

SECRETARIA DA SEGURANÇA PÚBLICA
POLÍCIA MILITAR DO ESTADO DE SÃO PAULO

Corpo de Bombeiros

INSTRUÇÃO TÉCNICA Nº 15/2019

Controle de fumaça

Parte 5 – Controle de fumaça mecânico

SUMÁRIO

11 Procedimentos específicos

ANEXO

J Exemplos de aplicação

11 PROCEDIMENTOS ESPECÍFICOS

11.1 O controle de fumaça é realizado pela extração mecânica de fumaça e pela introdução do ar de forma natural ou mecânica, disposta de maneira a assegurar uma extração do volume a proteger.

11.2 A extração de fumaça pode ser realizada por dispositivos ligados a ventiladores por meio de dutos ou por ventiladores instalados diretamente na área a proteger.

11.3 A extração visa:

11.3.1 Manter um ambiente seguro nas edificações, durante o tempo necessário para abandono do local sinistrado, evitando os perigos da intoxicação e falta de visibilidade pela fumaça.

11.3.2 Controlar e reduzir a propagação de gases quentes e fumaça entre a área incendiada e áreas adjacentes, diminuindo a temperatura interna e limitando a propagação do incêndio.

11.3.3 Providenciar condições dentro e fora da área incendiada, que irão auxiliar nas operações de busca e resgate de pessoas, localização e controle do incêndio.

11.4 O controle de fumaça conforme especificado acima tem condições de emprego diferenciadas, e deve ter características conforme o item 8.2 da Parte 2 desta IT.

11.5 O Controle de fumaça mecânico pode:

11.5.1 Ser um sistema específico, destinado exclusivamente à extração de fumaça;

11.5.2 Utilizar o sistema de ventilação ou ar-condicionado normal à edificação, com dupla função, de forma a atender às funções a que normalmente são projetados e atender a função de extração de fumaça;

11.5.3 Utilizar um sistema conjugado, com o emprego do sistema de ventilação ou ar-condicionado normal da edificação, complementado por um sistema de controle de fumaça auxiliar.

11.6 Nos casos em que o sistema de ventilação ou de ar-condicionado normal à edificação seja utilizado para o controle de fumaça por extração mecânica, estes devem:

11.6.1 Atender às mesmas exigências para um sistema exclusivo de controle de fumaça por extração mecânica;

11.6.2 Assegurar o controle (abertura/fechamento) de todas as partes que compõe o sistema, garantindo a não intrusão de fumaça nas demais áreas não sinistradas do edifício.

11.7 Como regra geral pretende-se, com o controle de fumaça, projetar e estabilizar a camada de fumaça em uma determinada altura, para que as pessoas possam sair em segurança deste ambiente ou a brigada de incêndio possa atuar para o resgate de vítimas e controle e extinção do incêndio.

11.8 Para elaboração do projeto de controle de fumaça, os seguintes fatores devem ser observados:

11.8.1 Tamanho do incêndio;

11.8.2 Taxa de liberação de calor;

11.8.3 Altura da camada de fumaça;

11.8.4 Tempo para a camada de fumaça descer até a altura de projeto;

11.8.5 Dimensão do acantonamento;

11.8.6 Espessura da camada de fumaça;

11.8.7 Temperatura do ambiente;

11.8.8 Temperatura da fumaça;

11.8.9 Introdução de ar;

11.8.10 Obstáculos.

11.9 Tamanho do incêndio:

11.9.1 A dimensão do incêndio depende do tipo de fogo esperado e de se estabelecer uma condição de estabilidade para que o mesmo seja mantido em um determinado tamanho;

11.9.2 Para fins de projeto de controle de fumaça, o fogo é classificado como estável ou instável;

11.9.3 O fogo pode ser considerado estável quando a edificação for dotada de meios de supressão automática do incêndio (chuveiros automáticos, nebulizadores, etc);

11.9.4 O fogo deve ser classificado como instável, quando não atender a condição especificada no item 11.9.3;

11.9.5 O tamanho do incêndio das edificações deve ser conforme a tabela abaixo:

Tabela 10: Dimensões do incêndio

Categorias de risco	Tamanho do incêndio (m)	Perímetro (m)	Área (m ²)
Baixo (Até 300 MJ/m ²)	3,0 x 3,0	12	9
Médio (de 300 a 1.200 MJ/m ²)	4,0 x 4,0	16	16
Alto (acima de 1.200 MJ/m ²)	6,0 x 6,0	24	36

11.9.5.1 O tamanho do incêndio em edificações do Grupo J (depósitos) será o resultado da multiplicação da área constante na Tabela 10 pela altura de estocagem.

11.10 Edificações sem proteção por chuveiros automáticos

11.10.1 Será aceita a instalação parcial de sistema de chuveiros automáticos para a proteção de subsolos com ocupação distinta de estacionamento de veículos nas edificações onde este sistema (chuveiros automáticos) não é obrigatório.

11.11 Taxa de liberação de calor

11.11.1 A taxa de liberação de calor deve adotar os parâmetros da Tabela 11.

Tabela 11: Taxa de liberação de calor

Ocupações	Taxa de liberação de calor (KW/m ²)
Residencial	228
Serviços de hospedagem	500
Comercial	500
Serviços profissionais	228
Educacional	350
Local de reunião pública	500
Serviços automotivos	500
Serviços de saúde e institucionais	500
Indústrias	Taxa de liberação de calor (KW/m ²)
I-1	60
I-2	280
I-3	500
Depósitos	Taxa de liberação de calor (KW/m ²)
Engradado de madeira	2500
Paletes de madeira, empilhados	2150
Móveis embalados	500
Madeira serrada empilhada	500
Madeira compensada empilhada	500
Produtos celulósicos em geral	160
Malas do correio	235
Papelão empilhado	290
Rolos de papelão	120
Caixas de papelão	150
Caixas de papelão com divisórias empilhadas	325
Caixas de papelão, produtos elétricos	145
Produtos empacotados	315
Componentes de fibra de vidro em caixas de papelão	190
Compartimentos em fibra de vidro em caixas de papelão, empilhados	275
Garrafas plásticas em caixas de papelão, empilhadas	940

Ocupações	Taxa de liberação de calor (KW/m ²)
Garrafas em PVC empacotadas em caixas de papelão com divisórias	655
Garrafas de polietileno empacotadas em caixas de papelão	1195
Escaninhos de polietileno, cheios, empilhados	1000
Sacos de lixo de polietileno em caixas empilhadas	380
Filmes de plástico em rolo	980
Filmes de polipropileno em rolo	1280
Tubos de polipropileno empacotados em caixas de papelão com divisórias empilhadas	850
Isolamento de poliuretano empacotado e empilhado	265
Painéis isolados de poliuretano rígido, espuma em caixas de papelão com divisórias, empilhadas	370
Painel isolado em poliestireno espuma rígido, empilhado	675
Garrafas de poliestireno em caixas de papelão	2695
Garrafas de poliestireno empacotadas em caixas de papelão com divisórias, empilhadas	2720
Tubos de poliestireno em caixas de papelão	805
Tubos de poliestireno colocados em caixas de papelão, empilhadas	1105
Partes de brinquedo de poliestireno empilhadas	305
Partes de brinquedo de poliestireno	390
Livros, móveis	720
Álcool	740
Gasolina	1590
Óleo combustível	1470

11.12 Altura da camada de fumaça

11.12.1 Uma altura livre de fumaça deve ser projetada de forma a garantir o escape das pessoas.

11.12.2 Esta altura devido a presença do jato de fumaça

pode alcançar no máximo 85% da altura da edificação, devendo estar no mínimo a 2,20 m acima do piso da edificação.

11.12.3 Onde houver depósito de mercadorias, caso haja possibilidade de ocorrer o fenômeno “flash over”, a camada de fumaça deve ser projetada a 0,50 m acima do topo dos produtos armazenados.

11.13 Tempo para a camada de fumaça descer até a altura de projeto

11.13.1 A posição da interface da camada de fumaça a qualquer tempo pode ser determinada pelas relações que reportam a 3 situações:

- quando nenhum sistema de extração de fumaça está em operação;
- quando a vazão mássica de extração de fumaça for igual ou superior à vazão fornecida à coluna da camada de fumaça;
- quando a vazão de extração de fumaça for menor que a vazão fornecida à coluna da camada de fumaça.

11.13.2 Posição da camada de fumaça com nenhum sistema de extração em funcionamento.

- com o fogo na condição estável, a altura das primeiras indicações da fumaça acima da superfície do piso, 'z', pode ser estimada a qualquer tempo, 't', pela equação (1) (onde os cálculos abrangendo $z/H > 1,0$ significam que a camada de fumaça não começou a descer).

Equação (1)

$$z/H = 1,11 - 0,28 \ln [(t Q^{1/3} / H^{4/3}) / (A/H^2)]$$

Onde:

z = altura de projeto da camada de fumaça acima do piso (m)

H = altura do teto acima da base do fogo (m)

t = tempo (seg)

Q = taxa de liberação de calor de fogo estável (kW)

A = área do acantonamento (m²).

1) A equação acima:

- está baseada em informações experimentais provenientes de investigações utilizando áreas uniformes (seccionais-transversais), baseadas em uma altura com proporções A/H^2 que pode variar de 0,9 a 14 e para valores de $z/H \geq 0,2$;

- avalia a posição da camada a qualquer tempo depois da ignição.

11.13.3 Posição da camada de fumaça com a extração de fumaça em operação.

- vazão mássica de extração de fumaça igual à vazão mássica de fumaça fornecida pelo incêndio.

- Depois que o sistema de extração estiver operando por um determinado período, será estabelecida uma posição de equilíbrio na altura da camada de fumaça, desde que vazão mássica de extração for igual à vazão mássica fornecida pela coluna à base do fogo;
- Uma vez determinada esta posição, deve ser mantido o equilíbrio, desde que as vazões mássicas permaneçam iguais.

- vazão mássica de extração de fumaça diferente da vazão mássica de fumaça fornecida pelo incêndio.

- Com a vazão mássica fornecida pela coluna de fumaça à base do fogo maior que a vazão mássica de extração, não haverá uma posição de equilíbrio para camada de fumaça;
- Neste caso, a camada de fumaça irá descer, ainda que lentamente, em função da vazão mássica de extração ser menor;
- Nesta condição, deve ser utilizado o valor de correção constante da Tabela 12.

Tabela 12: Fator de ajuste da vazão mássica mínima de extração:

z/H	t / t ₀					
	(m / m _e) ou (V / V _e)					
	0,25	0,35	0,50	0,70	0,85	0,95
0,2	1,12	1,19	1,30	1,55	1,89	2,49
0,3	1,14	1,21	1,35	1,63	2,05	2,78
0,4	1,16	1,24	1,40	1,72	2,24	3,15
0,5	1,17	1,28	1,45	1,84	2,48	3,57
0,6	1,20	1,32	1,52	2,00	2,78	4,11
0,7	1,23	1,36	1,61	2,20	3,17	4,98
0,8	1,26	1,41	1,71	2,46	3,71	6,25

Onde:

z = altura de projeto da camada de fumaça acima do piso

H = altura do teto acima da base do fogo (m)

t = tempo para a camada de fumaça descer até z (s)

t₀ = valor de t na ausência de extração de fumaça (ver equação 1) (s)

m = vazão mássica de extração de fumaça (menos qualquer vazão mássica dentro da camada de fumaça, decorrentes de outras fontes que não seja a coluna de fumaça)

m_e = valor de "m" requerido para manter a camada de fumaça indefinidamente em z (obtido pela equação 3)

11.14 Altura da chama

Na determinação da altura da chama proveniente da base do fogo, deve-se adotar a seguinte equação:

Equação (2)

$$z_1 = 0,166 Q_c^{2/5}$$

Onde:

z₁ = limite de elevação da chama (m)

Q_c = porção convectiva da taxa de liberação de calor (kW)

11.15 Dimensionamento da massa de fumaça a ser extraída

11.15.1 Na determinação da massa de fumaça gerada pelo incêndio, duas condições podem ocorrer:

- altura (**z**) da camada de fumaça ser superior à altura (**z₁**) da chama, ou seja: (**z > z₁**);
- altura da camada de fumaça (**z**) igual ou inferior à altura (**z₁**) da chama, ou seja: (**z ≤ z₁**).

11.15.2 Para a condição (**z > z₁**), a massa de fumaça gerada é determinada pela seguinte equação:

Equação (3)

$$m = 0,071 Q_c^{1/3} z^{5/3} + 0,0018 Q_c \quad (z > z_1)$$

Onde:

m = vazão mássica da coluna de fumaça para a altura z (kg/s)

z = altura de projeto da camada de fumaça acima do piso

Q_c = porção convectiva da taxa de liberação de calor, estimada em 70% da taxa de liberação de calor (Q) (kW)

11.15.3 Para a condição (**z ≤ z₁**), a massa de fumaça gerada é determinada pela seguinte equação:

Equação (4)

$$m = 0,032 Q_c^{3/5} z \quad (z \leq z_1)$$

Onde:

m = vazão mássica da coluna de fumaça para a altura z (kg/s)

z = altura de projeto da camada de fumaça acima do piso

Q_c = porção convectiva da taxa de liberação de calor estimada em 70% da taxa de liberação de calor (Q) (kW).

11.16 Volume de fumaça produzido

11.16.1 Para se obter o volume de fumaça a extrair do ambiente, a seguinte equação deve ser utilizada:

Equação (5)

$$V = m/\rho$$

Onde:

V = volume produzido pela fumaça (m^3/s)

m = vazão mássica da coluna de fumaça para a altura z (kg/s)

ρ = densidade da fumaça em kg/m^3 , de acordo com a temperatura adotada ($0,92 kg/m^3$ para $70^\circ C$ e $0,55 kg/m^3$ para $300^\circ C$).

11.16.2 Para compensar os possíveis vazamentos nos registros de trancamento, deve ser previsto um coeficiente de vazamento mínimo de 25% a ser acrescido sobre o resultado da Equação (5) para a seleção dos ventiladores e dimensionamento dos dutos principais de extração de fumaça.

11.17 Acantonamento

11.17.1 A área máxima de um acantonamento deve ser de $1.600 m^2$.

11.17.2 Será possível dispensar a previsão dos acantonamentos, desde que a:

- edificação seja do grupo J (depósito); e
- edificação possua sistema de chuveiros automáticos.

11.18 Espessura da camada de fumaça

11.18.1 Para edificações que não possuam armazenamento elevado (acima de $1,50 m$), a espessura da camada de fumaça não pode ser menor que 15% da altura do local atendido pelo sistema.

11.18.2 Para edificações que possuam área de armazenamento elevada (acima de $1,50 m$), o projetista deve considerar:

- possibilidade de ocorrer o "flash over";
- possibilidade de a fumaça esfriar e estratificar, decorrente:
 - da altura da camada de fumaça estar afastada com relação à origem do incêndio;
 - da existência de sistema de chuveiros automáticos, que esfriam a fumaça e gases quentes.

11.19 Temperatura ambiente

11.19.1 Para fins de cálculo, deve ser prevista uma temperatura ambiente de $20^\circ C$.

11.20 Temperatura da camada de fumaça

11.20.1 Para fins de dimensionamento, deve ser prevista a temperatura da camada de fumaça de:

- $70^\circ C$ quando a edificação for dotada de proteção por sistema de chuveiros automáticos;
- $300^\circ C$ quando a edificação não for dotada de proteção por sistema de chuveiros automáticos.

11.21 Extração de fumaça

11.21.1 Distribuição de grelhas de extração de fumaça em espaços amplos:

11.21.2 As grelhas devem ser distribuídas no ambiente de forma mais uniforme possível; deve haver, no mínimo, uma grelha a cada $300 m^2$ de área de abrangência.

11.21.3 A quantidade de grelhas para sistema de controle de fumaça mecânico deve atender à tabela abaixo:

Tabela 13: Máxima vazão volumétrica por ponto de sucção ou ventilador individual

Espessura da camada de fumaça no ponto de sucção ou corte de um ventilador individual ou grelha de extração (metros)	Vazão volumétrica por ponto de sucção ou ventilador individual (m^3/seg)
$\geq 0,5$ (1)	$\leq 0,2$ (2)
$\geq 1,0$	$\leq 1,2$
$\geq 1,5$	$\leq 3,5$
$\geq 2,0$	$\leq 7,0$
$\geq 2,5$	$\leq 12,0$

(1) Aplicável também para camadas de fumaça de altura $< 0,5 m$, desde que os pontos de sucção estejam posicionados para cima.

(2) Em locais com pé direito baixo, onde não seja possível haver maior espessura de camada de fumaça, a utilização de vazão volumétrica de maior magnitude por ponto de extração pode ser admitida mediante avaliação em Comissão Técnica Recursal.

11.22 Introdução do ar

11.22.1 A introdução de ar para controle de fumaça pode ser realizada por meios naturais ou mecânicos, da seguinte forma:

a. Naturalmente

- Por meio de portas, janelas, venezianas etc., posicionadas abaixo da camada de fumaça;
- Caso a velocidade de entrada de ar seja superior a $1 m/s$, a camada de fumaça deve ser projetada a $1,5 m$ acima das aberturas consideradas;
- Caso a velocidade de entrada de ar seja menor que $1 m/s$, a camada de fumaça pode ser projetada a $0,5 m$ acima das aberturas consideradas;
- A velocidade máxima nas aberturas de entrada de ar não deve ser superior a $2 m/s$ e a vazão volumétrica deve ser igual à de extração;
- Caso haja impossibilidade técnica de prever entrada de ar no acantonamento, esta pode ser prevista pelas aberturas de introdução de ar dos acantonamentos adjacentes à área incendiada;
- A introdução de ar em edificações com pavimentos interligados como, por exemplo, centros comerciais "shopping centers", pode ser realizada pelas portas de acesso e demais aberturas localizadas no térreo. As portas e demais aberturas utilizadas para este fim devem ter abertura automática acionada pelo sistema de detecção de fumaça;
- A introdução de ar para os pavimentos superiores das edificações descritas no item anterior pode ser realizada pelas aberturas localizadas no térreo e será considerada, para fins de cálculo, a área efetiva de abertura entre os pavimentos composta por átrios, escadas não enclausuradas e escadas rolantes.

b. Por meios mecânicos:

- Realizadas por aberturas de insuflação ligadas a ventiladores por meio de dutos;
- Cuidados devem ser observados pelo projetista a fim de posicionar (os ventiladores) as aberturas de insuflação no terço inferior do acantonamento, evitando

turbulências que podem espalhar a fumaça ou o fogo;

- 3) Caso haja impossibilidade técnica de prever entrada de ar no acantonamento, esta pode ser prevista pelas aberturas de introdução de ar dos acantonamentos adjacentes à área incendiada; neste caso, não há necessidade de posicionar as aberturas de insuflação no terço inferior dos acantonamentos.
- 4) Para efeito de dimensionamento, a velocidade do ar nas aberturas de insuflação não deve ser superior a 5 m/s, e sua vazão volumétrica deve ser da ordem de 60% da vazão das aberturas de extração de fumaça, à temperatura de 20° C.

11.23 Obstáculos

11.23.1 Os mezaninos são obstáculos que devem ser considerados na extração de fumaça.

11.23.2 Existem 2 tipos de mezaninos a serem considerados:

- a. mezaninos permeáveis, que são aqueles cujo teto ou piso superior possui 50% de aberturas, permitindo o escape e fluidez da fumaça pelo mesmo;
- b. mezaninos sólidos, que são aqueles que não permitem o escape da fumaça.

11.23.3 Os mezaninos considerados permeáveis estão dispensados da previsão de sistema de controle de fumaça.

11.23.4 Os mezaninos sólidos devem atender à seguinte regra:

- a. característica da coluna de fumaça saindo por um mezanino depende da característica do fogo, largura da coluna de fumaça e da altura do teto acima do fogo;
- b. para dimensionar a entrada de ar na coluna de fumaça sob um mezanino, a seguinte fórmula deve ser atendida:

Equação (6)

$$m = 0,36 (QW^2)^{1/3} (z_b + 0,25H)$$

Onde:

m = taxa do fluxo de massa na coluna (kg/s)

Q = taxa de liberação de calor (kW)

W = extensão da coluna saindo das sacadas (m)

z_b = altura acima da sacada (m)

H = altura da sacada acima do combustível (m)

c. quando z_b for aproximadamente 13 vezes a largura do acantonamento, a coluna de fumaça deve ter a mesma vazão mássica adotada no item 11.15.2 desta IT;

d. quando z_b for menor que 13 vezes a largura do mezanino, além do especificado no item anterior, barreiras de fumaça devem ser projetadas para que a fumaça seja contida.

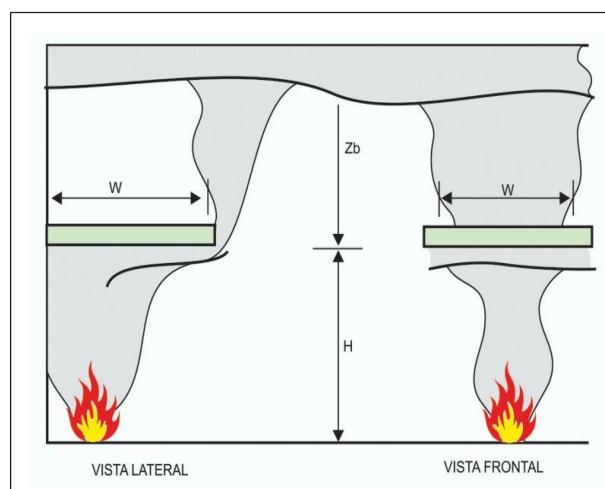


Figura 17: Coluna de fumaça saindo de um mezanino

ANEXO J
Exemplos de aplicação
Exemplo 1

1 Dados do ambiente:

- a. escritórios;
- b. área de 500,00 m²;
- c. dimensão: 20,00 m x 25,00 m x 3,00 m;
- d. edifício protegido por chuveiros automáticos de teto;
- e. edificação protegida por sistema de detecção.
- f. Altitude: 800 m

2 Dados para projeto:

- a. classificação segundo IT 14: risco médio;
- b. dimensão do incêndio esperado segundo Tabela 10 – Parte 5:

Tamanho do incêndio = 4,00 m x 4,00 m;

Perímetro = 16 m;

Área = 16,00 m²;

Taxa de liberação de calor segundo Tabela 11 – Parte 5 = 228,00 Kw/m².

3 Dimensionamento:

- a. taxa total de liberação de calor (Q) = 228,00 x 16,00 = 3.648,00 Kw;
- b. altura da camada de fumaça adotada em projeto (z) = 2,20 m;
- c. tempo para a fumaça atingir a altura de projeto:
- d. Pela equação (1): (cálculo da altura da camada de fumaça, sem nenhum sistema entrar em funcionamento)
- e. $z/H = 1,11 - 0,28 \ln [(tQ^{1/3} / H^{4/3}) / (A/H^2)]$;
- f. $2,20/3,0 = 1,11 - 0,28 \ln [(t \cdot 3.648^{1/3} / 3^{4/3}) / (500/3^2)]$;
- g. **t = 60,23 s.**
- h. altura da chama:
- i. Pela Equação (2) - $z_1 = 0,166 Qc^{2/5}$
- j. $z_1 = 0,166 (3.648 \times 0,7)^{2/5}$
- k. **z₁ = 3,83 m**
- l. como z < z₁, temos para cálculo da massa de fumaça a utilização da Equação (4):

EQUAÇÃO (4)

$$m = 0,032 Qc^{3/5} z \quad (z < z_1);$$

$$m = 0,032 \times 2.553,6^{3/5} \times 2,20;$$

$$m = 7,795 \text{ kg/s.}$$

- a. cálculo da Vazão Volumétrica:

EQUAÇÃO (5)

Para atingir os objetivos descritos em 11.20.1 letra a (ρ = 0,92 kg/m³ para 70° C):

$$V = m/\rho;$$

$$V = 7,795 / 0,92;$$

$$V = 8,47 \text{ m}^3/\text{s.}$$

- a. Deve ser acrescido, para seleção dos ventiladores e dimensionamento dos dutos, o coeficiente de segurança de 25%, conforme previsto no item 11.16.2:

V_e: vazão do extrator

$$V_e = V \times 1,25$$

$$V_e = 8,47 \times 1,25$$

$$V_e = 10,59 \text{ m}^3/\text{s} \quad (38.124 \text{ m}^3/\text{h})$$

- b. cálculo da entrada de ar, conforme item 11.22.2

V_v: vazão do ventilador de entrada de ar

$$V_v = V_e \times 0,6$$

$$V_v = 10,59 \times 0,6$$

$$V_v = 6,35 \text{ m}^3/\text{s} \text{ (22.874 m}^3/\text{h)}$$

Exemplo 2

1 Dados do ambiente:

- escritórios;
- área de 500,00 m²;
- dimensão: 20,00 m x 25,00 m x 3,00 m;
- edifício sem proteção por chuveiros automáticos de teto;
- edificação protegida por sistema de detecção.
- Altitude: 800 m

2 Dados para projeto:

- classificação segundo IT 14: risco médio;
- dimensão do incêndio esperado segundo Tabela 9 – Parte 5:

Tamanho do incêndio = 4,00 m x 4,00 m;

Perímetro = 16 m;

Área = 16,00 m².

Taxa de liberação de calor segundo Tabela 10 – Parte 5 = 228,00 kW/m².

3 Dimensionamento:

- taxa total de liberação de calor (Q) = 228,00 x 16,00 = 3.648,00 kW;
- altura da camada de fumaça adotada em projeto (z) = 2,20 m;
- tempo para a fumaça atingir a altura de projeto:

Pela equação (1): (cálculo da altura da camada de fumaça, sem nenhum sistema entrar em funcionamento)

$$z/H = 1,11 - 0,28 \ln [(tQ^{1/3} / H^{4/3}) / (A/H^2)];$$

$$2,20/3,0 = 1,11 - 0,28 \ln [(t \cdot 3.648^{1/3} / 3^{4/3}) / (500/3^2)];$$

$$t = 60,23 \text{ s.}$$

- altura da chama:

Pela Equação (2) - $z_1 = 0,166 Q_c^{2/5}$

$$z_1 = 0,166 (3.648 \times 0,7)^{2/5};$$

$$z_1 = 3,83 \text{ m.}$$

- como $z < z_1$, temos para cálculo da massa de fumaça a utilização da Equação (4):

EQUAÇÃO (4)

$$m = 0,032 Q_c^{3/5} z \text{ (} z < z_1 \text{);}$$

$$m = 0,032 \times 2.553,6^{3/5} \times 2,20;$$

$$m = 7,795 \text{ Kg/s.}$$

- cálculo da Vazão Volumétrica:

EQUAÇÃO (5)

Para atingir os objetivos descritos em 11.20.1, letra b ($\rho = 0,55 \text{ kg/m}^3$ para 300° C):

$$V = m/\rho$$

$$V = 7,795/0,55;$$

$$V = 14,172 \text{ m}^3/\text{s.}$$

- Deve ser acrescido, para seleção dos ventiladores e dimensionamento dos dutos, o coeficiente de segurança de 25%, conforme previsto no item 11.16.2:

V_e : vazão do extrator

$$V_e = V \times 1,25$$

$$V_e = 14,172 \times 1,25$$

$$V_e = 17,72 \text{ m}^3/\text{s} \text{ (63.777 m}^3/\text{h)}$$

- cálculo da entrada de ar, conforme item 11.22.2

V_v : vazão de entrada de ar (natural)

$$V_v = V_e$$

$$V_v = 17,72 \text{ m}^3/\text{s} \text{ (63.777 m}^3/\text{h)}$$

Exemplo 3

1 Dados do edifício:

- a. depósito de livros (J-4);
- b. área de 1000,00 m²;
- c. dimensão: 20,00 m x 50,00 m x 6,00 m;
- d. estocagem em prateleiras fixas com altura de 4,00 m;
- e. edifício protegido por chuveiros automáticos de teto;
- f. edificação protegida por sistema de detecção;
- g. Altitude: 800 m

2 Dados para projeto:

- a. classificação segundo IT 14: risco médio;
- b. dimensão do incêndio esperado segundo Tabela 9 – Parte 5:
- c. Tamanho do incêndio = 6,00m x 6,00m;
- d. Perímetro = 24 m;
- e. Área = 36,00 m²;
- f. Taxa de liberação de calor segundo Tabela 10 – Parte 5 = 720,00 kW/m²/m;

3 Dimensionamento:

- a. taxa total de liberação de calor (Q) = 720,00 x 36,00 x 4,00 = 103.680,00 kW;
- b. altura da camada de fumaça adotada em projeto (z) = 4,50 m
- c. tempo para a fumaça atingir a altura de projeto:
- d. Pela Equação (1): (Cálculo da altura da camada de fumaça, sem nenhum sistema entrar em funcionamento)

$$z/H = 1,11 - 0,28 \ln [(tQ^{1/3} / H^{4/3}) / (A/H^2)];$$

$$4,5/6,0 = 1,11 - 0,28 \ln [(t \cdot 103.680^{1/3} / 6^{4/3}) / (1000 / 6^2)];$$

$$t = 23,3 \text{ s}$$

- e. altura da chama:

$$1. \text{ Pela Equação (2) - } z_1 = 0,166 Qc^{2/5}$$

$$z_1 = 0,166 (103.680 \times 0,7)^{2/5}$$

$$z_1 = 14,6 \text{ m.}$$

- f. como $z < z_1$, temos para cálculo da massa de fumaça a utilização da Equação (4):

EQUAÇÃO (4)

$$m = 0,032 Qc^{3/5} z (z < z_1);$$

$$m = 0,032 \times 103.680^{3/5} \times 4,5;$$

$$m = 118,8 \text{ Kg/s.}$$

- g. cálculo da vazão volumétrica:

EQUAÇÃO (5)

Para atingir os objetivos descritos em 11.20.1 letra a ($\rho = 0,92 \text{ kg/m}^3$ para 70° C):

$$V = m/\rho$$

$$V = 118,8/0,92$$

$$V = 129,1 \text{ m}^3/\text{s}$$

- h. Deve ser acrescido, para seleção dos ventiladores e dimensionamento dos dutos, o coeficiente de segurança de 25%, conforme previsto no item 11.16.2:

V_e : vazão do extrator

$$V_e = V \times 1,25$$

$$V_e = 129,1 \times 1,25$$

$$V_e = 161,4 \text{ m}^3/\text{s} \text{ (581.040 m}^3/\text{h)}$$

- i. cálculo da entrada de ar, conforme item 11.22.2.

V_v : vazão do ventilador de entrada de ar

$$V_v = V_e \times 0,6$$

$$V_v = 161,4 \times 0,6 \rightarrow V_v = 96,84 \text{ m}^3/\text{s} \text{ (348.624 m}^3/\text{h)}$$