
Materiais de construção — Determinação do índice de propagação superficial de chama pelo método do painel radiante

Building materials — Determination of the flame spread surface index using a radiant heat energy source



ICS 13.220.50; 91.100

ISBN 978-85-07-08120-3



ASSOCIAÇÃO
BRASILEIRA
DE NORMAS
TÉCNICAS

Número de referência
ABNT NBR 9442:2019
20 páginas



© ABNT 2019

Todos os direitos reservados. À menos que especificado de outro modo, nenhuma parte desta publicação pode ser reproduzida ou utilizada por qualquer meio, eletrônico ou mecânico, incluindo fotocópia e microfilme, sem permissão por escrito da ABNT.

ABNT

Av. Treze de Maio, 13 - 28º andar

20031-901 - Rio de Janeiro - RJ

Tel.: + 55 21 3974-2300

Fax: + 55 21 3974-2346

abnt@abnt.org.br

www.abnt.org.br

Sumário

Página

Prefácio	iv
Introdução	v
1 Escopo	1
2 Referência normativa.....	1
3 Termos e definições.....	1
4 Equipamento de ensaio	2
4.1.1 Painel radiante com fornecimento de ar e gás.....	2
4.1.2 Suporte do corpo de prova	3
4.1.3 Estrutura para apoio e deslizamento do suporte com o corpo de prova	3
4.1.4 Queimador-piloto	3
4.1.5 Chaminé de chapa de aço inoxidável.....	3
4.1.6 Termopares	3
4.1.7 Sistema de aquisição de dados	3
5 Corpos de prova.....	4
6 Número de corpos de prova ensaiados	6
7 Condicionamento	6
8 Procedimento de ajuste e calibração do equipamento	6
8.1 Pirômetro óptico de radiação.....	6
8.2 Chaminé com os termopares	6
8.2.1 Registro inicial da temperatura da chaminé.....	7
8.2.2 Registro da temperatura da placa base para a calibração da taxa de liberação de calor na chaminé	7
8.2.3 Liberação de calor e temperatura para a calibração da chaminé (obtenção do β).....	7
9 Procedimento padrão de ensaio.....	8
10 Cálculos	9
11 Relatório de ensaio	12
Anexo A (informativo) Exemplo de cálculo do fator de propagação de chama (P_c)	17
A.1 Gráfico.....	17
A.2 Cálculo	17
Anexo B (informativo) Exemplos de curvas ajustadas.....	18
Anexo C (informativo) Abastecimento de gás e ar	19
Bibliografia.....	20
Figuras	
Figura 1 – Esquema geral do equipamento	13
Figura 2 – Suporte do corpo de prova.....	14
Figura 3 – Queimador de chama-piloto	15
Figura 4 – Chaminé e termopares do equipamento	15
Figura 5 – Posição do queimador e da chama com relação ao corpo de prova	16
Figura A.1 – Representação gráfica dos pontos omitidos	17
Figura B.1 – Curvas ajustadas para o fator de propagação de chama (P_c).....	18
Tabela	
Tabela 1 – Fator K conforme número de pontos omitidos	11

Prefácio

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) é o Foro Nacional de Normalização. As Normas Brasileiras, cujo conteúdo é de responsabilidade dos Comitês Brasileiros (ABNT/CB), dos Organismos de Normalização Setorial (ABNT/ONS) e das Comissões de Estudo Especiais (ABNT/CEE), são elaboradas por Comissões de Estudo (CE), formadas pelas partes interessadas no tema objeto da normalização.

Os Documentos Técnicos ABNT são elaborados conforme as regras da ABNT Diretiva 2.

A ABNT chama a atenção para que, apesar de ter sido solicitada manifestação sobre eventuais direitos de patentes durante a Consulta Nacional, estes podem ocorrer e devem ser comunicados à ABNT a qualquer momento (Lei nº 9.279, de 14 de maio de 1996).

Os Documentos Técnicos ABNT, assim como as Normas Internacionais (ISO e IEC), são voluntários e não incluem requisitos contratuais, legais ou estatutários. Os Documentos Técnicos ABNT não substituem Leis, Decretos ou Regulamentos, aos quais os usuários devem atender, tendo precedência sobre qualquer Documento Técnico ABNT.

Ressalta-se que os Documentos Técnicos ABNT podem ser objeto de citação em Regulamentos Técnicos. Nestes casos, os órgãos responsáveis pelos Regulamentos Técnicos podem determinar as datas para exigência dos requisitos de quaisquer Documentos Técnicos ABNT.

A ABNT NBR 9442 foi elaborada no Comitê Brasileiro de Segurança contra Incêndio (ABNT/CB-024), pela Comissão de Estudo de Reação ao Fogo dos Materiais (CE-024:101.007). O Projeto circulou em Consulta Nacional conforme Edital nº 01, de 11.01.2019 a 11.03.2019.

A ABNT NBR 9442:2019 cancela e substitui a ABNT NBR 9442:1986 Versão corrigida:1988, a qual foi tecnicamente revisada.

O Escopo em inglês da ABNT NBR 9442 é o seguinte:

Scope

This Standard specifies a method for assessing the burn behavior and spread of flame of vertically mounted materials exposed to a heat flux radiant gradient in a test chamber, when ignited with pilot flames.

This method is applicable to all types of wall coverings and ceilings e.g. lining, wood, rubber and plastics coverings as well as coatings. Results obtained by this method reflect the performance of the products, including any substrate if used. Modification of the backing, bonding to a substrate, underlay or other changes of the materials may affect test results.

This Standard is applicable to the measurement and description of the properties of building materials in response to heat and flame under controlled laboratory conditions. It should not be used alone to describe or appraise the fire risk or fire hazard of products under actual fire conditions.

Introdução

As medições neste método de ensaio fornecem uma base para se estimar um aspecto do comportamento em relação à exposição ao fogo de materiais de acabamento e revestimento de tetos, forros e parede. Considera o crescimento do fogo se aproximando da fase de inflamação generalizada e simula um fluxo de calor em superfícies adjacentes ao foco do incêndio ou o fogo se intensificando no recinto criando um fluxo de calor sobre os revestimentos, associado a uma chama intensa atingindo a extremidade do produto.

O corpo de prova é inserido em um suporte metálico e colocado em frente a um painel radiante poroso, com 300 mm de largura e 460 mm de comprimento, alimentado por gás e ar. O conjunto (suporte e corpo de prova) é posicionado em frente ao painel radiante com inclinação de 60°, de modo a expor o corpo de prova a um fluxo radiante padronizado. Uma chama-piloto é aplicada à extremidade superior do corpo de prova. O princípio do ensaio é ilustrado na Figura 1. Depois da ignição, qualquer frente de chama que se desenvolver é notada e é feito um registro da sua progressão, verticalmente, ao longo do comprimento do corpo de prova, em termos do tempo que ela demora a se propagar por distâncias definidas.

É obtido no ensaio o fator propagação de chama desenvolvida na superfície do material (P_c), medido pelo tempo para atingir as distâncias padronizadas no suporte metálico com o corpo de prova. O fator de evolução de calor desenvolvido pelo material (Q) é medido através de sensores de temperatura (termopares) localizados em uma chaminé sobre o painel e no suporte com o corpo de prova.

O índice é determinado pela seguinte equação (sem unidade):

$$I_p = P_c \times Q$$

onde

I_p é o índice de propagação superficial de chama;

P_c é o fator de propagação da chama;

Q é o fator de evolução do calor.

Há a possibilidade de explosão causada pelas alimentações de gás e ar na câmara de ensaio. Medidas de segurança apropriadas e consistentes com as práticas da engenharia podem ser instaladas no sistema do painel de suprimento de gás, incluindo pelo menos o seguinte:

- um sistema de interrupção da alimentação de gás que seja imediatamente ativado quando a alimentação de gás ou de ar falhar;
- um sensor de temperatura ou uma unidade de detecção de chama direcionada para a superfície do painel que pare a vazão de combustível quando a chama do painel apagar.

É importante atentar-se para a possibilidade de que gases tóxicos ou perigosos podem ser produzidos durante a exposição dos corpos de prova. Tendo em vista o perigo inerente aos produtos em combustão, o sistema de exaustão pode ser projetado e operado de modo que o ambiente do laboratório esteja protegido de fumaça e gás. O operador pode ser instruído a minimizar sua exposição aos produtos da combustão seguindo as práticas de segurança, por exemplo, assegurando-se de que o sistema de exaustão esteja funcionando perfeitamente, usando vestimentas de segurança adequadas, incluindo luvas, entre outros.

Materiais de construção — Determinação do índice de propagação superficial de chama pelo método do painel radiante

1 Escopo

Esta Norma especifica um método para determinação do índice de propagação superficial de chama em materiais de acabamento e revestimentos de construção, quando aplicados no teto e na parede, montados verticalmente e expostos a um gradiente de fluxo radiante de calor em uma câmara de ensaio, quando ignizados por chama-piloto.

Este método é aplicável a todos os tipos de revestimento de parede e tetos, como forros, madeira, borracha e coberturas plásticas, assim como aos revestimentos. Os resultados encontrados com este método refletem o desempenho do produto, incluindo qualquer substrato, se utilizado. Modificações nos apoios, ligações com o substrato, camadas inferiores ou outras modificações no material podem afetar os resultados do ensaio.

Esta Norma é aplicável à medição e descrição das propriedades dos materiais da construção em resposta ao calor e à chama sob condições laboratoriais controladas. Este Documento não pode ser utilizado sozinho para descrever ou classificar o risco ou perigo de fogo dos produtos sob condições de fogo reais.

Para materiais de revestimento de piso, ver ABNT NBR 8660.

2 Referência normativa

O documento a seguir é citado no texto de tal forma que seu conteúdo, total ou parcial, constitui requisito para este Documento. Para referências datadas, aplicam-se somente as edições citadas. Para referências não datadas, aplicam-se as edições mais recentes do referido documento (incluindo emendas).

ABNT NBR 8660, *Revestimento de piso – Determinação da densidade crítica de fluxo de energia térmica – Método de ensaio*

3 Termos e definições

Para os efeitos deste documento, aplicam-se os seguintes termos e definições.

3.1

condicionamento

exposição do corpo de prova a uma atmosfera controlada

3.2

corpo de prova

produto submetido ao ensaio preparado nas dimensões específicas, aplicado ou não a um substrato

3.3

índice de propagação de chama (I_p)

produto do fator de evolução do calor pelo fator de propagação de chama

3.4

fator de propagação de chama (P_c)

velocidade em que a chama percorre a superfície do material nas condições de ensaio

3.5

fator de evolução do calor (Q)

relação entre a variação da temperatura no ensaio, devida à queima do material, multiplicado por uma constante arbitrária e dividido por uma constante de calibração do equipamento

3.6

produto

Material, elemento ou componente empregados na composição dos elementos construtivos de edificações

3.7

revestimento de parede, teto e forro

camada superior de um produto, incluindo qualquer acabamento de superfície, com ou sem um apoio anexado e com qualquer camada inferior, camada intermediária e/ou adesivo incluídos

3.8

substrato

base utilizada imediatamente abaixo do produto que será submetido ao ensaio

3.9

substrato-padrão

base representativa do substrato utilizado em aplicações reais

3.10

flashing

frente de chama na superfície do corpo de prova, com duração de 3 s ou menor

4 Equipamento de ensaio

4.1 O equipamento de ensaio deve ser como mostrado na Figura 1, incluindo os elementos descritos em 4.1.1 a 4.1.7:

4.1.1 Painel radiante com fornecimento de ar e gás

Painel fabricado em material refratário poroso, montado verticalmente em uma estrutura metálica, com superfície radiante de 305 mm de largura e 460 mm de comprimento, capaz de operar à temperatura superior a 815 °C. O painel deve ser equipado com:

- misturador tipo Venturi, para a mistura de gás e ar à pressão atmosférica;
- um ventilador capaz de fornecer ar à vazão de 9,5 L/s e pressão de aproximadamente 700 Pa;
- filtro de ar para evitar que o pó obstrua os poros do painel;

- d) reguladores de pressão;
- e) válvulas de controle e desligamento do fornecimento de gás.

4.1.2 Suporte do corpo de prova

Deve ser construído em aço resistente ao calor, em conformidade com detalhes e dimensões mostrados na Figura 2. As marcas de observação da propagação de chama devem estar presentes na lateral do suporte, a cada 76 mm (total de cinco marcas).

4.1.3 Estrutura para apoio e deslizamento do suporte com o corpo de prova

A estrutura deve ter duas hastes transversais de aço inoxidável, com $12,7 \pm 3,3$ mm de diâmetro, e deve possuir sistema de ajustes para centralizar o suporte do corpo de prova diretamente na frente do painel radiante. O suporte e os elementos de apoio devem ser construídos em metal. Uma vez que o ângulo da amostra e a sua posição em relação ao painel são críticos, os valores das dimensões da estrutura especificados na Figura 1 devem variar no máximo em 3,2 mm.

4.1.4 Queimador-piloto

O queimador-piloto deve ser fabricado em aço inoxidável e possuir comprimento de 203 mm a 229 mm, diâmetro interno de 3,2 mm e diâmetro externo de 4,8 mm (ver Figura 3). Como opção, para prolongar a vida útil do queimador-piloto, a parte exposta à energia radiante pode ser protegida com um tubo de porcelana com diâmetros nominal interno e externo de, respectivamente, 5,2 mm e 7,1 mm. O queimador-piloto deve propiciar uma chama da mistura de gás acetileno e ar, com comprimento de 51 mm a 76 mm, e ser capaz de mudar de posição quando não estiver em uso. O queimador-piloto deve ser montado horizontalmente no equipamento com um ligeiro ângulo, para assegurar a interseção de sua chama com o plano horizontal do corpo de prova. A posição da ponta do queimador-piloto deve ser tal que a chama entre em contato com o corpo de prova 12,7 mm abaixo da borda superior do suporte, na posição central deste (ver Figura 5).

4.1.5 Chaminé de chapa de aço inoxidável

Deve ter espessura nominal de 1,0 mm, com forma e dimensões conforme a Figura 1. A posição da chaminé em relação ao corpo de prova e ao painel radiante também deve obedecer aos requisitos da Figura 1.

4.1.6 Termopares

Oito termopares de igual resistência e conectados em paralelo devem ser montados na chaminé e suportados com isoladores de porcelana, como indicado nas Figuras 1 e 3. Os termopares devem ser de Chromel-Alumel (Tipo K), protegidos com isolamento resistente a 1200 °C e com fios com diâmetro de 0,36 mm a 0,51 mm (30 AWG-24 AWG). A elevação média das temperaturas dos termopares (fator de evolução de calor) deve ser determinada periodicamente com o queimador-piloto de calibração, usando o procedimento da seção 8.

4.1.7 Sistema de aquisição de dados

Deve ter os seguintes equipamentos:

- a) registrador de temperatura automático com faixa de operação de 38 °C a 538 °C, para registrar a variação dos valores dos termopares da chaminé, conforme descrito em 4.1.6.

- b) sistema de coleta de dados com capacidade de registrar a saída dos sensores de medição, com precisão de 0,1%.

O sistema de aquisição deve ser capaz de gravar e/ou imprimir os dados por, pelo menos, 5 s em um período mínimo de 1 h. Nos casos em que os ensaios preliminares indicarem a propagação de chama rápida deve ser utilizado um sistema capaz de coletar os dados suficientemente rápidos para garantir resultados adequados (ver 10.5.5).

4.2 Coifa da chaminé, com ventilador de exaustão colocado sobre a chaminé, capaz de produzir um fluxo de exaustão de ar à velocidade de 0,4 m/s a 0,5 m/s. As medições devem ser feitas com um anemômetro de fio quente ou similar, pelo menos 30 s após a inserção da sonda no centro da chaminé, a uma distância de, aproximadamente, 152 mm acima da parte superior da chaminé. O anemômetro de fio quente, sonda bidirecional ou dispositivo similar deve ter precisão de 0,1 m/s.

NOTA A velocidade pela chaminé não é crítica para medições de propagação de chama, desde que seja realizada uma calibração da temperatura dos termopares (ver 4.1.6 e 8.2) para as condições de ensaio estabelecidas.

4.3 Para facilitar a colocação do sensor do anemômetro (sonda), um orifício de diâmetro adequado pode ser feito na coifa. A medição deve ser feita após o fluxo de ar ser estabilizado e antes da operação do equipamento.

4.4 Pirômetro óptico de radiação para padronizar a saída térmica do painel, adequado para visualizar uma área circular de 254 mm de diâmetro do painel radiante, a uma distância de, aproximadamente, 1,2 m. O pirômetro deve ser calibrado sobre a faixa de temperatura de um "corpo negro", de acordo com o procedimento descrito em 8.1. O pirômetro deve possuir sistema de monitoramento e coleta de dados, que pode ser o mesmo equipamento de obtenção das temperaturas dos termopares (descrito em 4.1.7).

4.5 Deve ser utilizado um dispositivo de marcação de tempo capaz de registrar o tempo decorrido, aproximando para o segundo mais próximo, com precisão de 1 s em 1 h.

5 Corpos de prova

5.1 Os corpos de prova devem ser preparados de modo a reproduzir o mais fielmente possível as condições de uso do material. Devem ser preparados corpos de prova idênticos ao item representativo do material a ser ensaiado, com dimensões de 152 mm de largura, 458 mm de comprimento e 25,4 mm de espessura máxima. Os corpos de prova devem ser preparados como descrito em 5.2 a 5.15, quando as condições de uso não forem especificadas.

5.2 Os corpos de prova devem ser montados em um substrato que simule a aplicação real do material e devem simular também as práticas reais de instalação. Caso utilizem adesivos em sua instalação, estes devem ser utilizados na preparação dos corpos de prova.

5.3 Se a espessura dos corpos de prova for maior que 25 mm, esta deve ser reduzida até alcançar a espessura de 25 mm, desde que seja mantida a superfície de ensaio intacta.

5.4 Para ensaios comparativos, ou onde a aplicação pretendida de um material de acabamento não seja especificada, o substrato de aplicação deve ser preparado para o ensaio de acordo com 5.5-5.6.

5.5 Materiais laminados opacos com espessura até 1,6 mm ou películas de tintas a serem aplicadas sobre substrato combustível devem ser aplicados, seguindo as instruções específicas do fabricante,

sobre chapa dura de fibras de madeira com 6,4 mm de espessura. O substrato deve ter um índice médio de propagação de chamas de 130 a 160, com base em quatro ensaios realizados de acordo com este método.

5.6 Película de tinta e outros materiais a serem aplicados sobre substrato incombustível devem ser aplicados, seguindo as instruções específicas do fabricante, sobre superfície lisa de placa de fibrocimento, com aproximadamente 6 mm de espessura. Na falta de instruções do fabricante, a espessura mínima do material aplicado deve ser de 0,4 mm. Sempre que for utilizada placa de fibrocimento como substrato, esta deve ter (6 ± 1) mm de espessura e densidade aparente de $(1\ 800 \pm 200)$ kg/m³ e não ser revestida.

5.7 Folha de alumínio com 0,05 mm de espessura deve ser utilizada, com o lado brilhante voltado para o corpo de prova e apoiado na placa-base ou no suporte. A folha de alumínio é usada para evitar danos à placa-base e ao suporte, devido ao derretimento dos materiais.

5.8 Materiais utilizados presos ou suspensos por uma ou mais bordas (não aplicados diretamente sobre substratos, incluindo tecidos) devem ser montados sobre base constituída por chapa de fibrossilicato de 13 mm de espessura, revestida em uma face por folha de alumínio, sobre a qual é colocada moldura de fibrossilicato de seção transversal de 13 mm x 13 mm. O material deve ser colocado sobre a moldura. No caso de tecidos ou outros materiais flexíveis, o material deve ser cortado nas dimensões de 255 mm por 560 mm, dobrado em volta da moldura e preso na face posterior da chapa de fibrossilicato, com tensão suficiente apenas para evitar folgas. Sempre que utilizada, a placa-base deve ser de fibrossilicato, com espessura de 13 mm e densidade aparente de (960 ± 80) kg/m³.

5.9 Para elastômeros e plásticos celulares, flexíveis ou não, os corpos de prova devem ser protegidos lateralmente e na parte traseira com folha de alumínio com 0,05 mm de espessura, apoiados em uma placa de fibrocimento com 3 mm de espessura. Quando necessário, uma tela de arame com malha hexagonal de 25,4 mm deve ser usada na face exposta ao ensaio do corpo de prova, presa no suporte.

5.10 Materiais de acabamento, incluindo laminados, telhas, tecidos e produtos aplicados a um substrato com adesivo, devem ser preparados e ensaiados levando-se em consideração o possível aumento na propagação de chamas ou riscos associados, devido a trincas, descamação, separação de lâminas ou outra maneira de separação do material. O aumento na propagação de chamas pode ser causado por chamejamento na face reversa do corpo de prova, por ignição do adesivo ou do material da base. A determinação da existência destes fenômenos deve ser feita conforme descrito em 5.10.1 e 5.10.2

5.10.1 Um ou mais corpos de prova do material devem ser ensaiados conforme recebidos da maneira descrita em 5.10, para a determinação da propagação da chama de materiais comuns.

5.10.2 Materiais que apresentem separação de lâminas durante o ensaio ou outra maneira de separação, ou que se desprendam do suporte, devem ser ensaiados novamente, utilizando-se um ou mais corpos de prova nos quais os materiais sejam retidos no suporte, com o auxílio da tela de arame, conforme descrito em 5.9.

5.11 Para materiais não homogêneos que apresentem um ou dois componentes substanciais externos incombustíveis e que possam ser ranhurados, os corpos de prova devem ser preparados da seguinte forma: uma ranhura longitudinal de 25 mm da borda lateral mais próxima da chama-piloto e cinco ranhuras transversais separadas em 102 mm a 25 mm das bordas superior e inferior devem ser feitas, de maneira que estas sejam de máximo 1,6 mm de largura. Tal procedimento acarreta quatro grandes seções de 102 mm por 127 mm. Os corpos de prova devem ser mantidos apoiados na parte posterior pela placa-base ou pelo substrato ao qual o material foi fixado, bem como pelo suporte

metálico. Para materiais não aplicados ao substrato as ranhuras devem ser feitas de modo a atingir $\frac{3}{4}$ de sua espessura. Para materiais aplicados e fixados em substratos as ranhuras devem ser feitas na totalidade da espessura do material, de modo a atingir o substrato e, conseqüentemente, o adesivo de fixação.

5.12 O ensaio do material deve ser conduzido sob a condição apropriada, selecionada entre as descritas em 5.2 a 5.11, resultando no índice de propagação de chama mais elevado. No entanto, se nos corpos de prova ranhurados, um aumento do índice de propagação de chama puder ser atribuído à propagação acelerada da chama dentro das ranhuras, o ensaio deve ser conduzido a maneira convencional, sem as ranhuras.

5.13 Se em qualquer ensaio for verificado amolecimento, trinca ou queda do corpo de prova do suporte no momento em que este é colocado na frente do painel radiante e em contato com o queimador, um novo conjunto de corpos de prova deve ser utilizado, com o auxílio da tela de arame descrita em 5.8.

5.14 Todos os corpos de prova, exceto aqueles com mais 19 mm de espessura, devem ser apoiados sobre a placa-base de fibrossilicato com espessura de 13 mm e densidade aparente de $(960 \pm 80) \text{ kg/m}^3$.

5.15 O desempenho do produto em termos da reação ao fogo deve ser assegurado pelo fabricante, levando em conta os procedimentos de limpeza e manutenção por ele indicados.

6 Número de corpos de prova ensaiados

No mínimo quatro corpos de prova de cada material devem ser ensaiados. Se um ou mais corpos de prova forem considerados inválidos, um novo deve ser feito até quatro resultados válidos terem sido alcançados (ver 9.11).

7 Condicionamento

Os corpos de prova devem ser mantidos em estufa com ventilação forçada a $(60 \pm 3) ^\circ\text{C}$ por 24 h e em seguida condicionados até o equilíbrio em câmara climatizada à temperatura de $(23 \pm 3) ^\circ\text{C}$ e umidade relativa de $(50 \pm 5) \%$.

8 Procedimento de ajuste e calibração do equipamento

8.1 Pirômetro óptico de radiação

Calibrar o pirômetro óptico de radiação por meio de um corpo negro convencional, posicionado dentro de um forno mantido a uma temperatura uniforme de $(670 \pm 5) ^\circ\text{C}$. Um invólucro de corpo negro típico consiste em um cilindro fechado de metal *Chromel* com um pequeno orifício de visão em uma das extremidades. O pirômetro de radiação deve ser localizado na extremidade oposta de onde um termopar indica a temperatura do corpo negro. Executar a calibração colocando o termopar dentro de um furo e em contato térmico com o corpo negro.

8.2 Chaminé com os termopares

Com o painel à temperatura de operação e o ventilador de exaustão produzindo uma velocidade constante na chaminé (adequado para a realização dos ensaios), proceder conforme descrito em 8.2.1 a 8.2.3:

8.2.1 Registro inicial da temperatura da chaminé

Ajustar o equipamento de modo a manter a temperatura dos termopares da chaminé no intervalo de 180 °C a 230 °C, quando nenhum corpo de prova estiver na posição de ensaio. Colocar uma placa de fibrocimento padrão (espessura de aproximadamente 6,3 mm) no suporte de ensaio, acender o queimador-piloto, ajustando o comprimento de chama em 51 mm a 76 mm na posição de operação, e empurrar o suporte para frente do painel, em contato com a chama do queimador. Registrar a temperatura dos termopares por um período de pelo menos 15 min e em intervalos não superiores a 5 s. Usar a curva de tempo \times temperatura obtida como medição da elevação de temperatura dos termopares da chaminé nos ensaios dos materiais.

8.2.2 Registro da temperatura da placa base para a calibração da taxa de liberação de calor na chaminé

Colocar uma placa de fibrosilicato com 13 mm de espessura no suporte de ensaio, atrás da placa de fibrocimento. Permitir que a temperatura da chaminé seja estabilizada (a chama-piloto deve estar em funcionamento) e então registrar este valor.

8.2.3 Liberação de calor e temperatura para a calibração da chaminé (obtenção do β)

8.2.3.1 Preparar um queimador de difusão múltipla (sem ar pré-misturado), fabricado em aço ou ferro, com comprimento entre 300 mm e 380 mm e diâmetro de 6 mm, com uma das extremidades fechada e com dez furos de 1,8 mm de diâmetro, espaçados em 16 mm ao longo do eixo do tubo. Colocar a linha central do queimador na posição horizontal e a 25 mm da superfície do corpo de prova, logo abaixo do seu extremo superior. A parede do tubo deve estar em contato com os dois lados do suporte do corpo de prova, de modo que os furos estejam centrados em relação ao corpo de prova. Os eixos dos furos devem estar na vertical, de modo que as chamas do queimador atinjam o topo ou a proximidade do topo do corpo de prova de fibrocimento. O tipo e a orientação da chama amarela produzida são comparáveis à de um corpo de prova em chamas durante o ensaio.

8.2.3.2 Conectar um cilindro de gás metano industrializado ou gás natural, ou a combinação de ambos, no queimador de calibração, ignizar e ajustar conforme descrito em 8.2.3.3.

8.2.3.3 Injetar fluxos distintos de gás no queimador de calibração, em ordem crescente, aguardar a estabilização das temperaturas na chaminé por 10 min e registrar as temperaturas máximas obtidas para cada fluxo. Os fluxos de gás devem ser verificados por meio de um rotâmetro calibrado.

NOTA Os fluxos de gás recomendados são 2 L/min, 3 L/min, 4 L/min, 5 L/min, 6 L/min, 7 L/min e 8 L/min.

8.2.3.4 Quando aplicável, fazer a correção do volume do gás utilizado quanto à umidade, temperatura e pressão. O volume do gás deve ser expresso a uma temperatura-padrão de 15 °C e a uma pressão-padrão de 101 kPa, sem umidade.

8.2.3.5 Correlacionar a temperatura máxima da chaminé, em graus Celsius, com a correspondente quantidade de calor introduzido, em quilowatts. A inclinação desta reta que passa pelos pontos obtidos é o valor de β utilizado na equação do cálculo do índice de propagação de chama.

8.2.3.6 A constante β deve registrar valores entre 20 °C/kW a 40 °C/kW. Em caso de valores fora desta faixa, o procedimento de 8.2.3 deve ser refeito.

9 Procedimento padrão de ensaio

9.1 Remover cuidadosamente os produtos de combustão dos termopares localizados na chaminé com um pincel ou outro método efetivo a cada ensaio. Neste procedimento, os termopares não podem ser deslocados de suas posições originais.

9.2 Correntes de ar devem ser evitadas durante a condução do ensaio. Janelas e portas devem ser fechadas, e dispositivos e aparelhos que propiciam correntes de ar devem ser desligados.

9.3 Ligar o ventilador e ajustar o fluxo de ar para uma vazão entre 300 L/min e 400 L/min. Em seguida, liberar a passagem de gás e ignizar o painel por meio de um ignitor ou de uma fonte de chama qualquer. Aquecer o painel radiante por pelo menos 30 min e então ajustar a vazão de ar e gás até alcançar a temperatura de operação de (670 ± 5) °C, verificada no pirômetro óptico localizado em frente ao equipamento, de modo a visualizar uma área central do painel de 254 mm de diâmetro.

9.4 Ligar o exaustor da chaminé já previamente ajustado conforme 4.2.

9.5 Aguardar a estabilização do aquecimento por mais 30 min e verificar o valor de leitura no pirômetro óptico e nos oito termopares localizados na chaminé. Os valores de temperatura no pirômetro devem estar entre 666 °C a 674 °C e, nos termopares da chaminé (média), entre 180 °C e 230 °C. Caso estes valores não sejam encontrados, ajustes no equipamento devem ser feitos até alcançá-los.

9.6 Ignizar o queimador-piloto e ajustar até ser obtida uma chama com comprimento entre 51 mm a 76 mm. Mover o queimador-piloto para a posição de operação, devendo permanecer nesta posição durante todo o transcorrer do ensaio.

9.7 Retirar o corpo de prova do condicionamento e inseri-lo no suporte-padrão de ensaio, conforme procedimentos da Seção 5. O tempo para a remoção do corpo de prova do condicionamento e para o início do ensaio não pode ser maior que 5 min. Se necessário, colocar o suporte com o corpo de prova novamente no condicionamento ou em invólucros de barreira de vapor (sacos plásticos).

9.8 Posicionar o suporte com o corpo de prova na estrutura de apoio de deslizamento do equipamento. Preparar o cronômetro ou o sistema de aquisição de dados (*software*). Empurrar o suporte em frente ao painel radiante e em contato com a chama do queimador-piloto e, ao mesmo tempo, acionar o sistema de leitura de tempo (cronômetro ou *software*). Registrar o tempo em que a frente da chama atinge as marcas de referência do suporte a cada 76 mm ou nas linhas correspondentes na superfície do corpo de prova. Ao mesmo tempo, observar a ocorrência de *flash*. Além disso, registrar ocorrências de gotejamento em chama, liberação de fumaça e quaisquer outros acontecimentos relevantes.

9.8.1 O gotejamento em chama e/ou o desprendimento de partículas em chamas devem ser verificados visualmente durante o ensaio, sendo o seu tempo de duração cronometrado e registrado. Para isto pode ser empregado o sistema de aquisição de dados utilizado no ensaio.

9.9 Registrar a máxima elevação de temperatura nos termopares da chaminé.

9.10 O ensaio é completado quando a temperatura máxima dos termopares da chaminé é atingida, verificada pelo não aumento de mais de 5 °C nos últimos 5 min, e quando a frente da chama atinge todas as marcas do suporte-padrão ou após um tempo de ensaio 15 min, o que ocorrer primeiro.

9.11 Se durante o ensaio de um ou mais corpos de prova ocorrerem alguns dos seguintes comportamentos, estas ocorrências devem ser registradas e outro método de ensaio deve ser escolhido para caracterizar a reação ao fogo do material:

a) fusão e queda do material do suporte;

- b) uma ou mais porções do corpo de prova sofre fragmentação explosiva, deslocando-se abruptamente da superfície exposta à radiação;
- c) o corpo de prova se expande comprometendo o contato da chama-piloto com a superfície exposta à radiação;
- d) o material apresenta uma rápida propagação decorrente do escorrimento de material em chamas na superfície do corpo de prova.

9.12 Quando um ensaio em um corpo de prova não permitir que seja encontrado um índice de propagação superficial de chama (conforme descrito em 9.11), ensaiar um novo corpo de prova idêntico e pré-condicionado, na tentativa de produzir um total de quatro resultados válidos. Não incorporar os dados obtidos como resultados inadequados, mas relatar a ocorrência. Se algum dos comportamentos em 9.11 continuar a ser observado nos corpos de provas adicionais, os resultados são considerados inválidos e o método não pode ser aplicado.

10 Cálculos

10.1 Calcular o índice de propagação superficial de chama como a seguir:

$$I_p = P_c \times Q \dots (1)$$

onde

I_p é o índice de propagação superficial de chama;

P_c é o fator de propagação da chama;

Q é o fator de evolução do calor.

10.2 O índice de propagação superficial de chama (I_p) deve ser o valor calculado para cada um dos quatro corpos de prova ensaiados. A média (I_p) dos quatro corpos de prova deve ser arredondada para o múltiplo mais próximo de cinco, ou seja, se o valor encontrado for 38, o valor do índice de propagação superficial de chama médio é 40, se o valor encontrado for 36, o valor do índice de propagação superficial de chama médio é 35.

10.3 Calcular o fator de propagação de chama (P_c), utilizando o gráfico do tempo de propagação da frente de chama pela distância que esta frente atinge no corpo de prova, adotando os procedimentos e cálculos descritos em 10.3.1 a 10.3.3.

10.3.1 Traçar um gráfico, lançando no eixo das abscissas o tempo, em minutos, em que a frente de chama atinge as marcas existentes no suporte do corpo de prova, conforme 4.1.2. No eixo das ordenadas são lançadas as distâncias entre as marcas, a partir da borda superior do suporte, em milímetros. São obtidos neste gráfico de zero a seis pontos, dependendo do desenvolvimento da frente de chama. Para facilidade da aplicação do processo de cálculo, denomina-se de ponto zero aquele correspondente à própria borda superior do suporte e que está associado ao tempo zero correspondente ao início do ensaio. O ponto 1 é aquele obtido com o tempo em que a frente de chama atinge a primeira marca (distante 76 mm da borda superior do prendedor). Os pontos 2, 3, 4 e 5 são correspondentes aos tempos em que a frente de chama atinge a segunda, terceira, quarta e quinta marcas, respectivamente a 152 mm, 228 mm, 304 mm e 380 mm.

10.3.2 Unir os pontos obtidos consecutivamente pelos segmentos de reta.

10.3.3 Caso cada um dos segmentos de reta, exceto o primeiro, tenha inclinação menor ou igual à do segmento imediatamente anterior, o fator de propagação de chama deve ser calculado pela equação:

$$P_c = 1 + \frac{1}{t_1 - t_0} + \frac{1}{t_2 - t_1} + \frac{1}{t_3 - t_2} + \frac{1}{t_4 - t_3} + \frac{1}{t_5 - t_4} \dots (2)$$

onde

P_c é o fator de propagação de chama;

t_0 é igual a zero;

t_1, t_2, t_3, t_4 e t_5 são o tempo decorrido desde o início do ensaio até o momento em que a frente de chama atinge a primeira, segunda, terceira, quarta e quinta marcas do corpo de prova.

10.3.4 Caso qualquer dos segmentos de reta obtidos a partir do ponto 1 tenha inclinação maior do que a do segmento imediatamente anterior, considerar a união do ponto precedente àquele que inicia o segmento, com inclinação maior que a do anterior, com o primeiro ponto posterior que inicia um segmento com inclinação menor que a do anterior. Por consequência, são omitidos do gráfico um a quatro pontos, localizados sempre abaixo do novo segmento de reta traçada. Repetir isso sempre que observado um aumento na inclinação da reta. Em alguns casos é necessário ignorar dois, três ou quatro pontos consecutivos.

10.3.5 Os pontos que ficarem abaixo da curva final são designados como "pontos omitidos". Os pontos na curva são "pontos de curva". Não pode haver pontos acima da curva. Usando a equação de P_c dada em 10.3.3, eliminar as duas parcelas relativas a um único ponto omitido e/ou três a cinco parcelas envolvendo dois a quatro pontos consecutivos omitidos e, em cada caso, substituí-las por uma nova parcela, ou ambos, e, em cada caso, substituí-las por uma única nova parcela, dada por:

$$\frac{K}{(t_p - t_a)}$$

onde

K é o número relacionado com o número de pontos omitidos, de acordo com a Tabela 1;

t_p é o tempo, expresso em min, do primeiro ponto da curva após um ponto omitido;

t_a é o tempo, expresso em min, do último ponto da curva antes de um ponto omitido.

Deve-se notar que é possível ter dois, mas não mais, grupos distintos de pontos ignorados. Exemplo de cálculo do fator de propagação de chama pode ser visto no Anexo A e exemplos de curvas ajustadas para o cálculo do fator de propagação de propagação de chama (P_c) podem ser vistas no Anexo B.

Tabela 1 – Fator K conforme número de pontos omitidos

Número de pontos omitidos	K
Um único ponto	4
Dois pontos consecutivos	9
Três pontos consecutivos	16
Quatro pontos consecutivos	25

10.3.6 Procedimentos equivalentes aos anteriores, por exemplo, *softwares*, são igualmente válidos.

10.4 Calcular o fator de evolução de calor pela seguinte equação:

$$Q = CT / \beta \dots (3)$$

onde

C é a constante arbitrária de valor igual a 5,7;

T é a máxima elevação de temperatura observada na curva temperatura-tempo do corpo de prova ensalado e na curva similar do corpo de prova de placa de fibrocimento utilizada na calibração (ver item 8.2), levantadas usando os termopares da chaminé, expressa em graus Celsius (°C).

β é a constante do aparelho determinada pela média da elevação de temperatura dos termopares da chaminé por unidade de taxa de calor do queimador de calibração, expresso em graus Celsius por quilowatts (ver item 8.2.3).

NOTA β provavelmente é encontrado entre 20 °C/kW e 40 °C/kW.

10.5 As frentes de chamas sustentadas devem ser levadas em consideração para fins de cálculo. As intermitentes (*flashing*) devem ser levadas em consideração para fins de relatório, mas não usadas para fins de cálculo, pois são considerados "pontos omitidos" (ver 10.3.5).

10.5.1 É considerada uma frente de chamas sustentada, quando ela alcança qualquer uma das cinco marcas de 76 mm e permanece sustentada por uma duração superior a 3 s. Os dados obtidos a partir de frentes de chamas sustentadas devem ser utilizados para o cálculo do fator de propagação da chama (P_C).

10.5.2 Uma frente de chama com duração de 3 s ou menos representa um *flashing* e não uma frente de chama sustentada. Tal característica deve ser relatada como *flashing*, mas os valores não podem ser usados no cálculo do fator de propagação da chama, P_C .

10.5.3 Se houver *flashing*, este fato deve ser mencionado em relatório, juntamente com a palavra *flashing* entre parênteses após o índice do painel radiante ou l_p ; por exemplo, $l_p = 100$ (*flashing* para X milímetros).

10.5.4 Se a chama propagar da posição do queimador-piloto para a primeira marca ou para qualquer outra marca em 3 s ou menos, este fato deve ser mencionado em relatório, juntamente com a palavra *flashing* entre parênteses, por exemplo, $l_p = 100$ (*flashing* para X milímetros).

10.5.5 Para materiais de baixa densidade, celulares ou outros, em que o fogo é rápido e está limitado à parte inicial de exposição no ensaio, é possível que um pequeno aumento de temperatura não seja detectado, se a medição for realizada intermitentemente. Se o primeiro ensaio indicar tal comportamento, os valores devem ser considerados inválidos e ensaios adicionais devem ser realizados, registrando as temperaturas dos termopares da chaminé em intervalos de tempo suficientemente menores para assegurar que nenhum valor da elevação de temperatura permaneça não detectado. Isso pode ser obtido com medições a cada segundo ou usando uma unidade de aquisição de dados apropriada.

11 Relatório de ensaio

O relatório de ensaio deve incluir no mínimo as seguintes informações, havendo uma distinção clara entre os dados providos pelo cliente e os dados determinados pelo laboratório:

- a) referência de que o ensaio foi conduzido de acordo com este Documento;
- b) nome e endereço do laboratório que realizou o ensaio;
- c) data e número de identificação do relatório;
- d) nome e endereço do cliente;
- e) nome e endereço do fabricante ou fornecedor, se conhecido;
- f) identificação completa do material, incluindo fabricante, número de catálogo, condições previstas de aplicação e uso;
- g) descrição do procedimento de amostragem, quando relevante;
- h) uma descrição geral do produto ensaiado, incluindo densidade, massa por unidade de área e espessura, junto com a forma de construção do corpo de prova;
- i) detalhes do condicionamento a que foram submetidos os corpos de prova, no caso de ser diferente do descrito na seção 7;
- j) data do ensaio;
- k) número de corpos de prova ensaiados e duração de cada ensaio;
- l) resultados do ensaio expressos de acordo com a Seção 10;
- m) ocorrências observadas durante o ensaio, como gotejamento em chama, fumaça, carbonização etc; quando ocorrer gotejamento de chama e/ou desprendimento de partículas em chama, o tempo de duração deve ser relatado conforme descrito em 9.8.1;
- n) designação de *flashing*, quando aplicável, incluindo o tempo de ocorrência e quaisquer outras características de queima visual;
- o) a sentença: "os resultados do ensaio relacionam-se somente ao comportamento de corpos de prova de um produto sob as condições do ensaio; eles não têm a intenção de ser o único requisito para se classificar o perigo potencial de fogo do produto em uso".

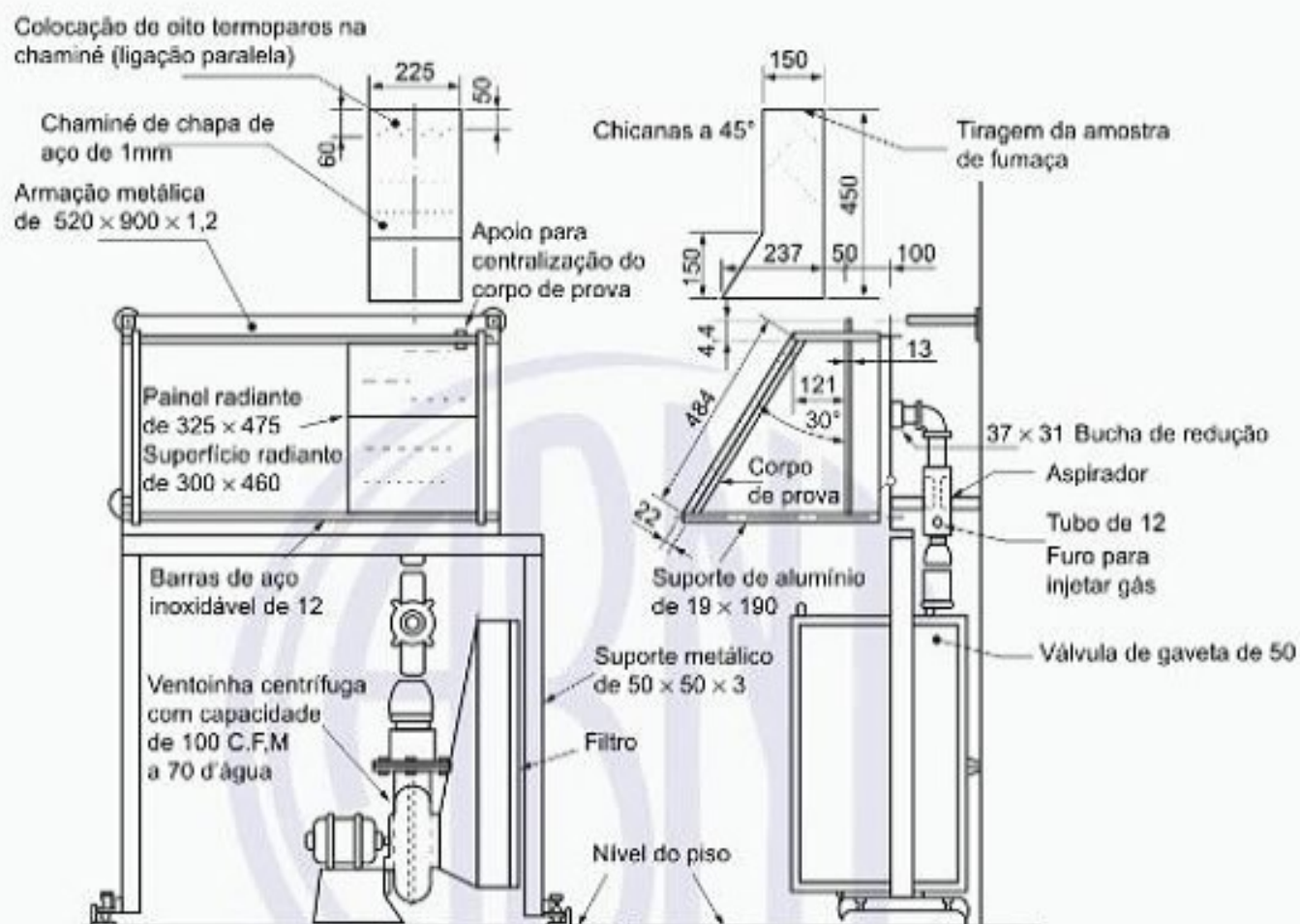


Figura 1 – Esquema geral do equipamento

Dimensões em milímetros

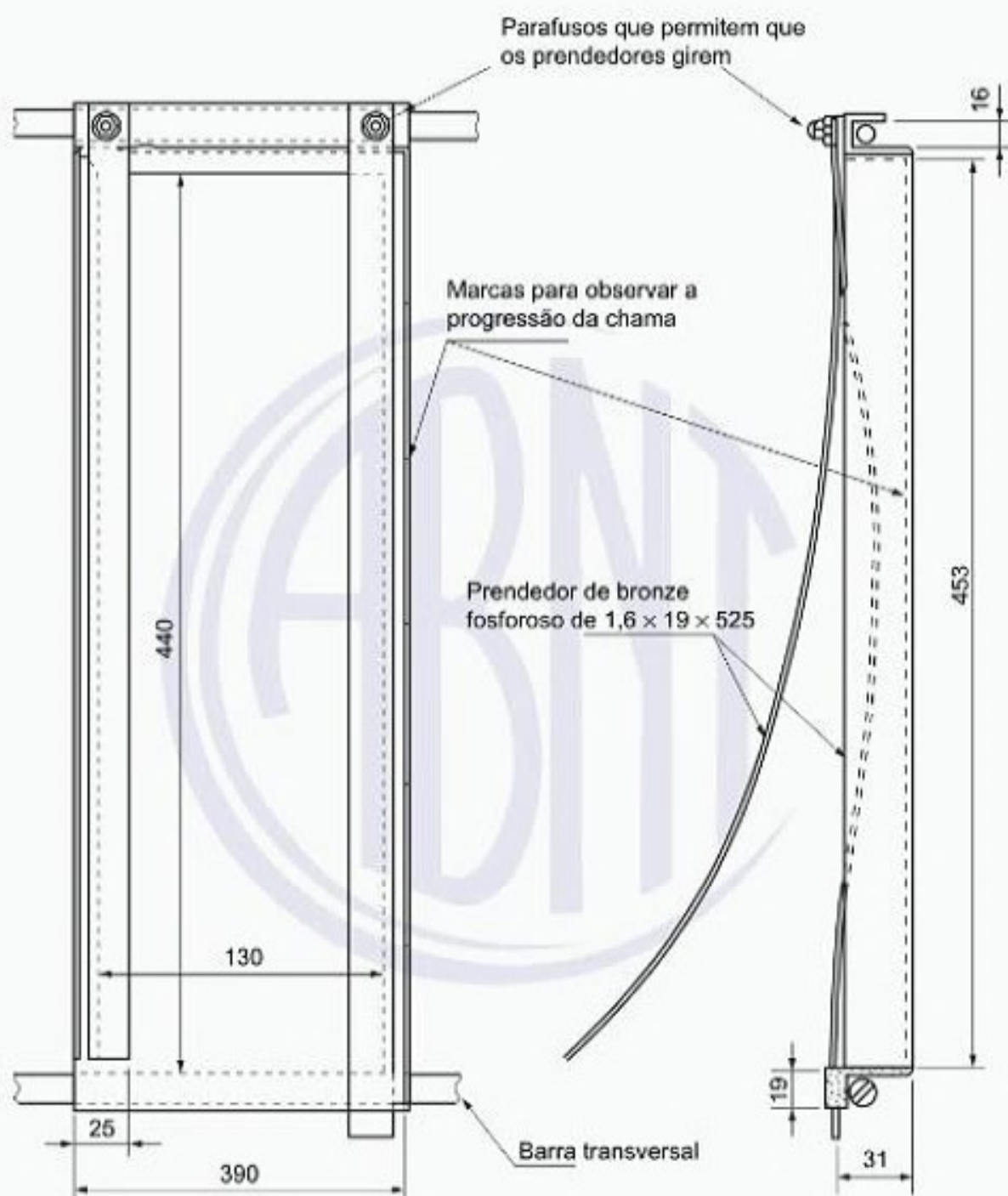


Figura 2 – Suporte do corpo de prova

Dimensões em milímetros

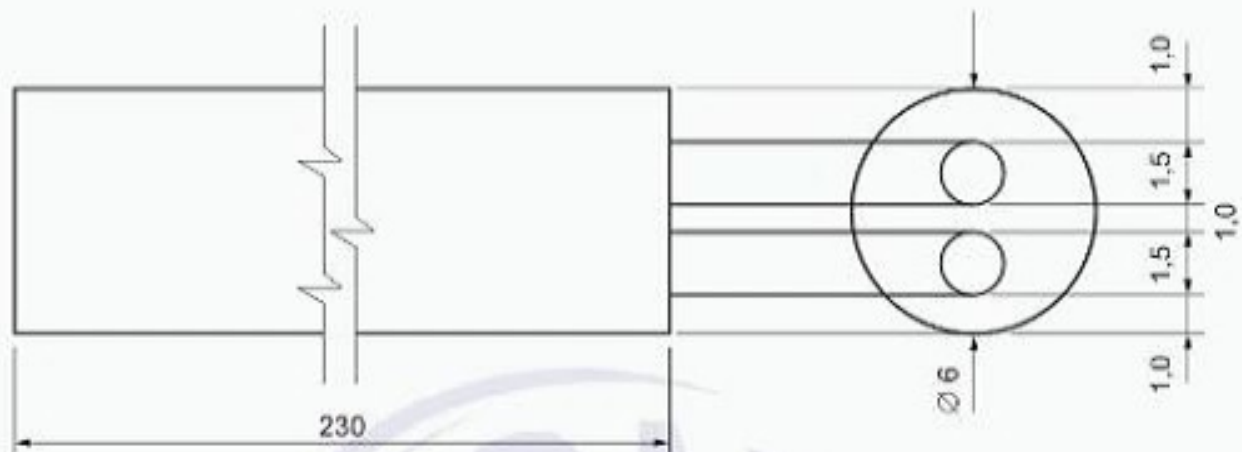


Figura 3 – Queimador de chama-piloto

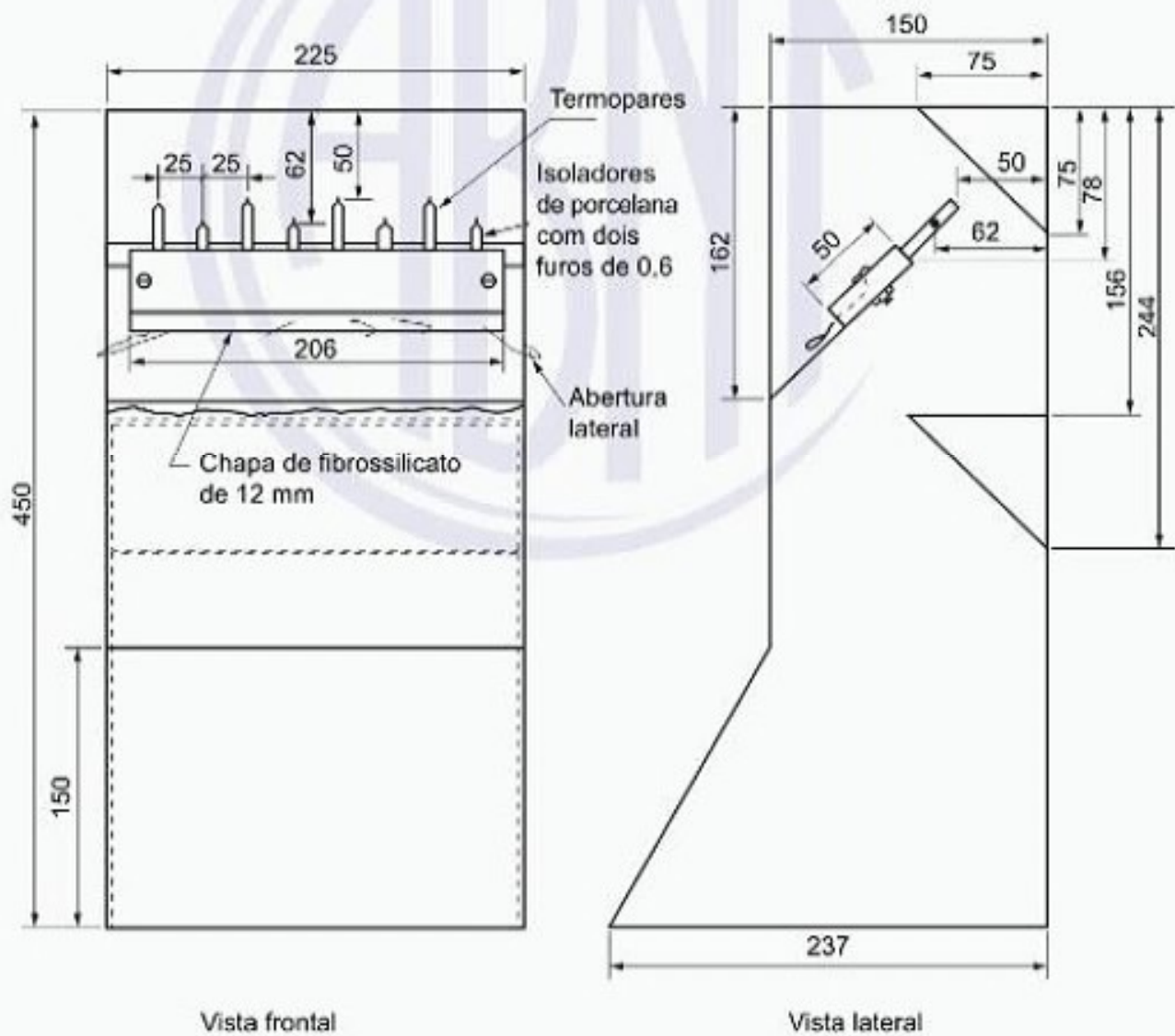


Figura 4 – Chaminé e termopares do equipamento

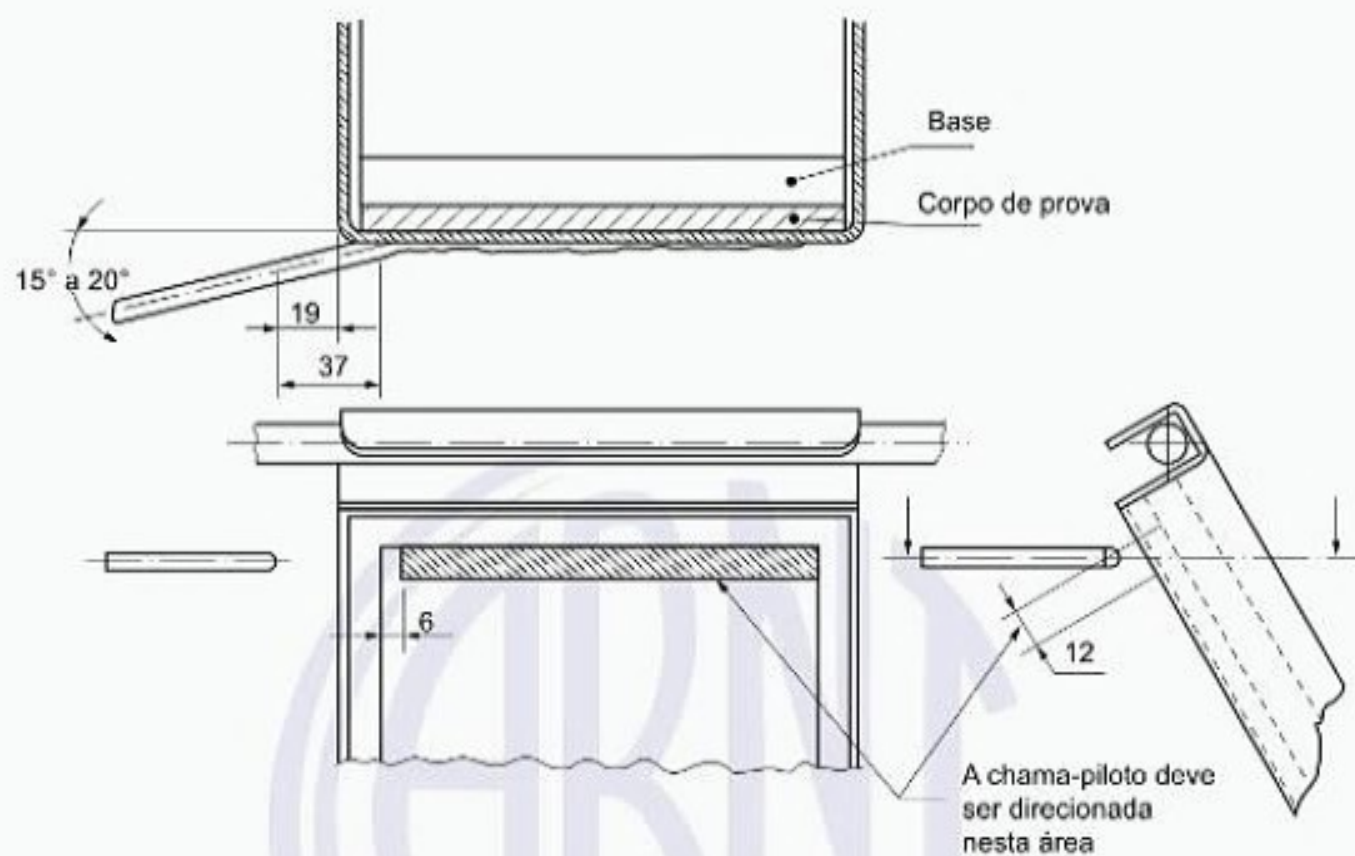


Figura 5 – Posição do queimador e da chama com relação ao corpo de prova

Anexo A (informativo)

Exemplo de cálculo do fator de propagação de chama (P_c)

A.1 Gráfico

A.1.1 Supondo que os tempos obtidos conforme o procedimento descrito em 9.8 sejam $t_1 = 3$ min; $t_2 = 5$ min; $t_3 = 6$ min; $t_4 = 10$ min e $t_5 = 12$ min, traçar o gráfico conforme 10.3.1.

A.1.2 Para este exemplo, os pontos obtidos a partir de t_1 , t_2 e t_4 são chamados de pontos omitidos, conforme as considerações descritas em 10.3.5.

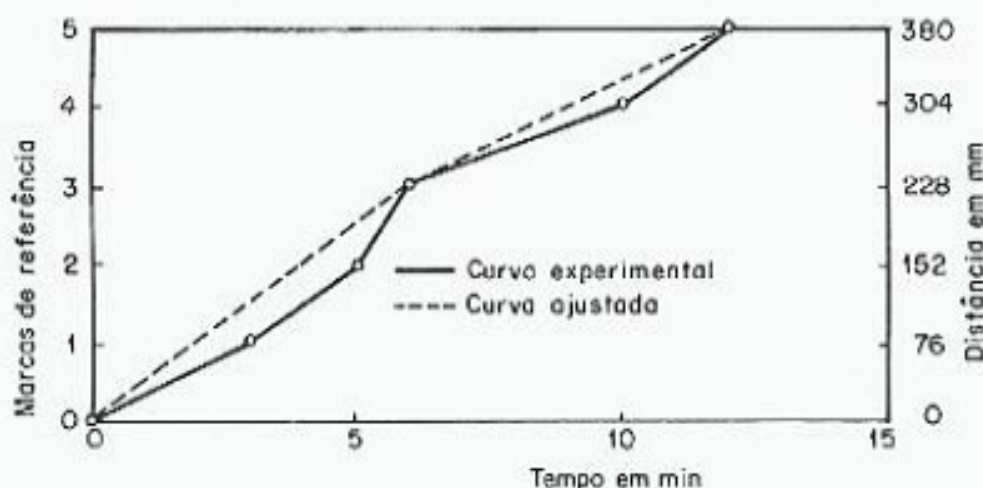


Figura A.1 – Representação gráfica dos pontos omitidos

A.2 Cálculo

A.2.1 Na equação de P_c apresentada em 10.3.5, substituindo-se as parcelas $\frac{1}{t_1 - t_0}$, $\frac{1}{t_2 - t_1}$ e $\frac{1}{t_3 - t_2}$ por $\frac{K}{t_3 - t_0}$ e as parcelas $\frac{1}{t_4 - t_3}$, $\frac{1}{t_5 - t_4}$ por $\frac{K}{t_5 - t_3}$, k assumir,

respectivamente, os valores 9 e 4, conforme a Tabela 1.

A.2.2 O cálculo do fator de propagação de chama é feito então pela equação: $P_c = 1 + \frac{9}{t_3 - t_0} + \frac{4}{t_5 - t_3}$, que com os valores hipotéticos adotados fornece: $P_c = 1 + \frac{9}{6 - 0} + \frac{4}{12 - 6} = 3,17$

Anexo B (informativo)

Exemplos de curvas ajustadas

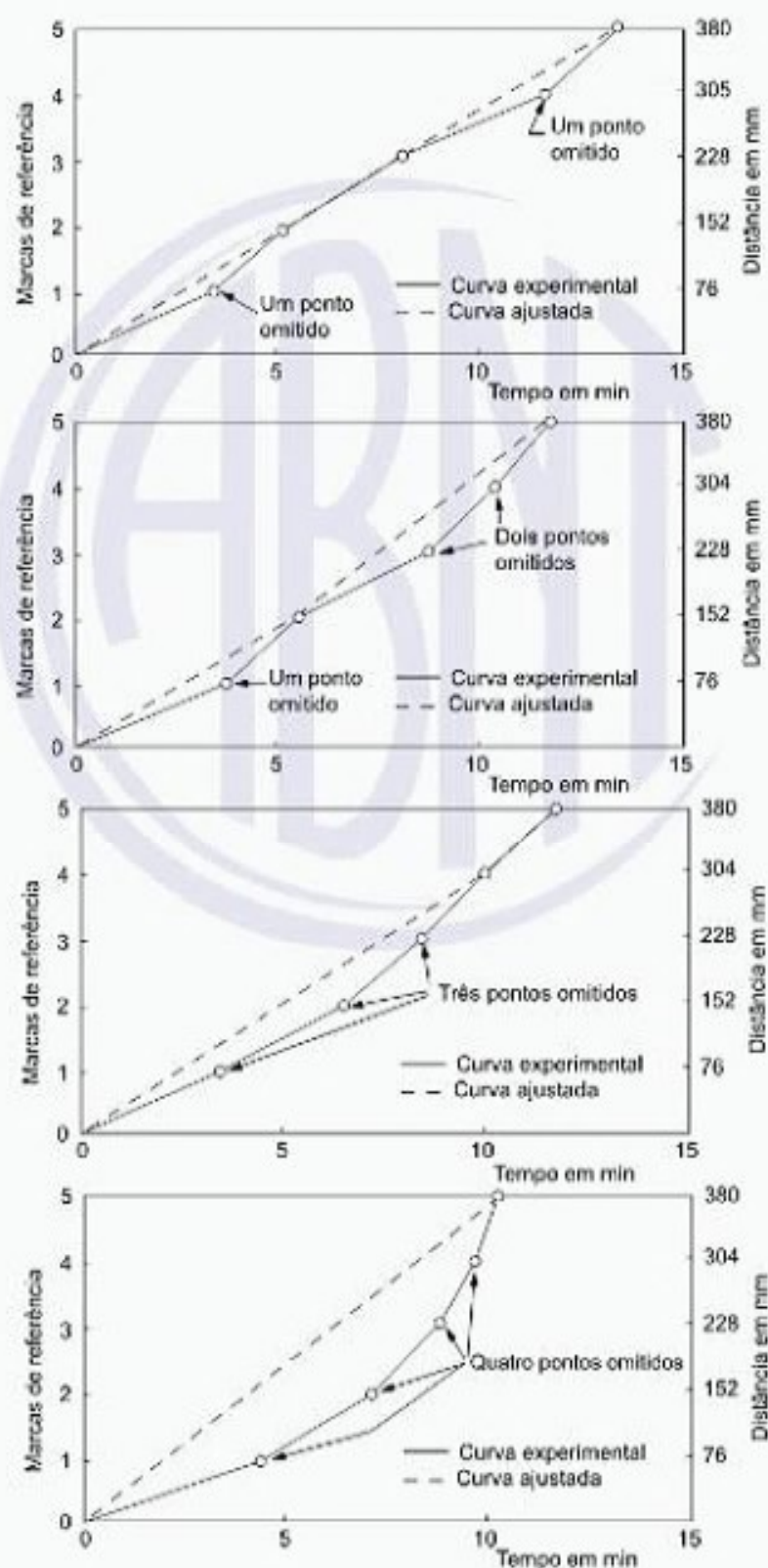


Figura B.1 – Curvas ajustadas para o fator de propagação de chama (P_c)

Anexo C (informativo)

Abastecimento de gás e ar

O gás e o ar da combustão devem alimentar o painel radiante com pressão adequada e reguladores de vazão, equipamentos de segurança e medidores de vazão.

Um sistema de abastecimento adequado inclui o seguinte:

- a) um suprimento de gás natural, metano ou propano com pelo menos 0,1 L/s, a uma pressão suficiente para superar as perdas por atrito pelas linhas de abastecimento, reguladores, válvula de controle, medidores de vazão, painel radiante etc.;
 - b) um abastecimento de ar de pelo menos 9,5 L/s, a uma pressão suficiente para superar as perdas de cargas das linhas de suprimento, reguladores, válvula de controle, medidores de vazão, painel radiante etc.;
 - c) válvulas de isolamento separadas tanto para o abastecimento de ar quanto para o abastecimento de gás;
 - d) uma válvula sem retorno e regulador de pressão na linha de abastecimento de gás;
 - e) uma válvula eletricamente operada para fechar o abastecimento de gás, no caso de falha na energia elétrica ou na pressão de ar;
- NOTA A válvula somente pode fechar na falta de energia ou pressão de ar. Para fechar com a queda de temperatura, a válvula tem que estar energizada.
- f) um filtro de partículas e uma válvula de controle de vazão no suprimento de ar;
 - g) um medidor de vazão para gás natural, metano ou propano, adequado para indicar vazão de 0,1 L/s a 1,0 L/s, à temperatura ambiente e pressão com resolução de 1 % ou mais;
 - h) um medidor de vazão para ar adequado para indicar vazão de 1 L/s a 10 L/s, à temperatura ambiente e pressão com resolução de 1 % ou mais.

NOTA Os medidores de vazão são usados para auxiliar no ajuste das vazões de ar e gás para um valor que permita uma temperatura adequada do painel. A sua calibração absoluta é desnecessária.

Bibliografia

- [1] IEC 60584-1, *Thermocouples – Part 1: References tables*
- [2] ASTM E162, *Test method for surface flammability of materials using a radiant heat energy source*

