

Procedure for decreasing the required time for fire resistance of the multistory buildings

Procedimento para redução do tempo requerido de resistência ao fogo de edifícios de múltiplos andares



V. P. SILVA ^a
valpigss@usp.br

C. N. COSTA ^b
carlac@fec.unicamp.br

A. R. MELÃO ^a
melao@usp.br

Abstract

The Brazilian standard ABNT NBR 15200: 2012 details a procedure for decreasing the required time of fire resistance in buildings with good fire safety characteristics. It called equivalent time method. This name can confuse the less habituated to the fire safety area, because the Brazilian procedure is not equal to the original equivalent time method, European. The purpose of this paper is to discuss the equivalent time method, to detail the origins of the Brazilian method and present their limitations no explicit in the Brazilian standard. Some unknown aspects of most researchers or technical means are presented. It should be highlighted the abundant bibliography presented to aid the understanding of a seemingly simple issue, but it incorporates many concepts of fire safety, not always understood by the users.

Keywords: fire, fire resistance, equivalent time method, decreasing fire resistance required.

Resumo

A ABNT NBR 15200:2012 detalha um procedimento para a redução do tempo requerido de resistência ao fogo de edificações com boas características de segurança contra incêndio. Ele recebe o nome de método do tempo equivalente. Esse nome pode confundir os menos afeitos à área de segurança contra incêndio, pois o procedimento brasileiro não é equivalente ao MTE original, europeu. O objetivo deste artigo é discutir sobre o MTE, detalhar as origens do método brasileiro e apresentar suas limitações não explícitas na norma brasileira. Apresentam-se alguns aspectos desconhecidos da maioria dos pesquisadores ou do meio técnico. Destaca-se a revisão bibliográfica apresentada ao longo do texto, para auxiliar a compreensão de um tema aparentemente simples, porém que incorpora diversos conceitos sobre segurança contra incêndio, nem sempre compreendidos pelos usuários.

Palavras-chave: incêndio, TRRF, resistência ao fogo, método do tempo equivalente.

^a Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, Brasil;
^b Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, Brasil.

1. Introdução

Por mais de 8 décadas, diversos pesquisadores têm procurado relacionar a curva temperatura-tempo de um incêndio, padronizada por diversas normas internacionais (ASTM E119, 2000; ISO 834, 1990; BS 476, 1987) a curvas mais realísticas. Mais informações sobre o incêndio-padrão podem ser vistas em SILVA (2012) e SILVA (2014). O EC1 (2002) normatizou o método do tempo equivalente associado ao conceito de valor de cálculo da carga de incêndio, com base na norma alemã DIN (1987). O Eurocode permite que cada país faça modificações no método em suas normas locais. Reino Unido e Portugal assim o fizeram.

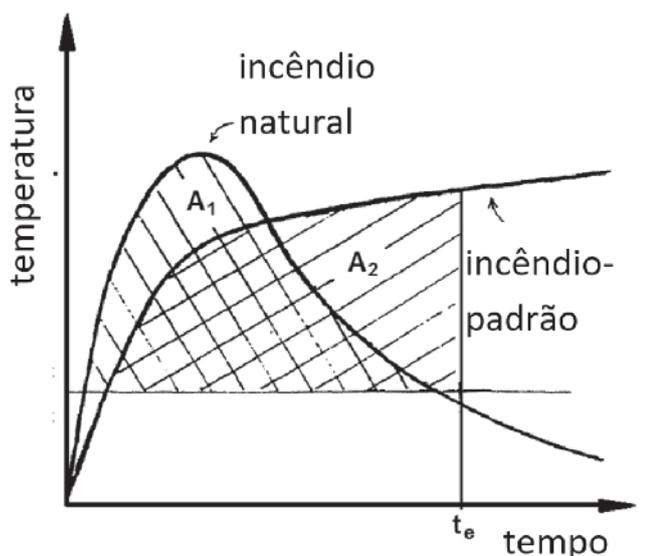
No Brasil, na década de 90, o Corpo de Bombeiros de São Paulo incluiu em sua Instrução Técnica o método do tempo equivalente com diversas modificações. Essa IT foi publicada em 2001. Em vista das modificações, não se pode chamar de método do tempo equivalente pois pode trazer confusão ao leitor, imaginando que ele seja idêntico ao método publicado pelo Eurocode. No entanto, pela tradição brasileira continua sendo assim chamado. É o caso da ABNT NBR 15200:2012, que o apresenta com esse nome.

O objetivo deste trabalho é apresentar o histórico do desenvolvimento do método do tempo equivalente, detalhar sua formulação e o procedimento de redução do tempo requerido de resistência ao fogo que, apesar de se inspirar no método do tempo equivalente, teve a contribuição de outras normas estrangeiras bem como sofreu várias modificações.

2. O método do tempo equivalente

2.1 Histórico

Em 1928, Ingberg apud HARMATHY (1987) realizou uma série de



Fonte: Melão (2016)

Figura 1

Tempo equivalente pelo conceito de igualdade de áreas sob as curvas

Tabela 1

Relação entre a carga de incêndio e o tempo equivalente conforme Ingberg (GEWAIN et al., 2003)

q_w (kg de madeira/m ²)	t_e (min)
24.4	30
36.6	45
48.8	60
73.2	90
97.6	120
146.5	180
195.3	270
244.1	360
292.9	450

ensaios no NIST - National Institute of Standards and Technology (à época denominado United States National Bureau of Standards), comparando as áreas sob as curvas de incêndios reais à área sob a curva-padrão, a partir de um determinado limite de temperatura (NYMAN, 2002), conforme Figura 1. Ele admitiu que essa área fosse proporcional à energia térmica desprendida pelos gases quentes.

Os resultados são apresentados na Tabela 1 e na Figura 2.

A Equação 1 é uma aproximação adequada a tempos inferiores a 180 min (COSTA, 2008), em que q_w é valor da carga de incêndio específica expressa em quilograma de madeira equivalente por unidade de área (kg de madeira/m²).

$$t_e = 1,23 q_w \quad (1)$$

Esse conceito é interessante visto que a severidade do incêndio independe da estrutura a ser analisada. Isto é, dois incêndios de mesma severidade conduziram a resultados iguais, independente do elemento estrutural estudado.

Os japoneses KAWAGOE; SEKINE (1964) apud (LAW, 1997) seguiram a mesma ideia de Ingberg, comparando as áreas sob as curvas, mas identificaram a importância da ventilação (oxigênio é

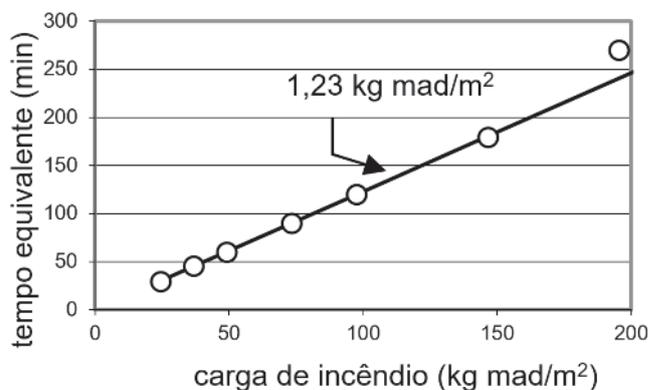


Figura 2

Relação entre a carga de incêndio e o tempo conforme Ingberg

o material comburente) para determinar a temperatura dos gases quentes do compartimento (ver item 4 deste texto), apresentando a Equação 2, válida dentro de certos limites de $A_t / A_v \cdot \sqrt{h_m}$. Na Equação 2, k_1 é um fator de proporcionalidade, q_{fi} é a carga de incêndio específica por área de piso, A_t é a área de todas as superfícies (piso, teto e paredes) do compartimento em chamas e h_m é a altura média das aberturas para o exterior do compartimento, por onde entra o oxigênio.

$$t_e = k_1 q_{fi} \cdot \left(\frac{A_t}{A_v} \sqrt{h_m} \right)^{0,23} \tag{2}$$

COOPER, STECKLER (1996) e THOMAS et al. (1997) não concordaram com a equivalência entre áreas, alegando que elas não representam a energia térmica desprendida pelos gases quentes, no entanto, julga-se relevante mencionar esse conceito, pois foi um ponto de partida para as atuais regulamentações de segurança contra incêndio. Em MELÃO (2016), foi feita uma simulação usando a equivalência de áreas, que não conduziu a bons resultados Law e Petterson apud THOMAS et al. (1997) indicam que a melhor maneira para se determinar o tempo equivalente é uma comparação entre as temperaturas de elementos estruturais calculadas conforme as duas curvas como ilustrado na Figura 3.

Na Figura 3, o “elemento estrutural” pode ser uma armadura da peça de concreto ou um perfil de aço, por exemplo.

Em 1971, a pesquisadora britânica Margaret Law analisou a relação entre a curva-padrão e curvas experimentais, incluindo o efeito da ventilação, mas com base na Figura 2, e propôs a Equação 3 para determinar o tempo equivalente (HARMATHY, 1987).

$$t_e = k_2 \cdot \frac{A_f}{\sqrt{A_v \cdot (A_t - A_f - A_v)}} \cdot q_{fi} \tag{3}$$

Na Equação 3, k_2 é um fator de proporcionalidade, A_v é a área das

aberturas para o exterior do compartimento e A_f é a área de piso do compartimento.

O pesquisador sueco Pettersson incluiu, em 1973, as características térmicas dos elementos de compartimentação (vide item 4 deste texto), na determinação do tempo equivalente (HARMATHY, 1987). Pettersson usou curvas de incêndio naturais deduzidas teoricamente com aferição experimental (PETTERSSON et al., 1976), para propor a Equação 3.

Na Equação 3, k_3 é um fator de proporcionalidade e K_1 é um fator relacionado às características físicas e térmicas dos elementos de compartimentação.

$$t_e = k_3 K_1 \cdot \frac{A_f}{\sqrt{A_t \cdot A_v \cdot \sqrt{h_m}}} \cdot q_{fi} \tag{3}$$

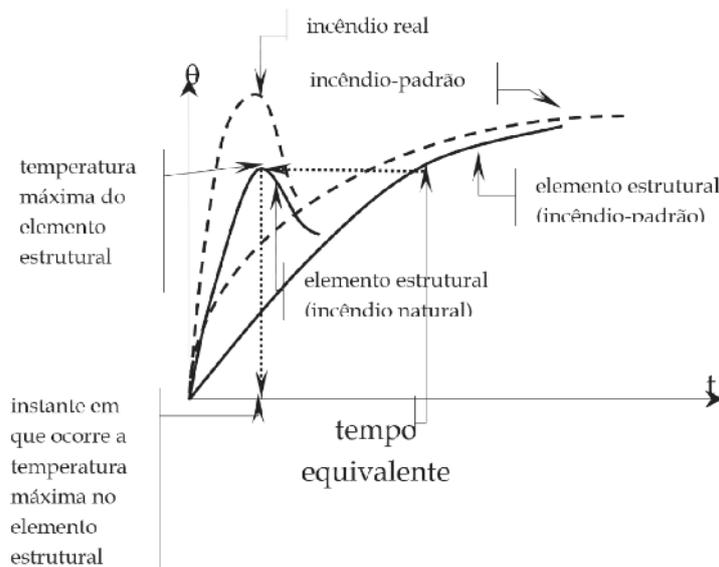
A norma alemã DIN (1987) incluiu a influência das aberturas horizontais na ventilação e o nível do risco de incêndio, conforme Equação 4.

$$t_e = K_2 \cdot W_1 \cdot q_{fi} \tag{4}$$

Na Equação 4, K_2 é um fator relacionado às características físicas e térmicas dos elementos de compartimentação, W_1 é um fator relacionado à ventilação horizontal ou vertical, determinado por meio de tabelas fornecidas pela DIN (1987) e γ é um coeficiente relacionado ao risco.

Lembrando que risco é a associação do perigo às consequências de um incêndio, o coeficiente de ponderação γ , idealizado pela DIN (1987), é determinado levando-se em conta as dimensões da edificação e a presença da proteção ativa. A versão seguinte dessa DIN, DIN (1998), apresentou algumas modificações pouco significativas (CAJOT et al., s.d.), para determinar o tempo equivalente.

O método apresentado na norma DIN, com adaptações que facilitam o seu uso (por exemplo, o efeito da ventilação, determinado



Fonte: Silva (1997)

Figura 3
Conceito de tempo equivalente

Tabela 2Valores de γ_{s1} (SCHLIECH; CAJOT, 1997)

Área do compartimento (m ²)	Altura da edificação (h)			
	1 pavimento	2 pavimentos	Entre 2 e 10 pavimentos	Mais de 10 pavimentos
≤ 750	1,00	1,10	1,25	1,50
≤ 2500	1,00	1,25	1,50	2,00
≤ 5000	1,05	1,40	1,75	2,50
≤ 10000	1,10	1,50	-	-
≤ 20000	1,20	1,60	-	-

Tabela 3Valores de γ_{s1} (IT 8, 2001)

Área do compartimento (m ²)	Altura da edificação (h)			
	Térreo	h ≤ 12 m	12 m < h ≤ 23 m	h > 23 m
≤ 750	1,00	1,00	1,25	1,50
≤ 2500	1,00	1,30	1,50	2,00
≤ 5000	1,05	1,45	1,75	2,50
≤ 10000	1,10	1,55	-	-
≤ 20000	1,20	1,65	-	-

via tabela pela DIN, foi transformado em uma equação no EC1), foi adotado no EC1 (1995), por meio da Equação 5.

$$t_e = K W q_{fi,d}$$

(5)

Na Equação 5, K_2 é um fator relacionado às características físicas e térmicas dos elementos de compartimentação, W é um fator relacionado à ventilação (que depende das dimensões das aberturas) e $q_{fi,d}$ o valor de cálculo da carga de incêndio.

Deve ser ressaltado de que na equação recomendada pelo EC1 (1995) surgiu $q_{fi,d}$, ou seja, o valor de cálculo da carga de incêndio, que é encontrado multiplicando-se o valor característico da carga de incêndio, que se determina ou por me-

dições ou em tabelas padronizadas, por coeficientes de ponderação γ . No EC1 (1995), o único coeficiente de ponderação explicitamente apresentado era 0,6 quando havia a instalação de chuveiros automáticos.

Nesta parte do histórico, deve ser citada a publicação SCHLIECH; CAJOT (1997). Primeiramente, por que ambos foram os coordenadores da comissão autora do EC1 na parte correspondente ao incêndio e, depois, porque Schleich antecipou a SILVA (1997), os principais resultados que seriam publicados. Esperava-se, pois, que a revisão do EC1 (1995) seguisse SCHLIECH; CAJOT (1997).

SCHLIECH; CAJOT (1997) prosseguiram na pesquisa à procura

Tabela 4Valores para γ_{s1} (IT 8, 2004)

Área de piso do compartimento (m ²)	Altura da edificação (m)						
	Térrea	h ≤ 6	6 < h ≤ 12	12 < h ≤ 23	23 < h ≤ 30	30 < h ≤ 80	h > 80
≤ 750	1,00	1,00	1,10	1,20	1,25	1,45	1,60
≤ 1000	1,05	1,10	1,15	1,25	1,35	1,65	1,85
≤ 2500	1,10	1,25	1,40	1,70	1,85	2,60	3,00
≤ 5000	1,15	1,45	1,75	2,35	2,65	3,00	3,00
≤ 7500	1,25	1,70	2,15	3,00	3,00	3,00	3,00
≤ 10000	1,30	1,90	2,50	3,00	3,00	3,00	3,00
≤ 20000	1,60	2,80	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
≥ 65000	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00

Tabela 5

Fator K em função da inércia térmica do elemento de compartimentação (EC1, 2002)

$b = \sqrt{\rho \cdot c \cdot \lambda}$ (J/m ² .s ^{1/2} .°C)	K (min.m ² /MJ)
b > 2500	0,040
720 ≤ b ≤ 2500	0,055
b < 720	0,070

Tabela 6

Valores do fator “M” em função do material estrutural (EC1, 2002)

Material da estrutura	M
Concreto armado	1,0
Aço com revestimento contra fogo	1,0
Aço sem revestimento contra fogo	13,7 x V
Estruturas mistas, madeira, alvenaria estrutural	Não se aplica

de mais bem explicitar o coeficiente de ponderação γ e propuseram (SILVA, 1997 e SILVA, 2004) que γ fosse o resultado do produto $\gamma_n \cdot \gamma_{s1} \cdot \gamma_{s2}$. γ_n e γ_{s2} serão comentados mais adiante neste artigo. Neste item do texto o interesse recai sobre γ_{s1} .

γ_{s1} é um coeficiente de segurança que depende das consequências de um colapso. Segundo SCHLEICH; CAJOT (1997) deve respeitar a Tabela 2.

Como já mencionado, o Corpo de Bombeiros de São Paulo incluiu o método do tempo equivalente na Instrução Técnica nº8 de 2001, com base no EC1 (1995) atualizando o procedimento, tendo por base SCHLEICH; CAJOT (1997). O primeiro autor deste trabalho fez essa sugestão ao CB. Dois aspectos devem ser ressaltados. O primeiro é que o CB decidiu empregar o método do tempo equivalente, no entanto, impôs um limite máximo de redução de 30 min no TRRF recomendado pela IT 8 e outro é que o CB aproveitou a Tabela 2 proposta por SCHLEICH; CAJOT (1997), porém na forma da Tabela 3 (VARGAS, SILVA, 2005).

As alterações de alguns valores e a transformação de número de pavimentos em alturas em metros feitas pelo CBPMESP não trazem grande alteração de resultados, no entanto, deve-se atentar que na linha correspondente à altura, ao invés de valores absolutos, foi incluído o símbolo “ ξ ” o que significa que não é permitida a interpolação e, por decorrência, a depender da altura do compartimento, haverá saltos nos resultados, tornando irreal o resultado do cálculo. Isso foi resolvido mais tarde com a alteração do fator g_{s1} de tabela para a Equação 12.

SCHLEICH; CAJOT (1997) também informaram que a Equação 5 apresentava bons resultados para concreto e aço revestido, mas não para aço sem revestimento. Concreto protendido, madeira e alvenaria estrutural não foram mencionados nessa publicação.

2.2 O método do tempo equivalente conforme EC1 (2002)

Após SCHLEICH; CAJOT (1997), esses autores pesquisaram mais sobre o assunto e o EC1 (2002) não foi publicado exatamente conforme descrito em SCHLEICH; CAJOT (1997). A Equação 5 foi transformada na Equação 6.

$$t_e = K W q_{fi,d} M \tag{6}$$

Na Equação 6, K é um fator relacionado a características físicas e térmicas dos elementos de compartimentação, conforme Tabela 5, W é um fator relacionado à ventilação do ambiente e à altura do compartimento, conforme Equação 7, M é um fator de correção que depende do material estrutural, conforme Tabela 6 e $q_{fi,d}$ é o valor de cálculo da carga de incêndio por área de piso (MJ/m²), determinado conforme Equação 8.

$$W = \left(\frac{6}{H}\right)^{0,3} \left[0,62 + \frac{90 \left(0,4 - \frac{A_v}{A_f}\right)}{1 + 12,5 \left(1 + 10 \frac{A_v}{A_f}\right) \cdot \frac{A_h}{A_f}} \right] \geq 0,5 \tag{7}$$

A Equação 7 tem os seguintes limites de validade: $W \geq 0,5$; $0,025 \leq A_v/A_f \leq 0,25$ e $12,5[1 + 10 (A_v/A_f)] \geq 10$.

Na Tabela 6, $V = \frac{A_v}{A_v} \sqrt{h}$.

$$q_{fi,d} = q_{fi,k} \times \gamma_n \times \gamma_{s1} \times \gamma_{s2} \tag{8}$$

Na Equação 8, γ_n é determinado pela Equação 9 e os valores de γ_{s1} e γ_{s2} , respectivamente, são determinados pelas Tabelas 7 e 8.

Tabela 7

Valores de γ_{s1} em função da área do compartimento (EC1, 2002)

Área do compartimento (m ²)	γ_{s1}
25	1,10
250	1,50
2500	1,90
5000	2,00
10000	2,13

Tabela 8

Valores de γ_{s2} em função do risco de ativação (EC1, 2002)

γ_{s2}	Exemplos de ocupação
0,78	Galeria de arte, parque aquático, museu.
1,0	Escritório, residência, hotel, indústria de papel
1,22	Indústria de máquinas e motores
1,44	Laboratório químico, oficina de pintura
1,66	Indústria de fintas ou explosivos

Tabela 9

Fatores de ponderação das medidas de segurança contra incêndio (EC1, 2002)

γ_{n1}	γ_{n2}			γ_{n3}	γ_{n4}	γ_{n5}
	Chuveiros automáticos			Detecção automática		
Existe	Suprimentos de água independentes					
	0	1	2	Calor	Fumaça	Transmissão automática
0,61 (*)	1,0	0,87	0,7	0,87 (*)	0,73 (*)	0,87 (*)

γ_{n6}	γ_{n7}	γ_{n8}	γ_{n9}	γ_{n10}	γ_{n11}
Brigada contra incêndio		Rotas de fuga (existe e é desobstruída)	Escada pressurizada	Exaustão de fumaça nas escadas	Dispositivos de combate
Interna	Externa				
0,61 (*)	0,78 (*)	Sim - 1,0 Não -1,5	Sim - 0,9 (*)	Sim - 1,0 Não -1,5	Sim - 1,0 Não -1,5

(*) na ausência, $\gamma_{ni} = 1,0$

Talvez a mais importante alteração do EC1 (2002) foi a exclusão da altura da edificação no aumento do risco de incêndio, admitindo, pois, irrestrita confiabilidade na compartimentação vertical. Na Equação 9, γ_{ni} são fatores relacionados às medidas de segurança contra incêndio conforme Tabela 9.

$$\gamma_n = \prod_{i=1}^{11} \gamma_{ni} \tag{9}$$

Para valores da carga de incêndio específica característica, o EC1 (1995) recomenda a Tabela 10.

3. Procedimento para redução do TRRF

LAW (1997) conclui que os métodos do tempo equivalente apresentados até então, e mesmo o do Eurocode, não são satisfatórios

Tabela 10

Carga de incêndio específica em MJ/m² (EC1, 2002)

Ocupação	Média	80% frátil*
Residência	780	948
Hospital (quarto)	230	280
Hotel (quarto)	310	377
Biblioteca	1500	1824
Escritório	420	511
Escola (sala de aula)	285	347
Shopping Center	600	730
Teatro/cinema	300	365
Área de embarque	100	122

* Significa que não é excedido durante 80% da vida útil da construção. É o valor recomendado pelo EC1 (1995) para uso em projeto

e necessitam ser mais bem avaliados.

O Eurocode permite que cada país possa adequar a norma nacional à sua realidade. Por exemplo, no caso do método do tempo equivalente, a versão portuguesa e britânica do EC1 apresentam formas diferentes do método do tempo equivalente. Na versão portuguesa (EUROCÓDIGO 1, 2010), tem-se $g_n \cdot g_{s1} \cdot g_{s2} = 1$. A versão do Eurocode 1 publicada no Reino Unido, BS (2007), estende o uso do método do tempo equivalente a todos os materiais estruturais e inclui a altura da edificação na análise do risco, entre outros detalhes.

No Brasil, por meio da ABNT NBR 15200:2012, ABNT NBR 14323:2013 e a IT 8 (2011) bem como outras instruções técnicas de Corpos de Bombeiros de outros estados, há um procedimento para a redução do TRRF em construções com boas características de segurança contra incêndio. Embora ele leve o nome de método do tempo equivalente, não é o método do tempo equivalente original do Eurocode, mas sim um procedimento que se aproveita de formulação retirada de diversas normas e publicações internacionais.

Lembrando-se que a Instrução Técnica CB-02-33 de 1994 permitia a redução do TRRF em 30 minutos para edificações com chuveiros automáticos, o novo procedimento foi um grande avanço. Ele procurou solucionar algumas falhas. Por um lado, não basta a existência de chuveiros automáticos para garantir a segurança. Por outro lado, edifícios sem chuveiros podem ser seguros, a depender de outras características do edifício, tais como, carga de incêndio, aberturas, pé-direito etc. Foi com esse objetivo que em 2001, a IT 8 do CBP-MESP incluiu o método do tempo equivalente com diversas modificações em relação ao original. As ABNT NBR 15200:2012 e ABNT NBR 14323:2013 incluíram em seu texto tal procedimento, ainda com o nome de método do tempo equivalente.

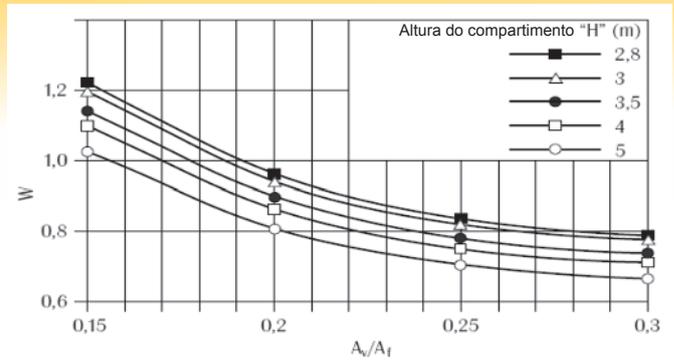
Passa-se a detalhar o procedimento recomendado pela ABNT NBR 15200:2012.

O tempo requerido de resistência ao fogo de elementos estruturais de concreto armado de um compartimento pode ser determinado pela Equação 10, não podendo reduzir mais do que

30 min no TRRF determinado pela Tabela A.1 da ABNT NBR 14432:2001 ou aos requeridos pelas instruções técnicas dos corpos de bombeiros estaduais.

$$t_e = 0,07 \times q_{fi,k} \times W \times \gamma_n \times \gamma_{s1} \times \gamma_{s2} \quad (10)$$

Na Equação 10, o valor 0,07 nada mais é do que o máximo valor de K, fator relacionado a características físicas e térmicas dos elementos de compartimentação, apresentado na Tabela 5. O valor de $q_{fi,k}$ pode ser determinado por meio de medições locais ou usar valores padronizados conforme ABNT NBR 14432:2001 ou instru-



Fonte: Silva (2012)

Figura 4
Valores de W em função da ventilação A_v/A_f e da altura do compartimento H

Tabela 11
Valores de cargas de incêndio específicas (IT14, 2011)

Ocupação/uso	Descrição	Filler
Residencial	Apartamentos, casas térreas, sobrados, pensionatos	300
Serviços de hospedagem	Hotéis, motéis, apart-hotéis	500
Comercial varejista	Automóveis	200
	Drogarias	1000
	Livrarias	1000
	Lojas de departamentos (shopings)	800
	Papelarias	700
	Supermercados (vendas)	600
	Tapetes	800
Serviços profissionais, pessoais e técnicos	Agências bancárias	300
	Agências de correios	400
	Escritórios	700
	Oficinas elétricas	600
	Oficinas mecânicas	200
Educativa e cultura física	Academias	300
	Creches	300
	Escolas em geral	300
Locais de reunião pública	Bibliotecas	2000
	Cinemas ou teatros	600
	Clubes sociais, boates	600
	Estações, terminais de passag.	200
	Igrejas	200
	Museus	300
	Restaurantes	300
Serviços automotivos	Estacionamentos	200
	Oficinas	300
Serviços de saúde e institucionais	Asilos	350
	Clínicas e consultórios médicos ou odontológicos	300
	Hospitais	300
	Presídios	200
	Quartéis	450

Ver tabela completa na IT 14 (2011)

Tabela 12

Fator de ponderação γ_n das medidas de segurança contra incêndio (ABNT NBR 15200:2012; IT8, 2011)

Valores de γ_{n1} , γ_{n2} e γ_{n3}		
Existência de chuveiros automáticos γ_{n1}	Brigada contra incêndio γ_{n2}	Existência de detecção automática γ_{n3}
0,60	0,90	0,9

ções técnicas dos corpos de bombeiros. Alguns valores são apresentados na Tabela 11. W segue a mesma Equação 7, desconsiderando-se aberturas horizontais, remetendo, pois à Equação 11.

$$W = \left(\frac{6}{H}\right)^{0,3} \left[0,62 + 90 \left(0,4 - \frac{A_v}{A_f}\right)\right] \geq 0,5 \quad (11)$$

Observando-se o limite $0,025 \leq A_v/A_f \leq 0,30$

O limite superior de A_v/A_f foi aumentado na norma brasileira em vista do gráfico apresentado na Figura 4.

A Tabela 11, retirada da IT 14 (2011), tem por base a ABNT NBR 14432:2001, que por sua vez seguiu as normas austríacas TRVB A-100 (1987) e TRVB A-126 (1987). As referidas normas austríacas se basearam no método de Gretener (SIA, 1996).

Em 1960 o engenheiro Max Gretener, diretor da Associação de Proteção Contra Incêndio da Suíça, iniciou estudos sobre o cálculo do risco de incêndio em indústrias e grandes edifícios. Seu método, publicado em 1965, visava atender às necessidades das companhias de seguro. Em 1968 o Corpo de Bombeiros suíço propôs adotar esse mesmo método, também, para avaliar os meios de proteção contra incêndio das edificações. Em 1984, a SIA (Société Suisse des Ingénieurs et des Architectes) publicou o documento SIA-81 "Método de avaliação de risco de incêndio", tendo por base os trabalhos de Gretener e revisado por um grupo de especialistas das companhias de seguro privadas e estatais e da SIA. Esse grupo adaptou o método ao então conhecimento e experiência suíça e internacional. Em dezembro de 1996 o SIA-81 foi revisado e atualizado, SIA 81 (1996). Segundo Cajot et al. (s.d.) os resultados desse trabalho são demonstráveis cientificamente, apesar de nem todos terem

sido demonstrados.

O coeficiente de ponderação γ_n é determinado pela Equação 9, no entanto, de forma simplificada como pode ser visto na Tabela 12.

Na ausência de algum meio de proteção, indicado na Tabela 12, adotar γ_{ni} igual a 1.

O coeficiente de ponderação γ_{s1} é determinado pela Equação 12, em que A_f é a área do piso do compartimento, em metros quadrados, e h é a distância entre o piso habitável mais elevado e o mais inferior (podendo ser no subsolo) da edificação, em metros. Para $gs_1 < 1$, deve ser adotado $gs_1 = 1$ e para $gs_1 > 3$, pode-se adotar $gs_1 = 3$.

Tendo em vista que na versão final do EC1 (2002) a influência da altura havia sido retirada do método do tempo equivalente e que as tabelas recomendadas nas IT8 (2001 e 2004) apresentavam descontinuidades indesejadas e irreais, a Equação 12 foi criada tendo por base os seguintes princípios: manter a influência da altura, que houvera sido retirada no EC1 (2002); reduzir um pouco a influência da altura, não diferir muito dos resultados obtidos com o método recomendado pela IT8 (2001, 2004) do Corpo de Bombeiros de São Paulo, fundamentado nas propostas da revisão do Eurocode; adotar um valor limite pouco superior ao anterior, que era 2,5, não haver descontinuidades e ser de simples utilização. Apesar de haver algumas diferenças nos resultados obtidos pela Equação 12 e as tabelas da IT 8, os valores finais dos TRRF das edificações são muito similares conforme mostrado em SILVA (2008).

$$\gamma_{s1} = 1 + \frac{A_f \cdot (h + 3)}{10^5} \quad (12)$$

O coeficiente de ponderação γ_{s2} tem a mesma função daquele recomendado pelo EC1 (2002), ou seja, considerar o risco de ativação de incêndio. Segundo SCHLEICH; CAJOT (1997), o coeficiente γ_{s2} associado ao risco de ativação do incêndio teve origem no método de Gretener para análise de risco de incêndio em edificações, constante do documento SIA-81 (1996). O EC1 (2002) não apresenta exemplos suficientes de edificações. A Tabela 9 foi completada, então, com base no método de Gretener (SIA-81, 1996), gerando a Tabela 13.

Além das limitações já citadas, a favor da segurança, impôs-se também que o tempo determinado por meio do método apresentado não pode ser inferior a 15 min e que $q_{f,k} \gamma_n \gamma_s \geq 300 \text{ MJ/m}^2$.

4. Compartimentação

Tabela 13

Valores de γ_{s2} em função do risco (r) de ativação do incêndio (ABNT NBR 15200:2012; IT8, 2011)

γ_{s2}	r	Exemplos de ocupação
0,85	Pequena	Escola, galeria de arte, parque aquático, igreja, museu
1,0	Normal	Biblioteca, cinema, correio, consultório médico, escritório, farmácia, frigorífico, hotel, livraria, hospital, laboratório fotográfico, indústria de papel, oficina elétrica ou mecânica, residência, restaurante, supermercado, teatro, depósitos (produtos farmacêuticos, bebidas alcoólicas, venda de acessórios de automóveis) e depósitos em geral
1,2	Média	Montagem de automóveis, hangar, indústria mecânica
1,5	Alta	Laboratório químico, oficina de pintura de automóveis

É importante ressaltar que o procedimento descrito no item 3 deste texto, deve ser usado para cada compartimento. Dessa forma, o conceito de compartimento deve estar muito claro ao usuário. Compartimento é a edificação ou parte dela, compreendendo um ou mais cômodos, espaços ou pavimentos, construídos para evitar a propagação do incêndio de dentro para fora de seus limites, incluindo a propagação entre edifícios adjacentes, quando aplicável. Elementos de compartimentação são os elementos construtivos que vedam o compartimento e devem possuir, simultaneamente, capacidade de isolamento térmico, estanqueidade e serem estáveis estruturalmente.

A compartimentação horizontal é aquela que impede a propagação horizontal entre compartimentos no mesmo pavimento. Limita a propagação do fogo, restringindo as perdas e facilitando a atividade de combate ao incêndio. A IT9 (2011) limita as áreas máximas para compartimentos (compartimentação horizontal), em função do uso e altura da edificação.

A compartimentação vertical é aquela que impede a propagação vertical de gases ou calor de um pavimento para o imediatamente superior. É uma das medidas mais eficientes para a segurança contra incêndio. Ela é também essencial no cálculo das estruturas em incêndio.

A compartimentação vertical inclui: fachada com parapeito-verga ou marquise/aba, enclausuramento de escadas de emergência, lajes com espessura mínima de forma a respeitar isolamento e estanqueidade e selagem (firestops) para vedar toda e qualquer ligação vertical entre pavimentos, tais como passagem de tubulações, dutos, shafts etc.

Conforme a legislação do Estado de São Paulo (SP, 2011), a compartimentação vertical é exigida para edifícios residenciais, de escritórios ou hotéis e outras ocupações, para alturas de incêndio superiores a 12 m, exceto para hospitais em que a altura mínima é de 6 m. Demais detalhes e exigências sobre compartimentação podem ser vistas nas instruções técnicas dos corpos de bombeiros ou em SILVA (2014).

Outro aspecto importante é a distância entre fachadas. Essa distância deve ser calculada de tal forma que impeça a passagem por radiação de um eventual incêndio de uma fachada para outra em outra edificação, ou conforme o caso da mesma edificação (NFPA, 2012; IT7, 2011; SILVA, 2012; SILVA, 2014). Caso essa distância seja menor, o compartimento se estenderá para o outro edifício ou outro andar do mesmo edifício.

Em resumo, para se aplicar corretamente o procedimento redutor do TRRF, devem ser verificados diversos aspectos ligados à arquitetura e não somente aplicar a Equação 10.

5. Coeficientes de ponderação

Sempre que se emprega um método de avaliação de risco, se analisa uma modelagem de incêndio ou qualquer outro procedimento relacionado a incêndio, deve-se introduzir segurança, como é comum na engenharia de estruturas. No Brasil, os coeficientes de ponderação para tais estudos não estão normatizados, exceto para o procedimento de redução do TRRF, também conhecido por método do tempo equivalente. Enquanto não houver uma pesquisa mais apurada sobre isso, os autores re-

comendam seguir os coeficientes de ponderação do método do tempo equivalente.

Deve ser ressaltado que a introdução de segurança no método do tempo equivalente não se restringe aos γ_n , γ_{s1} e γ_{s2} . A restrição de se limitar a redução a 30 min em relação ao TRRF tabelado (aqui chamado de $TRRF_{tab}$) também deve ser considerada.

Dessa forma, o TRRF, já incluindo o método do tempo equivalente e essa restrição, pode ser reescrito conforme Equação 13, em que t_e é determinado pela Equação 10 e F é um fator de ajuste para levar em conta o redutor máximo de 30 min.

$$RF = t_e \times F \tag{13}$$

O procedimento para redução do TRRF pode ser, analiticamente, interpretado da seguinte forma:

se $t_e \leq TRRF_{tab} - 30 \text{ min}$, $TRRF = TRRF_{tab} - 30 \text{ min}$

se $TRRF_{tab} - 30 \text{ min} < t_e \leq TRRF_{tab}$, $TRRF = t_e$

se $t_e > TRRF_{tab}$, $TRRF = TRRF_{tab}$

A partir dessas considerações, obtêm-se:

$$\text{se } t_e \leq TRRF_{tab} - 30 \text{ min}, F = \frac{TRRF_{tab} - 30 \text{ min}}{t_e}$$

$$\text{se } TRRF_{tab} - 30 \text{ min} < t_e \leq TRRF_{tab}, F = 1$$

$$\text{se } t_e > TRRF_{tab}, F = \frac{TRRF_{tab}}{t_e}$$

Para o procedimento de redução do TRRF é irrelevante se empregar o fator F ou a Equação 10, tomando o cuidado de se limitar em 30 min a redução. No entanto, em outros métodos, por exemplo, considerar-se uma curva temperatura-tempo do incêndio de forma mais realística tal qual as curvas paramétricas EC1 (2002), adotar-se o fator F, significa que se estará mantendo o mesmo nível de segurança do único método normatizado no Brasil.

6. Conclusões

Desde a década de 1920, diversos pesquisadores buscam um valor de tempo que possa ser usado em conjunto com a curva-padrão, de forma a refletir a severidade de incêndios reais. Trata-se do método do tempo equivalente.

O método do tempo equivalente mais recente foi normatizado pelo Eurocode e é um método para a determinação do TRRF. No Brasil, o método europeu não foi aceito, por não incluir a altura do edifício em sua formulação.

No Brasil, o “método do tempo equivalente” normatizado não é uma forma de se determinar o TRRF, como o europeu, mas um procedimento para redução dos valores de TRRF exigidos pelo Corpo de Bombeiros. Não devem, pois, serem confundidos. Neste trabalho apresentaram-se as origens de ambos os métodos.

Não basta empregar a formulação normatizada no Brasil para a redução do TRRF, mas também deve ser analisado se a solução arquitetônica permite o seu uso.

No Brasil, a introdução de segurança nos modelos de incêndio não é normatizada. Sugere-se que se empreguem os coeficientes de ponderação deduzidos neste trabalho, a fim de manter o mesmo nível de segurança do procedimento brasileiro para a redução do TRRF.

7. Agradecimentos

Os autores agradecem à CAPES Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, ao CNPq - Conselho Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento Científico e à FAPESP Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo.

8. Referências bibliográficas

- [1] AMERICAN SOCIETY TESTING AND MATERIALS. Standard test methods for fire tests of building construction and materials. ASTM E119-00a. ASTM. Philadelphia, 2000.
- [2] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15200: Projeto de estruturas de concreto em situação de incêndio. Rio de Janeiro, 2012.
- [3] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14323: Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios em situação de incêndio. 2013.
- [4] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos das edificações. NBR 14432. Rio de Janeiro, 2001.
- [5] BRITISH STANDARDS INSTITUTION. Fire tests on building materials and structures — Part 22: Methods for determination of the fire resistance of non-loadbearing elements of construction. BS 476-22. BSI. London, 1987.
- [6] BRITISH STANDARDS. PD 6688-1-2:2007 Background paper to the UK National Annex to BS EN 1991-1-2. 2007.
- [7] CAJOT, L.-G.; SCHLEICH, J.-B.; FONTANA M.; SCHWEPPE H.; KINDMANN R.; KIRCHNER, U. Accidental actions: fire influence of the active fire protection measures. Publications of the Profil ARBED: Luxembourg, [s.d.].
- [8] COOPER, L.Y.; STECKLER, K.D. Methodology for Developing and Implementing Alternative Temperature-Time Curves for Testing the Fire Resistance of Barriers for Nuclear Power Plant Applications, NIST. National Institute of Standards and Technology. Gaithersburg. 1996.
- [9] COSTA, C. N. Dimensionamento de elementos de concreto armado em situação de incêndio. Tese de doutorado defendido junto à Escola Politécnica. São Paulo, 2008.
- [10] DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG. Structural fire protection in industrial buildings. DIN 18230. Part 1: Analytically required fire resistance time. [Translated from the original in German]. Berlin, 1987.
- [11] DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG. Structural fire protection in industrial buildings – Part 1: DIN 18230-1. DIN. Berlin, 1998.
- [12] EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. EN 1991-1-2: EUROCODE 1: Actions on structures – Part 1-2: General actions – Actions on structures exposed to fire. Brussels: CEN, 2002.
- [13] EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. EN 1991-1-2: EUROCODE 1: Actions on structures – Part 2-2: Actions on structures exposed to fire. Brussels: CEN, 1995.
- [14] GEWAIN R. G.; IWANKIW N. R.; ALFAWAKHIRI F. Facts for Steel Buildings – Fire. American Institute of Steel Construction. Chicago, 2003.
- [15] HARMATHY, T. Z. On the equivalent fire exposure. Fire and Materials. Vol. 11. NRCC: Ottawa, 1987.
- [16] INSTITUTO PORTUGUÊS DE QUALIDADE. NP EN1991-1-2. Eurocódigo 1: Acções em estruturas-Parte 1-2 Acções Gerais. Acções em estruturas expostas ao fogo. 2010
- [17] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. Fire-Resistance Tests – Elements of Building Construction – Part 1.1: General Requirements for Fire Resistance Testing. ISO 834. ISO/TC: Geneva, 1990. [Revision of first edition (ISO 834:1975)]
- [18] LAW, M. A review of formulae for T-equivalent. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON FIRE SAFETY SCIENCE. Melbourne. Proceedings... Melbourne: IAFSS, 1997.
- [19] LIGA FEDERAL DE COMBATE A INCÊNDIO DA ÁUSTRIA - “Brandschutztechnische Kennzahlen verschiedener Nutzungen, Langerungen, Lagergüter” (Parâmetros técnicos relativos à proteção a incêndio para diversas aplicações) -. TRVB A-126. 1987.
- [20] LIGA FEDERAL DE COMBATE A INCÊNDIO DA ÁUSTRIA - “Brandschutzeinrichtungen Rechnerischer Nachweis” (Dispositivo de proteção a incêndio. Cálculo) - TRVB A-100. 1987.
- [21] MELÃO, A. R. Sobre o dimensionamento de elementos estruturais de aço em situação de incêndio. Dissertação de mestrado apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. 2016.
- [22] NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION - NFPA 80a. Recommended practice for protection of buildings from exterior fire exposures. Quincy. 2012
- [23] NYMAN, J. F. Equivalent Fire Resistance Ratings of Construction Elements Exposed to Realistic Fires, Tese (Mestrado), Department of Civil Engineering University of Canterbury Christchurch, New Zealand. 2002
- [24] PETERSSON, O.; MAGNUSSEN, S.; THOR, J.; Fire engineering design of steel structures. Swedish Institute of Steel Construction. Stockholm, 1976.
- [25] SÃO PAULO (Estado). Decreto nº 56.819, de 10 de março de 2011. Institui o regulamento de segurança contra incêndio das edificações e áreas de risco no Estado de São Paulo e estabelece outras providências. Diário Oficial do Estado de São Paulo, São Paulo, p 1-11. 11 de março de 2011.
- [26] SÃO PAULO (Estado). Secretaria de Estado dos Negócios da Segurança Pública. Polícia Militar. Corpo de Bombeiros. Instrução Técnica n. 7: Separação entre edificações (isolamento de risco). São Paulo, 2011.
- [27] SÃO PAULO (Estado). Secretaria de Estado dos Negócios da Segurança Pública. Polícia Militar. Corpo de Bombeiros. Instrução Técnica. IT 08. Segurança estrutural nas edificações – resistência ao fogo dos elementos de construção. São Paulo, 2001.
- [28] SÃO PAULO (Estado). Secretaria de Estado dos Negócios da Segurança Pública. Polícia Militar. Corpo de Bombeiros. Instrução Técnica. IT 08. Segurança estrutural nas edificações – resistência ao fogo dos elementos de construção. São Paulo 2004.
- [29] SÃO PAULO (Estado). Secretaria de Estado dos Negócios da Segurança Pública. Polícia Militar. Corpo de Bombeiros. Instrução Técnica n. 8: Resistência ao fogo dos elementos de construção. São Paulo, 2011.
- [30] SÃO PAULO (Estado). Secretaria de Estado dos Negócios

- da Segurança Pública. Polícia Militar. Corpo de Bombeiros. Instrução Técnica n. 9: Compartimentação horizontal e compartimentação vertical. São Paulo, 2011.
- [31] SÃO PAULO (Estado). Secretaria de Estado dos Negócios da Segurança Pública. Polícia Militar. Corpo de Bombeiros. Instrução Técnica n. 14. Carga de Incêndio nas Edificações e Áreas de Risco. Instrução Técnica do Corpo de Bombeiros. São Paulo, 2011.
- [32] SOCIÉTÉ SUISSE DES INGÉNIEURS ET DES ARCHITECTES (SIA-81). Evaluation du risque d'incendie. Méthode de calcul. Documentation n°81. Zürich. 1984.
- [32] SOCIÉTÉ SUISSE DES INGÉNIEURS ET DES ARCHITECTES (SIA-81). Evaluation du risque d'incendie. Méthode de calcul. Documentation n°81. Zürich. 1996.
- [33] SCHLEICH, J.-B.; CAJOT, L.-G. Global fire safety concept for buildings. La Revue de Métallurgie – CIT. Vol. 11. EDP Science, Paris, 1997.
- [34] SILVA, V. Pignatta. Estruturas de aço em situação de incêndio. Tese de doutorado em Engenharia Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 1997.
- [35] SILVA, V. Pignatta. Estruturas de aço em situação de incêndio. 256 p. Zigurate Editora. São Paulo. 2004.
- [36] SILVA, Valdir Pignatta. Sobre o coeficiente γ_{s1} do método do tempo equivalente para a determinação do tempo requerido de resistência ao fogo das estruturas. Revista Minerva, v. 5, p. 315-321, São Carlos. 2008.
- [37] SILVA, V. Pignatta. Projeto de Estruturas de Concreto em Situação de Incêndio: conforme ABNT NBR 15200:2012. Blucher. São Paulo. 2012
- [38] SILVA, Valdir Pignatta. Segurança Contra Incêndio em Edifícios - Considerações para o Projeto de Arquitetura. Blucher. v. 1. 129p. São Paulo. 2014.
- [39] THOMAS, G.C., BUCHANAN, A.N., FLEISCHMANN, C.M. Structural Fire Design: The Role of Time Equivalence. In: Proceedings of The Fifth International Symposium, Christchurch, 1997.
- [40] VARGAS, Mauri Resende ; SILVA, Valdir Pignatta . Resistência ao fogo das estruturas de aço. Centro Brasileiro da Construção em Aço - CBCA. v. 1. 76p. Rio de Janeiro: 2005.

MJ/m²

q_w é o valor da carga de incêndio expressa em quilograma de madeira equivalente por área de piso

t_e é o tempo equivalente (min)

W é um fator relacionado à ventilação do ambiente e a altura do compartimento

γ_{s1} é um coeficiente de segurança que depende das consequências de um incêndio

γ_{s2} é um coeficiente de ponderação que considera o risco de ativação de um incêndio

γ_n é o coeficiente de ponderação relacionado a dispositivos de proteção ativa

λ é a condutividade térmica do elemento de compartimentação

ρ é a massa específica do elemento de compartimentação

LISTA DE SÍMBOLOS

A_f é a área de piso do compartimento

A_t é a área total do compartimento (paredes, teto, piso e aberturas)

A_h é a área de ventilação horizontal (aberturas na cobertura, lanternins e similares)

A_v é a área de ventilação vertical (janelas, portas e similares) para o exterior

c é o calor específico do elemento de compartimentação

h é a altura de incêndio da edificação

h_m é a altura média das aberturas para o exterior do compartimento

H é a altura do compartimento

K é um fator relacionado a características físicas e térmicas dos elementos de compartimentação

M é um fator de correção que depende do material estrutural

$q_{fi,k}$ ou simplesmente q_{fi} , é o valor característico da carga de incêndio por unidade de área de piso em MJ/m²

$q_{fi,d}$ é o valor de cálculo da carga de incêndio por área de piso em