

Comparação Entre a Eficiência dos Métodos Tabular e Gráfico na Determinação do Tempo Requerido de Resistência ao Fogo em Vigas Contínuas

Jefferson Milton Muller Martins¹

Elie Chahdan Mounzer²

Resumo

Este artigo apresenta um estudo cujo objetivo é comparar a eficiência dos métodos tabular e gráfico na determinação do tempo de resistência ao fogo (TRRF). A NBR 15200:2012, para a aplicação do método tabular apresenta tabelas que relacionam dimensões mínimas em função do TRRF e do tipo de elemento estrutural. Uma alternativa para o dimensionamento de vigas de concreto armado em situação de incêndio ao método tabular é o método gráfico que consiste na aplicação de gráficos que permitam a obtenção do TRRF após obter o parâmetro conhecido como momento relativo (μ_{fi}) e a disposição das armaduras na seção. Este trabalho tem como finalidade comparar essas metodologias de cálculo, por isso as vigas foram divididas em grupos conforme as condições de apoio, o comprimento do vão, a largura da seção e o valor do carregamento. A partir dos resultados encontrados, conclui-se que para as vigas contínuas, o método tabular apresentou valores de TRRF mais elevados na maioria dos casos, com exceção de carregamentos menores.

Palavras-chave: Método Gráfico, Método Tabular, TRRF, Incêndio.

1 Introdução

O concreto armado é um material largamente aplicado na construção civil, em função de características favoráveis como elevada durabilidade, ser moldável e permitir o monolitismo das construções. Além disso, o concreto endurecido é incombustível, não emite gases tóxicos, apresenta baixa condutividade térmica e elevada massividade à temperatura ambiente (quando comparados aos metais). Devido à estas propriedades, o concreto apresenta uma boa resistência ao fogo. Entretanto, o concreto armado possui características negativas e os danos causados em função de um incêndio podem ir desde uma descoloração ou manchas produzidas por fumaças até a destruição do elemento estrutural como consequência da perda da resistência mecânica. A estrutura heterogênea e complexa dificulta o estabelecimento de modelos precisos que determinem com segurança o comportamento de estruturas em concreto armado sujeitas a um incêndio em diversas situações. O incêndio é um evento considerado com baixa probabilidade de ocorrência. Em outros países, como os Estados Unidos, até o final do século XIX não

havia o registro de incêndios com acentuada quantidade de vítimas fatais, por isso, a segurança contra o fogo tinha por ênfase a proteção ao patrimônio.



Figura 1 – Triangle Shirtwaist Factory.

1 Mestrando em Engenharia Civil Universidade Federal Fluminense Niterói, Brasil jeffersonmilton@id.uff.br

2 Professor Adjunto, Universidade Federal Fluminense Niterói, Brasil.

No início do século XX ocorreram alguns incêndios entre os quais o incêndio da fábrica da Triangle Shirtwaist. O fogo na Triangle Shirtwaist provocou a morte de 146 pessoas, em maioria jovens mulheres imigrantes.

Os primeiros regulamentos sobre segurança contra incêndio no Brasil surgiram somente em meados de 1975, após a ocorrência dos incêndios dos edifícios Joelma e Andraus, em São Paulo (Figura 2). A partir de então a legislação vem sendo constantemente modernizada, exigindo, a adoção de medidas como a compartimentação horizontal e vertical em projetos de edifícios altos. Assim, são utilizados dispositivos, como portas corta-fogo, no interior dos edifícios, e peitoris e marquises nas fachadas. Com isso, em uma eventual situação de incêndio, é possível impedir que o fogo, iniciado em um determinado andar, se alastre para os demais.



Figura 2 – Incêndio no edifício Andraus.

2 Método de Pesquisa

2.1 Determinação do Tempo de Resistência ao Fogo

O Tempo Requerido de Resistência ao Fogo (TRRF) pode ser determinado através de algumas metodologias de cálculo. Entre as alternativas disponíveis estão o método tabular e o método gráfico. Este artigo propõe uma comparação entre os métodos como objetivo de verificar a eficiência de cada mé-

todo na determinação do TRRF. Para realizar essas comparações as vigas biapoiadas foram divididas em grupos o valor característico do carregamento uniformemente distribuído das vigas p_k varia entre 10 e 100 kN/m, o comprimento do vão e a seção transversal (somente foram consideradas seções T). Assim, com esses resultados encontrados é possível comparar a eficiência de cada método.

2.2 O Tempo de Resistência ao Fogo pelo Método Gráfico

No método gráfico o tempo requerido de resistência ao fogo é determinado em função de um parâmetro conhecido como momento relativo μ_{fi} e da disposição das armaduras na seção transversal. Assim, para obter o TRRF a partir da aplicação do método gráfico é necessário cumprir cinco etapas:

1. dimensiona-se a peça para a condição da temperatura ambiente (Figura 3).
2. a partir da área de aço encontrada no item anterior, determina-se o momento fletor resistente positivo à temperatura ambiente. Esse momento fletor resistente é determinado através do equilíbrio de forças na seção transversal. Neste artigo as vigas analisadas apresentam somente seção T, por isso, é necessário determinar a altura do bloco de concreto comprimido y . Para as peças que apresentam armadura positiva, se y for menor que a espessura da laje, a seção apresenta um comportamento como se fosse seção retangular, uma vez que há uma seção retangular de concreto trabalhando à compressão. Entretanto, se y cortar a largura da viga, esta seção deve ser calculada como seção T.

$$F_{sd,fi} = \frac{f_{yk}}{\gamma_{s,fi}} \cdot \sum_{j=1}^n k_{s,\theta i} \cdot A_{si} \quad (1)$$

onde

$F_{sd,fi}$ – força resultante de cálculo na armadura em incêndio;

f_{yk} – resistência característica à tração do aço;

$\gamma_{s,fi}$ – coeficiente de ponderação da resistência do aço;

$k_{s,\theta}$ – fator de redução de resistência, à temperatura θ , da barra de aço;

A_{si} – área da barra de aço.

$$F_{cd,fi} = \frac{f_{ck}}{\gamma_{c,fi}} \cdot \sum_{j=1}^{m_{fi}} k_{c,\theta i} \cdot A_{cj} \quad (2)$$

onde

- $F_{cd,fi}$ – força resultante de cálculo na área de concreto;
- f_{ck} – resistência característica à compressão do concreto;
- $\gamma_{c,fi}$ – coeficiente de ponderação da resistência do concreto em incêndio;
- $k_{c,\theta}$ – fator de redução de resistência, à temperatura θ , do elemento finito comprimido j ;
- A_{cj} – área do elemento finito comprimido j .

$$F_{sd,fi} = F_{cd,fi} \quad (3)$$

$$M_{Rd,fi} = 0,85 \cdot F_{cd} \cdot z_{j,fi} \quad (4)$$

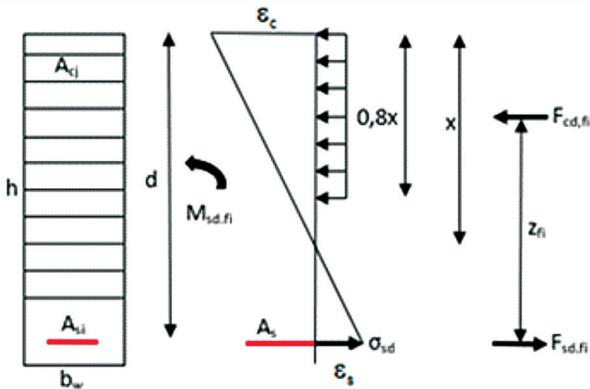


Figura 3 – Equilíbrio de forças resultantes na seção transversal em concreto armado.

3. Nesta etapa o valor de cálculo do carregamento uniformemente distribuído em situação de incêndio. Considerou-se 60% de ações permanentes e 40% de ações variáveis. Sabendo que se trata de uma viga presente em edifícios residencial, a NBR 8681:2003 determina que $\psi_2 = 0,3$. A partir da expressão que representa a combinação última das ações, determina-se o valor de $p_{d,fi}$ da viga em situação de incêndio, como

$$p_{d,fi} = 1,2 \cdot p_{G,k} + 0,7 \cdot \psi_2 \cdot p_{Q,k} \quad (5)$$

4. A partir dos resultados encontrados no item anterior, determina-se o momento fletor solicitante de cálculo em situação de incêndio
5. Após realizar os procedimentos anteriores, calcula-se o parâmetro conhecido como momento relativo (μ_{fi}), necessário para determinar o método gráfico. Em seguida, o gráfico compatível à seção de concreto analisada é selecionado e, a partir do valor de

μ_{fi} , associado à configuração de armaduras, determina-se o tempo de resistência ao fogo

$$\mu_{fi} = \frac{M_{Rd,fi}}{M_{Rd}} \quad (6)$$

2.3 O Tempo Requerido de Resistência ao Fogo pelo método tabular

No método tabular ocorre a imposição de um tempo fictício que a estrutura precisa resistir durante o incêndio. Esse tempo, conhecido como TRRF, é determinado empiricamente como resultado dos trabalhos realizados na área e posteriormente aplicados na norma. O método tabular consiste na associação entre o TRRF e os parâmetros conhecidos como a distância entre o eixo da armadura longitudinal e a face inferior do concreto exposta ao fogo c_1 e largura mínima b_{min} e ocorre em duas etapas (Figura 4):

1. com a finalidade de verificar a eficiência do resultado obtido por meio do método gráfico para o TRRF calcula-se esse mesmo TRRF por meio do método tabular. Inicialmente, deve-se determinar a distância entre o eixo da armadura longitudinal e a face interior do concreto exposta ao fogo

$$c_1 = c + \phi_t + \frac{\phi_l}{2} \quad (7)$$

onde

- c_1 – distância entre o eixo da armadura longitudinal inferior e a face de concreto aquecida;
- ϕ_t : diâmetro dos estribos ($\phi_t = 5\text{mm}$);
- ϕ_l – diâmetro da barra de aço da armadura longitudinal;
- c – cobrimento.

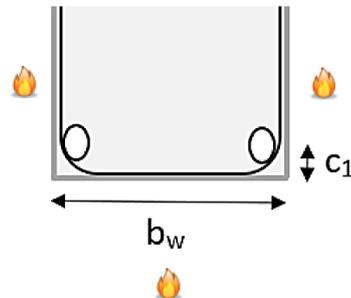


Figura 4 – Dimensões mínimas de largura (b_{min}) e distância entre o eixo da armadura longitudinal inferior e a face do concreto exposta ao fogo (c_1).

2. A partir do valor determinado de c_1 e da largura da seção, determina-se por inter-

médio da interpolação linear dos valores determinados na Tabela 1 na NBR 15200: 2012 que considera a condição de apoio das vigas (vigas biapoias).

2.4 Comparação Entre o Método Tabular e o Método Gráfico

A última etapa do processo é a comparação entre a eficiência dos métodos tabular e gráfico no dimensionamento de vigas de concreto armado em situação de incêndio de acordo com as condições estabelecidas inicialmente. Esse processo de avaliação de eficiência de metodologia é realizado confrontando o TRRF encontrado em cada método.

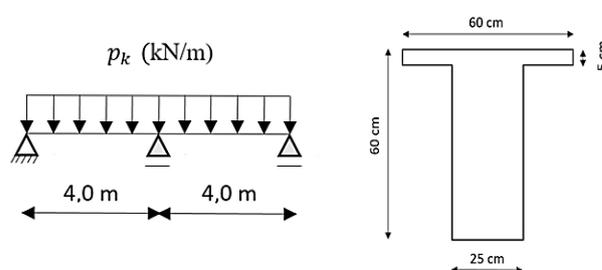


Figura 5 – Esquema estático da viga e a seção adotada.

Armadura longitudinal adotada em função do valor característico do carregamento uniformemente distribuído (Tabela 2).

3 Resultados Obtidos

3.1 Viga contínua, $L = 4,0 \text{ m}$ e $b_w = 25 \text{ cm}$

$$\mu = \frac{M_k \cdot \gamma_c}{b_f \cdot d_2 \cdot \sigma_{cdi}}$$

onde

Tabela 1 – Método tabular para dimensionamento de vigas contínuas de concreto armado em situação de incêndio

Dimensões mínimas para vigas contínuas ou vigas de pórticos					
TRRF (min)	Combinações de b_{min}/C_1 (mm/mm)				b_{wmin} (mm/mm)
	1	2	3	4	
30	80/15	160/12	–	–	80
60	120/25	190/12	–	–	100
90	140/37	250/25	–	–	100
120	190/45	300/35	450/35	500/30	120
180	240/60	400/50	550/50	600/40	140

Tabela 2 – Armadura longitudinal adotada em função do valor característico do carregamento uniformemente distribuído

p_k (kN/m)	M_k (kN.m)	μ	A_s^+	A_s^+
10	11,25	0,006	2,50	2 ϕ 12,5
20	22,50	0,012	2,50	2 ϕ 12,5
30	33,75	0,018	2,50	2 ϕ 12,5
40	45,00	0,024	2,72	4 ϕ 10,0
50	56,25	0,030	3,41	2 ϕ 16,0
60	67,50	0,036	4,10	6 ϕ 10,0
70	78,75	0,041	4,80	4 ϕ 12,5
80	90,00	0,047	5,50	2 ϕ 20,0
90	101,25	0,053	6,21	2 ϕ 20,0
100	112,50	0,059	6,92	6 ϕ 12,5

M_k – momento característico;
 γ_c – coeficiente de minoração para o concreto;
 b_f – largura da seção transversal;
 d^2 – altura efetiva da viga;
 σ_{cd} – tensão de cálculo do concreto;
 f_{yd} – tensão de cálculo do aço.

$$\omega = 1 - \sqrt{1 - 2 \cdot \mu}$$

$$A_s = \omega \cdot b_f \cdot d \cdot \frac{\sigma_{cd}}{f_{yd}}$$

Verificação da altura do bloco de concreto comprimido (Tabela 3).

$$F_{sd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} \cdot A_s$$

$$F_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} \cdot A_c$$

$$F_{sd} = F_{cd}$$

onde

F_{sd} e F_{cd} – força resultante de cálculo no aço e no concreto, respectivamente;

f_{yk} – resistência característica à tração do aço ($f_{yk} = 50$ kN/cm²)

f_{ck} – resistência característica à compressão do concreto ($f_{ck} = 25$ MPa);

γ_s e γ_c – coeficiente de minoração para o aço e o concreto, respectivamente;

A_s e A_c – área de aço e concreto, respectivamente;

α – igual a 0,85.

Momento fletor resistente para $y \leq h_f$ (Tabela 4).

$$M^{rd} = F_{sd} \cdot z$$

Tabela 3 – Verificação da altura do bloco de concreto comprimido

p_k (kN/m)	F_{sd} (kN)	F_{cd}/γ (kN/cm)	y (cm)	Seção T ou retangular
10	108,7	91,1	1,194	Seção Retangular
20	108,7	91,1	1,194	Seção Retangular
30	108,7	91,1	1,194	Seção Retangular
40	118,1	91,1	1,297	Seção Retangular
50	148,1	91,1	1,626	Seção Retangular
60	178,2	91,1	1,957	Seção Retangular
70	208,6	91,1	2,290	Seção Retangular
80	239,1	91,1	2,626	Seção Retangular
90	269,9	91,1	2,963	Seção Retangular
100	300,8	91,1	3,303	Seção Retangular

Tabela 4 – Momento fletor resistente para $y \leq h_f$

p_k (kN/m)	d (cm)	z (cm)	M_{rd} (kN.m)
10	56,38	55,78	60,63
20	56,38	55,78	60,63
30	56,38	55,78	60,63
40	56,50	55,85	65,95
50	56,20	55,39	82,00
60	56,50	55,52	98,95
70	56,38	55,23	115,20
80	56,00	54,69	130,77
90	56,00	54,52	147,14
100	56,38	54,72	164,63

onde

F_{sd} – força resultante de cálculo no aço;
 z – braço de alavanca.

A Tabela 5 apresenta TRRF (min) em função do método gráfico

$$p_{d,fi} = 1,2 \cdot p_{G,k} + 0,7 \cdot \psi_2 \cdot p_{Q,k}$$

onde

$p_{G,k}$ – carregamento característico para ação permanente;
 $p_{Q,k}$ – carregamento característico para ação variável;

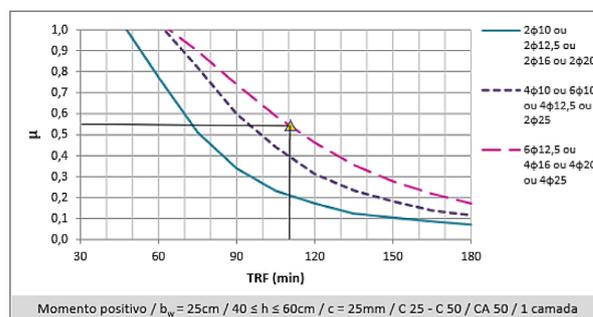


Figura 6 – Exemplo de aplicação do método gráfico para $\mu_{fi} = 0,549$ e $6\phi 12,5$

$$\mu = \frac{M_{sd,fi}}{M_{Rd}}$$

onde

Tabela 5 – TRRF (min) em função do método gráfico

$P_{d,fi}$ (kN/m)	$M_{sd,fi}$ (kN.m)	μ	TRRF (gráfico)
8,04	9,05	0,149	128 min
16,08	18,09	0,298	95 min
24,12	27,14	0,448	80 min
32,16	36,18	0,549	95 min
40,20	45,23	0,552	73 min
48,24	54,27	0,548	95 min
56,28	63,32	0,550	95 min
64,32	72,36	0,553	73 min
72,36	81,41	0,553	73 min
80,40	90,45	0,549	110 min

Tabela 6 – TRRF em função do método tabular e comparação com o método gráfico

p_k (kN/m)	c_1 (cm)	Método Tabular	Método Gráfico
		TRRF viga (min)	TRRF viga (min)
10	36,25	102	128
20	36,25	102	95
30	36,25	104	80
40	35,00	102	95
50	38,00	107	73
60	35,00	102	95
70	36,25	104	95
80	40,00	111	73
90	40,00	111	73
100	36,25	104	110

$M_{sd,fi}$ – momento solicitante em incêndio;
 M_{Rd} – momento resistente para temperatura ambiente.

A Tabela 6 apresenta o tempo de resistência ao fogo em função do método tabular e comparação do resultado obtido com o método gráfico.

$$c_1 = c + \phi_t + \frac{\phi_1}{2}$$

onde

c_1 – distância entre o eixo da armadura longitudinal e a face do concreto exposta ao fogo;

c – cobrimento;

ϕ_t – diâmetro dos estribos;

ϕ_1 – diâmetro da barra de aço.

A Figura 7 apresenta comparação entre TRRF em função do método adotado.

3.2 Viga contínua, $L = 4,00 \text{ m}$ e $b_w = 30 \text{ cm}$

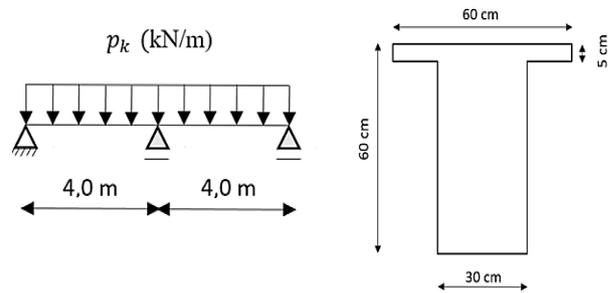


Figura 8 – Esquema estático da viga e a seção adotada.

A Tabela 7 apresenta a armadura longitudinal (A_s) adotada em função do carregamento.

A Tabela 8 apresenta a verificação da altura do bloco de concreto comprimido.

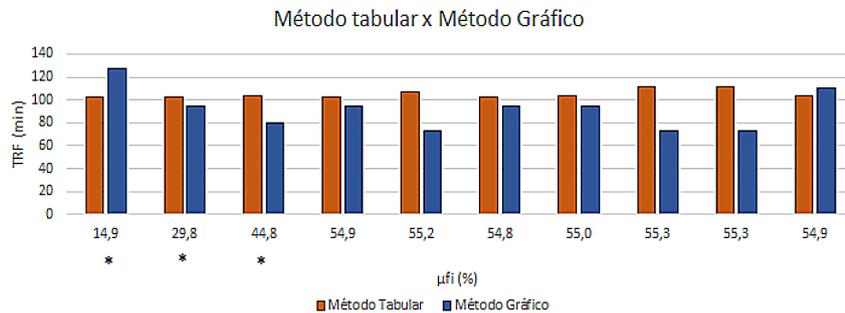


Figura 7 – Comparação entre TRRF em função do método adotado.

Tabela 7 – Armadura longitudinal adotada em função do valor característico do carregamento uniformemente distribuído

p_k (kN/m)	M_k (kN.m)	μ	A_s^+	A_s^+
10	11,25	0,006	2,93	4 ϕ 10,0
20	22,50	0,012	2,93	4 ϕ 10,0
30	33,75	0,018	2,93	4 ϕ 10,0
40	45,00	0,024	2,93	4 ϕ 10,0
50	56,25	0,030	3,41	2 ϕ 16,0
60	67,50	0,036	4,10	6 ϕ 10,0
70	78,75	0,041	4,80	4 ϕ 12,5
80	90,00	0,047	5,50	2 ϕ 20,0
90	101,25	0,053	6,21	2 ϕ 20,0
100	112,50	0,059	6,92	6 ϕ 12,5

Verificação da altura do bloco de concreto comprimido (Tabela 8).

Momento fletor resistente para $y \leq h_f$ (Tabela 9).

Na Tabela 10 TRRF (min) em função do método gráfico.

Tabela 8 – Verificação da altura do bloco de concreto comprimido

p_k (kN/m)	F_{sd} (kN)	F_{cd}/y (kN/cm)	y (cm)	Seção T ou retangular
10	127,4	91,1	1,399	Seção Retangular
20	127,4	91,1	1,399	Seção Retangular
30	127,4	91,1	1,399	Seção Retangular
40	127,4	91,1	1,399	Seção Retangular
50	148,3	91,1	1,628	Seção Retangular
60	178,3	91,1	1,957	Seção Retangular
70	208,7	91,1	2,292	Seção Retangular
80	239,1	91,1	2,626	Seção Retangular
90	270,0	91,1	2,965	Seção Retangular
100	300,9	91,1	3,304	Seção Retangular

Tabela 9 – Momento fletor resistente para $y \leq h_f$

p_k (kN/m)	d (cm)	z (cm)	M_{rd} (kN.m)
10	56,50	55,80	71,09
20	56,50	55,80	71,09
30	56,50	55,80	71,09
40	56,50	55,80	71,09
50	56,20	55,39	82,12
60	56,50	55,52	98,97
70	56,38	55,23	115,26
80	56,00	54,69	130,77
90	56,00	54,52	147,20
100	56,38	54,72	164,65

Tabela 10 – TRRF (min) em função do método gráfico

$p_{d,fi}$ (kN/m)	$M_{sd,fi}$ (kN.m)	μ	TRRF (gráfico)
8,04	9,05	0,127	160 min
16,08	18,09	0,254	120 min
24,12	27,14	0,382	102 min
32,16	36,18	0,509	88 min
40,20	45,23	0,551	73 min
48,24	54,27	0,548	105 min
56,28	63,32	0,549	105 min
64,32	72,36	0,553	88 min
72,36	81,41	0,553	88 min
80,40	90,45	0,549	105 min

A Tabela 11 apresenta o tempo de resistência ao fogo em função do método tabular e comparação do resultado obtido com o método gráfico.

A Figura 9 apresenta uma comparação entre os tempos de resistência ao fogo obtidos em função dos

métodos tabular e gráfico.

3.3 Viga contínua, L = 4,00 m e $b_w = 35$ cm

Tabela 11 – TRRF em função do método tabular e comparação com o método gráfico

p_k (kN/m)	c_1 (cm)	Método Tabular	Método Gráfico
		TRRF viga (min)	TRRF viga (min)
10	35,00	116	160
20	35,00	116	120
30	35,00	119	102
40	35,00	116	88
50	38,00	123	73
60	35,00	116	105
70	36,25	119	105
80	40,00	129	88
90	40,00	129	88
100	36,25	119	105

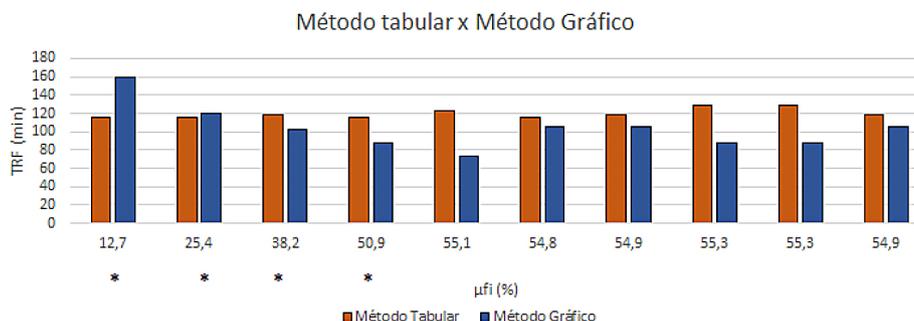


Figura 9 – Comparação entre TRRF em função do método adotado.

Tabela 12 – Armadura longitudinal adotada em função do valor característico do carregamento uniformemente distribuído

p_k (kN/m)	M_k (kN.m)	μ	A_s^+	A_s^+
10	11,25	0,006	3,34	2 ϕ 16,0
20	22,50	0,012	3,34	2 ϕ 16,0
30	33,75	0,018	3,34	2 ϕ 16,0
40	45,00	0,024	3,34	2 ϕ 16,0
50	56,25	0,030	3,41	2 ϕ 16,0
60	67,50	0,036	4,10	4 ϕ 12,5
70	78,75	0,041	4,80	4 ϕ 12,5
80	90,00	0,047	5,50	2 ϕ 20,0
90	101,25	0,053	6,21	2 ϕ 20,0
100	112,50	0,059	6,92	6 ϕ 12,5

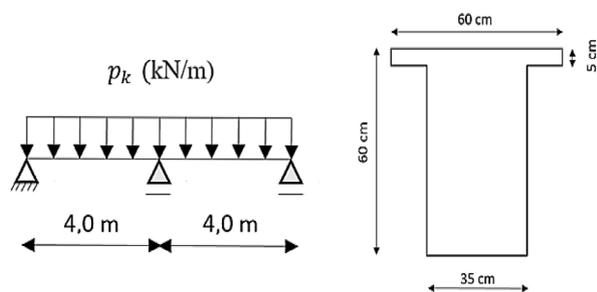


Figura 10 – Esquema estático da viga e a seção adotada.

A Figura 10 apresenta esquema estático da viga e a seção adotada.

A Tabela 12 apresenta a armadura longitudinal (A_s) adotada em função do carregamento.

A Tabela 13 apresenta a verificação da altura do bloco de concreto comprimido.

A Tabela 14 apresenta a verificação do momento fletor resistente para $y \leq h_f$.

A Tabela 15 apresenta TRRF (min) em função do método gráfico.

A Tabela 16 apresenta o tempo de resistência ao fogo em função do método tabular e comparação do resultado obtido com o método gráfico.

Tabela 13 – Verificação da altura do bloco de concreto comprimido

p_k (kN/m)	F_{sd} (kN)	F_{cd}/y (kN/cm)	y (cm)	Seção T ou retangular
10	145,2	91,1	1,595	Seção Retangular
20	145,2	91,1	1,595	Seção Retangular
30	145,2	91,1	1,595	Seção Retangular
40	145,2	91,1	1,595	Seção Retangular
50	148,3	91,1	1,628	Seção Retangular
60	178,3	91,1	1,957	Seção Retangular
70	208,7	91,1	2,292	Seção Retangular
80	239,1	91,1	2,626	Seção Retangular
90	270,0	91,1	2,965	Seção Retangular
100	300,9	91,1	3,304	Seção Retangular

Tabela 14 – Momento fletor resistente para $y \leq h_f$

p_k (kN/m)	d (cm)	z (cm)	M_{rd} (kN.m)
10	56,20	55,40	80,45
20	56,20	55,40	80,45
30	56,20	55,40	80,45
40	56,20	55,40	80,45
50	56,20	55,39	82,12
60	56,38	55,40	98,75
70	56,38	55,23	115,26
80	56,00	54,69	130,77
90	56,00	54,52	147,20
100	56,38	54,72	164,65

A Figura 11 apresenta uma comparação entre os tempos de resistência ao fogo obtidos em função dos métodos tabular e gráfico.

3.4 Análise de Resultados em Vigas Contínuas

O artigo apresenta uma comparação entre duas metodologias de cálculo para a determinação do

Tabela 15 – TRRF (min) em função do método gráfico

$P_{d,fi}$ (kN/m)	$M_{s,d,fi}$ (kN.m)	μ	TRRF (gráfico)
8,04	9,05	0,112	150 min
16,08	18,09	0,225	115 min
24,12	27,14	0,337	98 min
32,16	36,18	0,450	85 min
40,20	45,23	0,551	77 min
48,24	54,27	0,550	113 min
56,28	63,32	0,549	113 min
64,32	72,36	0,553	88 min
72,36	81,41	0,553	88 min
80,40	90,45	0,549	113 min

Tabela 16 – TRRF em função do método tabular e comparação com o método gráfico

p_k (kN/m)	c_1 (cm)	Método Tabular	Método Gráfico
		TRRF viga (min)	TRRF viga (min)
10	38,00	123	150
20	38,00	123	115
30	38,00	123	98
40	38,00	127	85
50	38,00	127	77
60	36,25	123	113
70	36,25	123	113
80	40,00	132	88
90	40,00	132	88
100	36,25	123	113

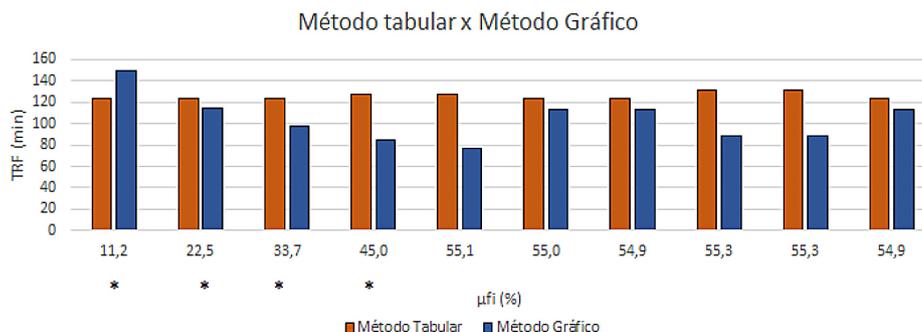


Figura 11 – Comparação entre TRRF em função do método adotado.

tempo de resistência ao fogo. Com o objetivo de fazer essa verificação foram selecionadas vigas e divididas conforme a condição de apoio, o comprimento do vão e largura da seção. Além disso, foram criados subgrupos com o objetivo de permitir uma análise da influência do acréscimo de carregamento na eficiência de cada método. Assim, foram consideradas somente vigas contínuas e os parâmetros que variam são o carregamento e a largura da seção. Para estas condições são 30 simulações. Algumas análises podem ser realizadas a partir dos resultados encontrados anteriormente. O método gráfico apresenta uma maior discrepância entre valores máximos e mínimos obtidos para o TRRF o que indica uma maior eficiência do método tabular para determinar o TRRF. As vigas contínuas tendem a apresentar resultados mais elevados de TRRF para o método tabular. Em relação a variação da largura da seção pode-se dizer que o aumento da largura da seção resulta em TRRF maior, tanto para o método tabular quanto para o método gráfico. As Figura 12 apresenta a diferença relativa entre os TRRF obtidos em função das metodologias aplicadas.

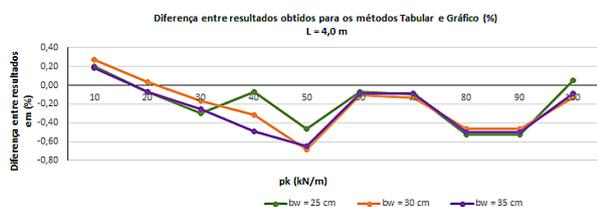


Figura 12 – Diferença relativa entre os métodos para $L = 4,0 m$.

4 Conclusões

A proposta do artigo é uma comparação de eficiência entre os métodos gráfico e tabular na determinação do tempo de resistência requerido ao fogo (TRRF) em vigas de concreto armado, simulando a ocorrência de um incêndio. Em função da facilidade de aplicação, recomenda-se que o método tabular seja adotado inicialmente para cálculo do TRRF. O método gráfico possibilita a utilização de uma metodologia alternativa para o cálculo do TRRF. Esse método alternativo consiste em gráficos que relacionam o tempo de resistência das vigas ao fogo à razão entre o momento solicitante em incêndio e o momento resistente à temperatura ambiente. Para realizar este trabalho as vigas foram divididas em grupos conforme as condições de apoio, o comprimento de vão, a largura da seção e o valor do carregamento. A partir dos resultados encontrados, conclui-se que para as vigas contínuas, o método tabular apresentou resultados mais altos na maior parte dos casos, com exceção de

carregamentos menores. Em vigas contínuas, observa-se que os resultados encontrados para o TRRF tendem a uma maior proximidade para os diferentes carregamentos e larguras de seção estudados.

5 Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES).

6 Referências Bibliográficas

- ABN NBR 14432:2001. **Exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações** – Procedimento, 2001.
- ABNT NBR 8681:2003. **Ações e seguranças nas estruturas** – Procedimento, 2003.
- ABNT NBR 15200:2012. **Projeto de estruturas de concreto em situação de incêndio**, 2012.
- ABNT NBR 6118:2014. **Projeto de estruturas de concreto** – Procedimento, 2014.
- ALBUQUERQUE, G. B. M. L. **Dimensionamento de vigas de concreto armado em situação de incêndio**. Dissertação de Mestrado. Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.
- ALBUQUERQUE, G. B. M. L.; SILVA, V. P. **Dimensionamento de vigas de concreto armado em situação de incêndio por meio do método gráfico**. Ibracon – Revista Ibracon de estruturas e materiais, v. 6, n. 4, 2013.
- ARAÚJO, J. M. **Curso de concreto armado**. Editora Dunas: Rio Grande. 4ª ed. 2014.
- BORTOLLATTO, M. **Aprimoramento dos sistemas de vistorias existentes do corpo de bombeiros militar de SC**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2013.
- COSTA, C. N.; SILVA, V. P. **Estruturas de concreto armado em situação de incêndio**. In: Anais da XXX Jornadas Sul-Americanas de Engenharia Estrutural; Brasília. Distrito Federal: UNB; p. 21, 2002.
- SILVA, V. P. **Dimensionamento de vigas de concreto armado em situação de incêndio. Aprimoramento de algumas recomendações do Eurocode**. Revista Ibracon de Estruturas e Materiais, v. 4, n. 2, p. 277-303, 2012.
- SILVA, V. P. **Projeto de Estruturas de Concreto Armado em Situação de Incêndio**. 1ª ed. São Paulo: Blucher, 2014.
- SOUZA, A. A. A.; MORENO Jr, A. L. **Efeito de altas temperaturas na resistência à compressão, resistência à tração e módulo de deformação do concreto**. Rev. Ibracon Estrut. Mater. [online]. Vol. 3, n. 4, pp. 432-448, 2010.