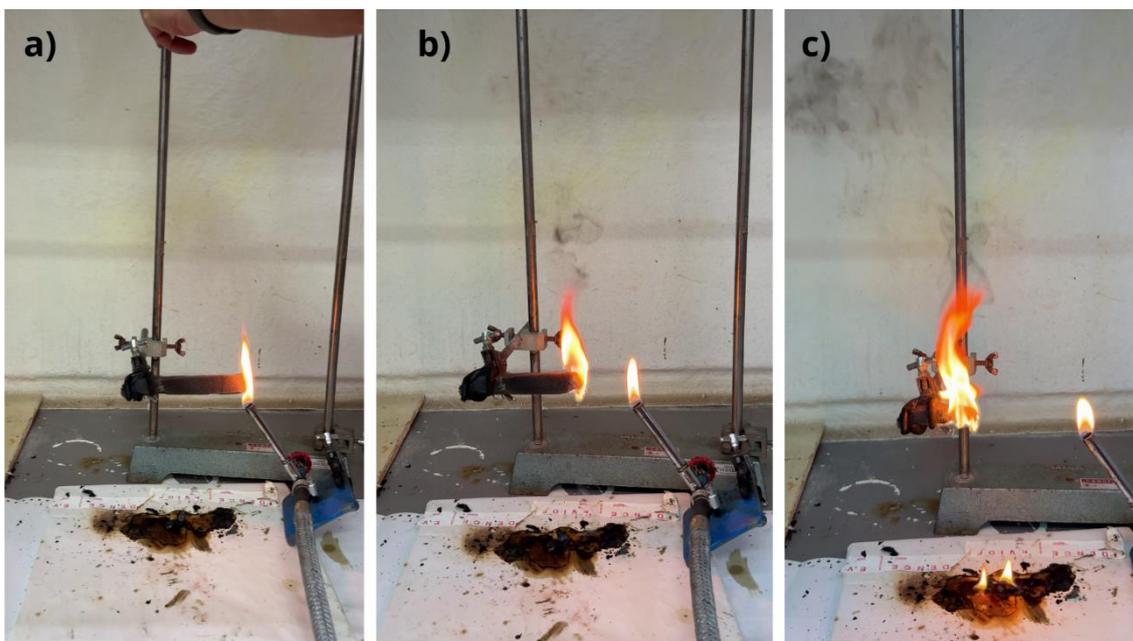
Tabela 2 – Queima Horizontal até a marca de $25 \pm 0,5$ mm:

Amostra	S	t	Vq
Espuma B	25 mm	9,27	161,81
Espuma C	25 mm	19,66	76,30
Espuma D	25 mm	16,32	91,91

Fonte: O autor.

Os resultados do ensaio de inflamabilidade horizontal indicam diferenças significativas na propagação da chama entre as espumas analisadas. Na primeira fase do teste, que avalia a queima na extensão de 25 mm, a espuma B apresentou o menor tempo de queima, registrando 9,27 segundos, e a maior velocidade de propagação, atingindo 161,81 mm/min. Esses valores indicam que a espuma B possui alta inflamabilidade e baixa resistência térmica, permitindo a rápida progressão do fogo sem a presença de barreiras eficazes contra a combustão que pode ser observada na Figura X.

Figura 10 – Teste de inflamabilidade da espuma B



Fonte: O autor.

A espuma C apresentou um tempo de queima de 19,66 segundos e uma velocidade de propagação de 76,30 mm/min. Esse resultado evidencia uma taxa de combustão reduzida em comparação com a espuma B, sugerindo a possível presença de aditivos retardantes de chama ou uma estrutura polimérica que retarde a progressão do fogo.

A espuma D exibiu um comportamento intermediário, com tempo de queima de 16,32 segundos e velocidade de propagação de 91,91 mm/min. Esse desempenho indica que a espuma D apresenta resistência superior à da espuma B, mas inferior à da espuma C, possivelmente devido a variações na composição química ou na distribuição de aditivos retardantes de chama.

A análise estatística dos tempos de queima revela que a espuma D apresentou a maior variabilidade nos resultados, com desvio padrão de 0,96 segundos. A espuma C demonstrou um desvio padrão de 0,489 segundos, enquanto a espuma B apresentou a menor dispersão, com desvio padrão de 0,45 segundos. Essa variação pode estar associada a diferenças estruturais entre as amostras, como variações na densidade do material ou na incorporação de retardantes de chama.

Segundo a norma NBR 9178, espumas com velocidade de queima superior a 101 mm/min são classificadas como convencionais, enquanto aquelas que apresentam velocidade entre 1 e 100 mm/min são consideradas espumas antichama. Com base nesses critérios, a espuma B deve ser classificada como convencional, enquanto as espumas C e D se enquadram na categoria de espumas antichama.

Tabela 3 – Queima Horizontal até a marca de $100 \pm 0,5$ mm:

Amostra	S	t	Vq
Espuma B	100 mm	33,13	181,10
Espuma C	100 mm	-	-
Espuma D	100 mm	-	-

Fonte: O autor.

Na segunda fase do teste, que avalia a propagação da chama até a marca de 100 mm, a espuma B manteve sua tendência de alta inflamabilidade, registrando um tempo de queima de 33,13 segundos e uma velocidade de propagação de 181,10 mm/min. Esse resultado reforça a inadequação da espuma B para aplicações que exigem materiais de baixa propagação de chamas, pois sua taxa de combustão está bem acima do limite máximo estabelecido pela NBR 9178 para espumas antichama.

Para as espumas C e D, o experimento não pôde ser concluído, pois a chama não se autossustentou até atingir a marca de 100 mm. Esse comportamento indica que esses materiais possuem mecanismos eficazes de extinção da chama ao longo da propagação, interrompendo a combustão antes que o fogo avance por toda a extensão do corpo de prova. A incapacidade da chama de se sustentar nesses materiais reforça sua classificação como espumas antichama, conforme definido pela NBR 9178. A espuma A não pôde ser analisada nesse ensaio devido à indisponibilidade de material com as dimensões exigidas pela norma.

Já a espuma E demonstrou resistência total à propagação da chama. Mesmo após 60 segundos de exposição direta ao fogo, a chama não progrediu pelo material. Esse comportamento confirma que a espuma E pode ser classificada como autoextinguível segundo a NBR 9178, pois apresenta uma velocidade de queima igual a zero. Esse desempenho sugere que a espuma E contém uma formulação altamente eficiente em retardância de chama, seja pela incorporação de aditivos halogenados, compostos fosforados ou pela formação de uma camada carbonizada protetora durante a exposição ao calor.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho teve como objetivo avaliar as propriedades antichama das espumas acústicas utilizadas no edifício-sede do Conselho Federal da OAB, confrontando seu desempenho com outras espumas comerciais e técnicas. Os resultados confirmaram a hipótese inicial, demonstrando que a espuma instalada na OAB apresentou desempenho inferior nos ensaios de inflamabilidade e estabilidade térmica, indicando risco potencial em caso de incêndio.

As análises permitiram classificar os materiais segundo critérios normativos, evidenciando diferenças relevantes entre as amostras testadas. A espuma E apresentou o melhor desempenho, enquanto as espumas C e D mostraram comportamento intermediário. A classificação e o comportamento de cada material reforçam a importância da análise técnica antes de sua aplicação em ambientes com exigência de segurança contra incêndio.

O trabalho enfrentou limitações, como a indisponibilidade de algumas amostras nas dimensões exigidas pelas normas e possíveis variações na composição entre espumas similares, o que pode impactar a repetibilidade dos resultados. Ainda assim, os dados obtidos são representativos e oferecem base técnica sólida.

Os objetivos específicos foram atingidos: identificou-se a baixa resistência da espuma da OAB, comparou-se com espumas comerciais, e analisaram-se as normas vigentes, confirmando a necessidade de regulamentação mais rígida. Os resultados obtidos fundamentam a necessidade de criação de um Procedimento Operacional Padrão (POP) para a análise de espumas em perícias, fortalecendo a atuação técnica do Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal e contribuindo para a segurança contra incêndio.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, Alexandre Pinho de. **A desmotivação dos oficiais em concorrer ao serviço de perícia de incêndio**. Monografia (Curso de Aperfeiçoamento de Oficiais) – Centro de Altos Estudos de Comando, Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal, Brasília, 2007.

APPOLINÁRIO, F. **Dicionário de metodologia científica: um guia para a produção do conhecimento científico**. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2011.

ARAGÃO, M. DE A. et al. Risk of forest fires occurrence on a transition island Amazon-Cerrado: Where to act? **Forest Ecology and Management**, v. 536, p. 120858, 2023. Disponível: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378112723000919>. Acesso em 15 jan. 2024.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13860 : **Glossário de termos relacionados com a segurança contra incêndio**. Rio de Janeiro, p. 10. 1996.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15575: **Edificações habitacionais – Desempenho**. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9178: **Espuma flexível de poliuretano – Determinação das características de queima**. Rio de Janeiro, 2015.

BAIGORRI, Pablo Federico. **Implementação de tecnologias de gestão do conhecimento para investigação de incêndios no Distrito Federal**. 2020. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Aperfeiçoamento de Oficiais) - Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal, Brasília, 2020. Disponível em: <https://biblioteca.cbm.df.gov.br/jspui/handle/123456789/105>. Acesso em 12 jan

BRAMBILLA, C. S. Obtenção de espumas rígidas de poliuretana derivadas de óleo de soja funcionalizado e avaliação do potencial antichama. [s. l.], 2019. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/239023>. Acesso em: 18 nov. 2024.

BRASIL. **Lei nº 8.255, de 20 de novembro de 1991**. Dispõe sobre a organização básica do Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal e dá outras providências. Brasília: Presidência da República, 1991. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L8255.htm. Acesso em: 20 jan. 2024.

CAMARGO, M. V. B. DE. **Perícia criminal de incêndio versus perícia de incêndio: conflito de competências?** 2019. Trabalho de Conclusão de Curso – Faculdade de Ciências Jurídicas e Sociais, Centro Universitário de Brasília, Brasília, 2019. Disponível em: <https://repositorio.uniceub.br/jspui/handle/prefix/13792>. Acesso em 20 jan. 2024.

CERQUEIRA, C. C. S. et al. Elementos Materiais para Determinação das Causas e da Dinâmica de um Incêndio. **Brazilian Journal of Forensic Sciences**, v. 11, n. 2, 2022. Disponível em: <https://bjfs.org/bjfs/bjfs/article/view/894/2960>. Acesso em 20 jan. 2024.

CHAVES, Débora Ferreira. **Perícia em incêndio veicular: análise dos elementos técnicos do Manual de Perícia em Incêndios e Explosões do CBMDF**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Formação de Oficiais) - Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal, Brasília, 2019. <https://biblioteca.cbm.df.gov.br/jspui/handle/123456789/73>. Acesso em: 15 jan. 2024.

CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DO DISTRITO FEDERAL. **Manual básico de combate a incêndio: comportamento do fogo**. 2. ed. Brasília, 2012.

CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DO DISTRITO FEDERAL. **Manual de perícia em incêndios e explosões: Conhecimentos Gerais**. 2019.

CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DO DISTRITO FEDERAL. Portaria de 13 de janeiro de 2025 – Planejamento Estratégico do CBMDF 2025-2030. Brasília, 2025. Disponível em: <https://www.cbm.df.gov.br/wp-content/uploads/tainacan-items/31031/36776/Portaria-de-13-de-janeiro-de-2025-Planejamento-Estrategico-do-CBMDF-2025-2030.pdf>. Acesso em: 04 fev. 2025.

CORRÊA, C.; HAHNEMANN, A. Importância dos Corpos de Bombeiros no subsídio às perícias em incêndio em vegetação: uma abordagem sobre Pernambuco. **Concilium**, v. 22, n. 6, p. 539–554, 2 nov. 2022. Disponível em: <https://clium.org/index.php/edicoes/article/view/571>. Acesso em 15 jan. 2024.

COUTINHO, B. A.; CORRÊA, A. R. A Interpretação do Controle de Materiais de Acabamentos e de Revestimento no Processo de Segurança Contra Incêndio e Pânico. **E&S Engineering and Science**, [s. l.], v. 5, n. 2, p. 26–41, 2016. Disponível em: <https://periodicoscientificos.ufmt.br/ojs/index.php/eng/article/view/4347>. Acesso em 20 jan. 2024.

ESTRAVÍS, S. *et al.* Rigid polyurethane foams with infused nanoclays: Relationship between cellular structure and thermal conductivity. **European Polymer Journal**, [s. l.], v. 80, p. 1–15, 2016. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0014305716302968>. Acesso em 20 jan. 2024.

FERREIRA, M. H. F. CICLO OPERACIONAL DE BOMBEIRO: PREJUÍZO INSTITUCIONAL PELA AUSÊNCIA DA PERÍCIA DE INCÊNDIO NO CBMMT. **Homens do Mato - Revista Científica de Pesquisa em Segurança Pública**, v. 18, n. 2, p. 63, 12 dez. 2018. Disponível em: <http://revistacientifica.pm.mt.gov.br/ojs/index.php/semanal/article/view/416>. Acesso em 15 jan. 2024.

FLECK, M. E. K. *et al.* PAINÉIS ISOLANTES TÉRMICOS E ANTICHAMAS: POLIURETANO E VERMICULITA. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, [s. l.], v. 12, p. e20075–e20075, 2023.

FREIRE, J. H.; MATTOS, L. Z. DE. Perícia de Incêndios em edificações: uma análise voltada a segurança do bombeiro / Fire Forensics in buildings: an analysis focused on the safety of the firefighter. **Brazilian Applied Science Review**, v. 6, n. 2, p. 515–533, 2022. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BASR/article/view/45795>. Acesso em 10 jan. 2024.

GEREZ, M. P. Influência dos materiais construtivos na propagação de um incêndio. [s. l.], 2017. Disponível em: <http://repositorio.uniceub.br/jspui/handle/235/12325>. Acesso em: 18 nov. 2024.

GIL, Antônio Carlos. **Como Elaborar Projetos de Pesquisa**. 7. ed. São Paulo: Atlas, 2022.

JERÔNIMO, F. de A. R. Agentes de poluição atmosférica e a ocorrência de mercúrio no gás natural como temas geradores no ensino médio. [s. l.], 2009. Disponível em: <http://pantheon.ufrj.br/handle/11422/6264>. Acesso em: 24 nov. 2024.

KHAN, A. A. et al. Fire modelling framework for investigating tall building fire: A case study of the Plasco Building. **Case Studies in Thermal Engineering**, v. 45, p. 103018, 1 maio 2023. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214157X23003246>. Acesso em: 15 jan. 2024.

LUGON, P. A.; DE P. COELHO JÚNIOR, T. A PERÍCIA DE INCÊNDIO NO PROCESSO DE MELHORIA CONTÍNUA DO SISTEMA DE SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIO. **Revista FLAMMAE**, v. 6, n. 17, p. 129, out. 2020. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.17648/2359-4837/flammae.v6n17.p129-158>. Acesso em: 20 jan. 2024.

MACEDO, D. F. D. Avaliação da exposição à poluição ambiental por hidrocarbonetos policíclicos aromáticos em material particulado atmosférico em diferentes áreas urbanas. [s. l.], 2015. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/SFSA-A3BPWK>. Acesso em: 24 nov. 2024.

MARQUES, D. V. *et al.* PROPRIEDADES DE ISOLAMENTO TÉRMICO, ACÚSTICO E DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DE PLACAS DE PU COM A INCORPORAÇÃO DE RESÍDUO DE PET E ALUMINA. **MIX Sustentável**, [s. l.], v. 2, n. 1, p. 29–36, 2016. Disponível em: <https://ojs.sites.ufsc.br/index.php/mixsustentavel/article/view/1293>. Acesso em 14 jan. 2024.

MARTINS, J. A. S. M. T. **Análise comportamental do fogo em sistemas de fachada com isolamento pelo exterior**. 2009. masterThesis - Faculdade de Ciências e Tecnologia, [s. l.], 2009. Disponível em: <https://run.unl.pt/handle/10362/4030>. Acesso em: 24 nov. 2024.

MASSAROTTE, D. B.; TIMMERMANN, M. A. S. Retroalimentação Da Fase Ativa Do Ciclo Operacional DO CBMSC: Exame dos dados do módulo de

perícia do 12oBBM entre janeiro de 2018 e junho de 2019. **Ignis: Revista Técnico Científica do Corpo de Bombeiros Militar de Santa Catarina**, v. 6, n. 1, p. 1–15, 3 nov. 2021. Disponível em: <https://ignis.emnuvens.com.br/revistaignis/article/view/108>. Acesso em: 15 jan. 2024.

MENDONÇA, H. T. T. Edificações civis em situação de incêndio: estudo de caso da boate kiss e do edifício Joelma, 2014. Disponível em: <http://repositorioinstitucional.uniformq.edu.br:21074/jspui/xmlui/handle/123456789/256>. Acesso em: 18 nov. 2024.

MITIDIERI, Marcelo Luis; IOSHIMOTO, Eduardo. Proposta de classificação de materiais e componentes construtivos com relação ao comportamento frente ao fogo: reação ao fogo. 1998. Disponível em: <https://repositorio.usp.br/item/001021554>. Acesso em 21 jan.2024.

NUNES, W. L.; VIDAL, V. V. Procedimentos para investigação de incêndios em veículos. **Ignis: Revista Técnico Científica do Corpo de Bombeiros Militar de Santa Catarina**, v. 2, n. 1, p. 172–189, 1 maio 2017. Disponível em: <https://ignis.emnuvens.com.br/revistaignis/article/download/41/32>. Acesso em 20 jan. 2024.

OLIVEIRA, D. C.; SILVA, T. H. C. Ciclo Operacional De Segurança Contra Incêndio No Corpo De Bombeiros Militar Do Estado De Goiás. **ReDiS - Revista de Direito Socioambiental (UEG)**, v. 1, n. 2, p. 01–17, 14 jun. 2023. Disponível em: <https://www.revista.ueg.br/index.php/redis/article/view/13909>. Acesso em: 20 jan. 2024.

PASCOAL, F. B. L. et al. Avaliação Dos Elementos Mínimos Necessários Para Estruturação Da Atividade De Investigação De Incêndio Nos Corpos De Bombeiros Militares Do Território Nacional. **Revista FLAMMAE**, p. 47–71, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.56081/2359-4837/flammae.v8n22.a3>. Acesso em 15 jan. 2024.

PAVAN, B. B. Análise da absorção acústica da fibra de coco em comparação com espuma acústica comercial via tubo de impedância. [s. l.], 2017. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/172322>. Acesso em: 18 nov. 2024.

RIBEIRO, L. M. et al. Flamabilidade e retardância de chama do compósito: poliéster insaturado reforçado com fibra de abacaxi (palf). **Holos**, v. 1, p. 115–126, 2013. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/4815/481548602009.pdf>. Acesso em 18 jan. 2025

SALAZAR, V. L. P.; CARASCHI, J. C.; LEÃO, A. L. Avaliação dos produtos de emissão a partir da pirólise de assentos automotivos feitos de fibra de coco e de espuma de poliuretano. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, [s. l.], v. 10, p. 162–166, 2005. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/esa/a/t8FJfLwKWNsgvM5TfmYdLdN/?format=html>. Acesso em 14 de jan. 2024.

SANTOS, T. J. P. **A perícia técnica aplicado a segurança das edificações contra incêndio e pânico**. 2016. Monografia de Curso de Especialização em

Construção Civil. Universidade Federal de Minas Gerais. Disponível em: https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/30996?locale=pt_BR. Acesso em: 19 jan. 2024.

SEITO, A. I. et al. **A Segurança contra incêndio no Brasil. Projeto Editora**, São Paulo, 2008.

SOUZA, B. A. A IMPORTÂNCIA DOS SISTEMAS PREVENTIVOS NAS EDIFICAÇÕES MULTIFAMILIARES. **Ideias e Inovação - Lato Sensu**, v. 5, n. 1, p. 93–93, 2019. Disponível em: <https://periodicos.set.edu.br/ideiaseinovacao/article/view/7092/3283>. Acesso em: 19 jan. 2024.

SOUZA, D. F. DE et al. FATORES RELACIONADOS AOS INCÊNDIOS PERICIAADOS NO ESTADO DA PARAÍBA. **Revista Mangaio Acadêmico**, v. 8, n. 5, p. 89–109, 29 dez. 2023. Disponível em: <https://estacio.periodicoscientificos.com.br/index.php/mangaio/article/view/2649>. Acesso em: 15 jan. 2024.

TRINDADE, R. S. Cerâmicas reticuladas produzidas pelo método de Gelcasting utilizando espumas rígidas de poliuretano produzidas com óleo de mamona. [s. l.], 2013. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/72921>. Acesso em: 24 nov. 2024.

UNDERWRITERS LABORATORIES. *UL 94: Tests for Flammability of Plastic Materials for Parts in Devices and Appliances*. 7th ed. Northbrook, IL, 2023.

ZHANG, X.; GE, X.; MA, X. Experimental study on upward fire spread of polyurethane foam under double fire source conditions with different restricted facade Structures. **Polymer Testing**, [s. l.], v. 134, p. 108436, 2024. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0142941824001132>. Acesso em 15 jan. 2025.

ZHENG, L. et al. Highly efficient flame retardancy and fire spread behavior of rigid polyurethane foams with extremely low content of flame retardant. **Polymer Degradation and Stability**, [s. l.], v. 230, p. 111039, 2024. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0141391024003823>. Acesso em 15 jan. 2025.

ZHU, M. et al. Recent advances in fire-retardant rigid polyurethane foam. **Journal of Materials Science & Technology**, [s. l.], v. 112, p. 315–328, 2022. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1005030221010550>. Acesso em 15 jan. 2025.

APÊNDICE A - ESPECIFICAÇÃO DO PRODUTO

1. **Aluno:** Cadete BM/2 **Igor Hernandes** Santos Ribeiro

2. **Nome:**

a) Proposta de Procedimento Operacional Padrão de análise da inflamabilidade vertical de materiais poliméricos;

b) Proposta de Procedimento Operacional Padrão de análise da inflamabilidade horizontal de materiais poliméricos;

3. **Descrição:**

a) O POP, detalha os procedimentos a serem executados para avaliar a inflamabilidade vertical de espumas, assegurando precisão e conformidade nos ensaios;

b) O POP, descreve os procedimentos a serem realizados para avaliar a inflamabilidade horizontal de espumas, garantindo consistência e conformidade nos testes.

4. **Finalidade:**

a) Padronização nos procedimentos realizados para a análise vertical da inflamabilidade de materiais poliméricos;

b) Padronização nos procedimentos realizados para a análise horizontal da inflamabilidade de materiais poliméricos.

5. **A quem se destina:**

a) Equipe do Laboratório de Química (LAQUI), peritos e técnicos de investigação de incêndio;

b) Equipe do Laboratório de Química (LAQUI), peritos e técnicos de investigação de incêndio

6. **Funcionalidades:**

a) Não se aplica;

b) Não se aplica.

7. **Especificações técnicas:**

Material textual: Documento Digital em formato PDF, impressão em folha A4. A publicação de POPs está prevista no Decreto nº 31.817, de 21 de junho de 2010, com 5 páginas cada POP. Foi produzido no processador de texto Microsoft Word. Pode ser divulgado na versão digital ou impressa. Para

versão digital, está salvo no formato .pdf (*Portable Document Format*). Havendo necessidade de impressão, é desejável que se utilize papel sulfite de tamanho A4, nas medidas 210 mm x 297 mm, sem comprometimento da qualidade.

8. **Instruções de uso:** Sugere-se que estes POPs estejam disponíveis por meio da intranet da Corporação e em versão impressa no LAQUI.

9. **Condições de conservação, manutenção, armazenamento** (quando for o caso): Não se aplica.

**CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DO
DISTRITO FEDERAL**



**DEPARTAMENTO DE SEGURANÇA CONTRA
INCÊNDIO DINVI – DIRETORIA DE
INVESTIGAÇÃO DE INCÊNDIO**



**PROCEDIMENTO OPERACIONAL PADRÃO
(POP)**

<p>ANÁLISE DA INFLAMABILIDADE VERTICAL DE MATERIAIS POLIMÉRICOS</p>	<p>FINALIDADE DO POP</p> <p>Padronizar a equipe do Laboratório de Química (LAQUI), peritos e técnicos de investigação de incêndio nos procedimentos realizados para a análise vertical da inflamabilidade de materiais poliméricos.</p>
<p>OBM responsável: DINVI</p>	
<p>Versão: 1.0/2025</p>	

1. RESULTADOS ESPERADOS

- Classificação padronizada da inflamabilidade dos materiais analisados;
- Replicabilidade dos testes entre diferentes operadores e condições experimentais;
- Geração de dados precisos para avaliação da propagação da chama;
- Contribuição para análises periciais em investigações de incêndio.

2. MATERIAL RECOMENDADO

- Bico de Bunsen com tubo de 100 ± 10 mm de comprimento e diâmetro interno de 9.5 ± 0.3 mm;
- Suprimento de GLP com regulador de fluxo;
- Capela de exaustão;
- Suporte metálico com clamp ajustável;
- Algodão;
- Cronômetro digital com precisão de 0.1 segundo;
- Régua ou paquímetro com escala de 0.1 mm para medição da chama e posicionamento;
- Estufa;
- Dessecador;

- Equipamentos de proteção individual (EPIs): luvas térmicas, óculos de segurança;
- Tesoura ou cortador.

3. PROCEDIMENTOS

3.1 Preparação das Amostras

- Recebimento e Identificação:
As amostras devem ser recebidas no LAQUI acompanhadas do Pedido de Exame Laboratorial via sistema SEI, preenchido pelo perito solicitante com dados completos (identificação, data e assinatura).
- Seleção e Corte das Amostras:
As amostras devem ser cortadas, conforme UL 94, seção 8.3. As dimensões padrão são 125 ± 5 mm de comprimento por 13.0 ± 0.5 mm de largura, com espessura mínima do material em teste.
- Condicionamento:
Preparar dois conjuntos de cinco amostras cada. Condicionar o primeiro conjunto por no mínimo 48 horas, conforme ASTM D 618. O segundo conjunto deve ser condicionado em forno de circulação de ar a 70 ± 1 °C por 48 horas, seguido de resfriamento em dessecador com cloreto de cálcio anidro (umidade $\leq 20\%$) por pelo menos 4 horas. Testar as amostras dentro de 30 minutos após remoção do dessecador.

3.2 Montagem do Aparelho de Ensaio

- Câmara de Teste:
Utilizar uma capela de exaustão com volume interno mínimo de 0.5 m³, permitindo observação e circulação térmica natural durante o ensaio, conforme UL 94. Desligar o exaustor durante o teste, ativando-o apenas após a queima para remoção dos produtos de combustão.
- Bico de Bunsen:
Empregar o Bico de Bunsen com tubo de 100 ± 10 mm de comprimento e diâmetro interno de 9.5 ± 0.3 mm, sem estabilizador, ajustado para fluxo de metano técnico (pureza $\geq 98\%$) a 105 ml/min e contrapressão < 10 mm de água, conforme ASTM D 5207. Calibrar a chama a 20 ± 1 mm de altura, azul sem ponta amarela, mensalmente ou ao substituir suprimentos/equipamentos.
- Suporte e Algodão:
Fixar o espécime verticalmente por clamp na extremidade superior (6 mm), com o eixo longitudinal a 300 ± 10 mm acima de uma camada de algodão absorvente.

3.3 Execução do Ensaio

- Aplicação da Chama:

- Posicionar o Bico de Bunsen a 10 ± 1 mm abaixo da borda inferior central do espécime, com chama ajustada a 20 ± 1 mm.
- Aplicar a chama por 10 ± 0.5 segundos, retirando-a para distância ≥ 150 mm, iniciando a contagem do tempo de pós-chama (t_1).
- Após cessar a chama, reaplicar imediatamente o Bico de Bunsen por mais 10 ± 0.5 segundos, ajustando-o se necessário para evitar gotejamento no tubo. Retirar o Bico de Bunsen e registrar o segundo tempo de pós-chama (t_2) e o tempo de pós-incandescência (t_3).
- Observações:
 - Anotar t_1 , t_2 e t_3 (em segundos) para cada espécime.
 - Verificar se o espécime queima até o clamp ou se partículas flamejantes inflamam o algodão.
 - Se a chama de teste se extinguir devido à liberação de gases do material, reacendê-la imediatamente e completar o tempo de aplicação.

3.4 Classificação dos Resultados

- Critérios de Classificação (UL 94):
 - V-0: t_1 ou $t_2 \leq 10$ s; soma de $t_1 + t_2$ (5 amostras) ≤ 50 s; $t_2 + t_3 \leq 30$ s; sem queima até o clamp ou ignição do algodão.
 - V-1: t_1 ou $t_2 \leq 30$ s; soma de $t_1 + t_2 \leq 250$ s; $t_2 + t_3 \leq 60$ s; sem queima até o clamp ou ignição do algodão.
 - V-2: t_1 ou $t_2 \leq 30$ s; soma de $t_1 + t_2 \leq 250$ s; $t_2 + t_3 \leq 60$ s; sem queima até o clamp, mas com ignição do algodão por gotejamento.

4. POSSIBILIDADE DE ERRO

- Dimensões inadequadas das amostras comprometendo a comparação dos resultados.
- Contaminação da amostra por óleos, poeira ou umidade alterando o comportamento à chama.
- Regulagem incorreta do Bico de Bunsen causando variação na intensidade da chama.
- Erros na medição do tempo de combustão devido à falta de sincronização do operador.
- Não repetição adequada dos ensaios comprometendo a estatística dos resultados.

5. FATORES COMPLICADORES

- Variabilidade na composição química ou espessura dos materiais plásticos, influenciando os tempos de combustão;
- Comportamento imprevisível de materiais finos (ex.: encolhimento ou distorção), dificultando a aplicação uniforme da chama;
- Interferência ambiental (ex.: correntes de ar na câmara), alterando a dinâmica da queima;
- Necessidade de alta proficiência técnica para ajustar o Bico de Bunsen e interpretar resultados visuais;
- Dependência de equipamentos calibrados e em pleno funcionamento, cuja falha pode invalidar o ensaio.

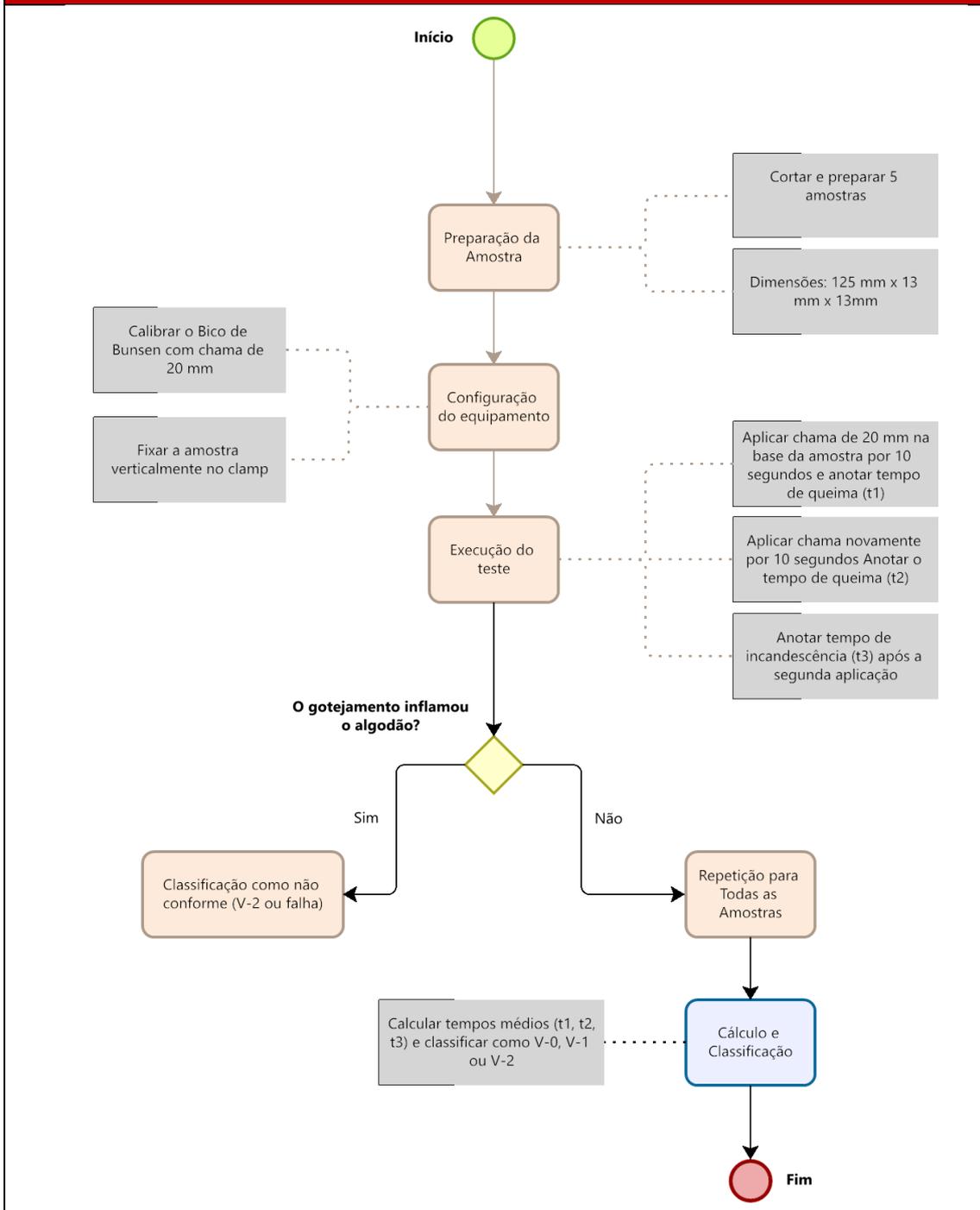
6. GLOSSÁRIO

- Pós-chama (Afterflame): Persistência de chama em um material após a remoção da fonte de ignição, medida em segundos (t_1 e t_2).
- Pós-incandescência (Afterglow): Emissão de luz visível sem chama após a cessação da combustão, medida em segundos (t_3).
- Chama de teste: Chama calibrada de 20 ± 1 mm gerada por Bico de Bunsen com metano técnico, usada como fonte de ignição padronizada.
- Classificação V-0, V-1, V-2: Categorias da UL 94 que indicam o grau de inflamabilidade, baseadas em tempos de pós-chama, pós-incandescência e gotejamento flamejante.
- Condicionamento: Processo de estabilização das propriedades físico-químicas do material sob condições controladas de temperatura e umidade antes do ensaio.
- Gotejamento flamejante: Queda de partículas incandescentes ou em chamas da amostra durante o teste, capaz de ignir o anteparo da base.
- Inflamabilidade: Capacidade de um material sustentar a combustão após exposição à chama.
- Carbonização: Formação de resíduo carbonoso após a degradação térmica.
- Gotejamento incandescente: Liberação de partículas em combustão durante a queima.
- UL 94: Norma que estabelece os padrões para testes de inflamabilidade em materiais plásticos.
- Autoextinção: Capacidade do material de cessar a combustão após remoção da fonte de ignição.

7. BASE LEGAL E REFERENCIAL

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13860 : Glossário de termos relacionados com a segurança contra incêndio. Rio de Janeiro, p. 10. 1996.
- CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DO DISTRITO FEDERAL. **Manual de Perícias em Incêndios e Explosões**: Conhecimentos Gerais. 1. ed. Brasília, 2019;
- SOCIEDADE AMERICANA PARA TESTES E MATERIAIS ASTM INTERNATIONAL. ASTM D618-21: Standard practice for conditioning plastics for testing. West Conshohocken: ASTM International, 2021. Disponível em: <https://www.astm.org/d0618-21.html>. Acesso em: 15 jan. 2025;
- UL-94 - UNDERWRITERS LABORATORIES INC: Test for Flammability of Plastic Materials for Parts in Devices and Appliances. U.S.A: UL, 2001.

8. FLUXOGRAMA



**CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DO
DISTRITO FEDERAL**



**DEPARTAMENTO DE SEGURANÇA CONTRA
INCÊNDIO DIRETORIA DE INVESTIGAÇÃO DE
INCÊNDIO**



**PROCEDIMENTO OPERACIONAL PADRÃO
(POP)**

<p>ANÁLISE DA INFLAMABILIDADE HORIZONTAL DE MATERIAIS POLIMÉRICOS</p>	<p>FINALIDADE DO POP</p> <p>Padronizar a equipe do Laboratório de Química (LAQUI), peritos e técnicos de investigação de incêndio nos procedimentos realizados para a análise horizontal da inflamabilidade de materiais poliméricos.</p>
<p>OBM responsável: DINVI</p>	
<p>Versão: 1.0/2025</p>	

1. RESULTADOS ESPERADOS

- Padronizar e validar a análise horizontal da inflamabilidade de espumas no LAQUI, garantindo classificação conforme UL 94.
- Capacitar a equipe para ensaios uniformes e resultados confiáveis.
- Assegurar integridade e rigor científico dos dados para investigações periciais.
- Promover a formação contínua de peritos e técnicos na análise de inflamabilidade.
- Reduzir riscos operacionais com uso adequado de EPIs e controle das condições de teste.

2. MATERIAL RECOMENDADO

- Bico de Bunsen com tubo de 100 ± 10 mm de comprimento e diâmetro interno de 9.5 ± 0.3 mm;
- Suprimento de GLP (gás liquefeito de petróleo) com regulador de fluxo ajustado para chama estável;
- Capela de exaustão;

- Suporte metálico com clamp ajustável para fixação horizontal das amostras;
- Algodão;
- Cronômetro digital com precisão de 0.1 segundo;
- Régua ou paquímetro com escala de 0.1 mm para medição da chama e posicionamento;
- Estufa;
- Dessecador;
- Equipamentos de proteção individual (EPIs): luvas térmicas, óculos de segurança;
- Câmera fotográfica ou smartphone para registro documental das amostras;
- Tesoura ou cortador.

3. PROCEDIMENTOS

3.1 Preparação Das Amostras

- **Recebimento e Identificação:**
As amostras devem ser recebidas no LAQUI com o Pedido de Exame Laboratorial via sistema SEI, preenchido pelo perito solicitante com identificação, data e assinatura. Registrar e fotografar as amostras (recipiente fechado e aberto) para documentar o estado inicial.
- **Seleção e Corte das Amostras:**
Cortar cinco amostras de espuma com dimensões de 150 ± 5 mm de comprimento, 50 ± 1 mm de largura e espessura máxima de 13 mm. Garantir bordas lisas e superfícies livres de poeira ou contaminantes. Marcar linhas de referência a 25 mm e 100 mm a partir da extremidade a ser inflamada com marcador indelével.
- **Condicionamento:**
Condicionar as cinco amostras por no mínimo 48 horas, conforme ASTM D 618. Alternativamente, se especificado, acondicionar em estufa a 70 ± 1 °C por 48 horas, seguido de resfriamento em dessecador por pelo menos 4 horas. Testar dentro de 30 minutos após remoção do dessecador.

3.2 Montagem do Aparelho de Ensaio

- **Câmara de Teste:**
Utilizar uma capela de exaustão com volume interno mínimo de 0.5 m³, permitindo observação e circulação térmica natural, conforme UL 94. Desligar o exaustor durante o teste, ativando-o após a queima para remoção de gases.
- **Bico de Bunsen:**
Empregar um bico de Bunsen com tubo de 100 ± 10 mm e diâmetro

interno de 9.5 ± 0.3 mm, ajustado para GLP com regulador de pressão e vazão, produzindo uma chama de 38 ± 2 mm de altura, azul com mínima ponta amarela. Calibrar a chama, ajustando o fluxo de GLP para estabilidade e altura especificada.

- Suporte:
Posicionar o suporte horizontal dentro da câmara. Fixar a amostra horizontalmente, com a extremidade marcada a 25 mm alinhada à borda do suporte e a face inferior voltada para a chama.

3.3 Execução do Ensaio

- Aplicação da Chama:
 - Ajustar o bico de Bunsen a 38 ± 2 mm de altura e posicioná-lo sob a extremidade livre da amostra, com o topo da chama tocando a face inferior a 13 ± 1 mm da borda.
 - Aplicar a chama.
 - Registrar o tempo (em segundos) desde a remoção da chama até a extinção total da combustão ou até a frente de chama atingir a marca de 100 mm.
- Observações:
 - Medir a distância queimada (em mm) entre a marca de 25 mm e o ponto onde a chama se extingue, se não atingir 100 mm.
 - Calcular a taxa de queima (V_q , em mm/min) usando a fórmula: $V_q = 60 \times L / t$, onde L é a distância queimada (em mm) e t é o tempo de queima (em segundos).
 - Anotar se a chama se extingue antes da marca de 25 mm ou entre 25 mm e 100 mm.

3.4 Classificação dos Resultados

- Critérios de Classificação:
 - Espuma Convencional: maior ou igual a 100mm/min;
 - Espuma anti-chamas: entre 1 a 100mm/min;
 - Espuma auto-extinguível: menor que 1mm/min.

4. POSSIBILIDADE DE ERRO

- Condicionamento inadequado (ex.: umidade fora de $50 \pm 5\%$), alterando a inflamabilidade da espuma;
- Calibração incorreta da chama (ex.: altura $\neq 38 \pm 2$ mm), afetando a energia térmica aplicada;
- Posicionamento impreciso do bico de Bunsen (distância $\neq 13 \pm 1$ mm da borda), comprometendo a uniformidade da ignição;
- Erro na medição do tempo ou distância queimada devido a cronômetros ou réguas descalibrados;
- Contaminação da espuma por poeira ou umidade, influenciando a taxa de queima;

- Interpretação equivocada da extinção da chama ou do gotejamento, levando a classificação incorreta.

5. FATORES COMPLICADORES

- Variabilidade na densidade ou porosidade da espuma, afetando a propagação da chama;
- Comportamento irregular de espumas finas (ex.: encolhimento ou fusão), dificultando medições precisas;
- Interferência de correntes de ar na câmara, alterando a dinâmica da combustão;
- Ajuste fino do fluxo de GLP para manter a chama estável, devido à sua composição variável;
- Dificuldade em observar a frente de chama em espumas escuras ou opacas;
- Dependência de equipamentos calibrados, cuja falha pode invalidar o ensaio.

6. GLOSSÁRIO

- Pós-chama (Afterflame): Persistência de chama em um material após a remoção da fonte de ignição, medida em segundos (t_1 e t_2).
- Pós-incandescência (Afterglow): Emissão de luz visível sem chama após a cessação da combustão, medida em segundos (t_3).
- Chama de teste: Chama calibrada de 20 ± 1 mm gerada pelo Bico de Bunsen com metano técnico, usada como fonte de ignição padronizada.
- Condicionamento: Processo de estabilização das propriedades físico-químicas do material sob condições controladas de temperatura e umidade antes do ensaio.
- Gotejamento flamejante: Queda de partículas incandescentes ou em chamas da amostra durante o teste, capaz de ignir o algodão indicador do calor.
- Inflamabilidade: Capacidade de um material sustentar a combustão após exposição à chama.
- Carbonização: Formação de resíduo carbonoso após a degradação térmica.
- Gotejamento incandescente: Liberação de partículas em combustão durante a queima.
- UL 94: Norma que estabelece os padrões para testes de inflamabilidade em materiais plásticos.
- Autoextinção: Capacidade do material de cessar a combustão após remoção da fonte de ignição.

7. BASE LEGAL E REFERENCIAL

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13860 : Glossário de termos relacionados com a segurança contra incêndio. Rio de Janeiro, p. 10. 1996.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9178: Espuma flexível de poliuretano – Determinação das características de queima. Rio de Janeiro, 2015.

- CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DO DISTRITO FEDERAL. **Manual de Perícias em Incêndios e Explosões**: Conhecimentos Gerais. 1. ed. Brasília, 2019;
- SOCIEDADE AMERICANA PARA TESTES E MATERIAIS ASTM INTERNATIONAL. ASTM D618-21: Standard practice for conditioning plastics for testing. West Conshohocken: ASTM International, 2021. Disponível em: <https://www.astm.org/d0618-21.html>. Acesso em: 15 jan. 2025;
- UL-94 - UNDERWRITERS LABORATORIES INC: Test for Flammability of Plastic Materials for Parts in Devices and Appliances. U.S.A: UL, 2001.

8. FLUXOGRAMA