

Segurança das estruturas de aço externas a edificações em situação de incêndio

(External steel structures fire safety)

Macksuel Soares de Azevedo

M. Sc., Engenheiro Civil, Doutorando, Departamento de Engenharia de Estruturas e Geotécnica
Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. E-mail: macksuel.azevedo@poli.usp.br

Almir Murakami

Graduando em Engenharia Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.
E-mail: almir.murakami@gmail.com

Valdir Pignatta e Silva

D. Sc., Professor, Departamento de Engenharia de Estruturas e Geotécnica
Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. E-mail: valpigss@usp.br

Resumo

A segurança estrutural, em situação de incêndio, é verificada quando o valor de cálculo do esforço resistente de cada um dos elementos da estrutura é maior ou igual ao valor de cálculo dos respectivos esforços solicitantes. No domínio das temperaturas, essa verificação significa que a temperatura crítica do elemento estrutural deve ser superior ou igual à temperatura atuante. As atuais normas brasileiras NBR 14323:1999 - "Dimensionamento de estruturas de aço de edifícios em situação de incêndio - Procedimento" e NBR 14432:2000 - "Exigência de resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações - Procedimento", ambas em revisão, fornecem informações que possibilitam verificar a segurança estrutural nessa condição excepcional de ações. São apresentados métodos simplificados e recomendações para o emprego de métodos avançados de análise térmica e estrutural. Os métodos simplificados não são, economicamente, apropriados às estruturas externas às edificações, para os quais a NBR 14323:1999 recomenda, sem detalhar, um procedimento proposto pelas normas europeias EUROCODE 1 e 3.

Nesse trabalho, será apresentada uma ferramenta computacional (EXTEELFIRE 2.0) desenvolvida pelos autores, com base nos procedimentos recomendados pela EUROCODE, que possibilita determinar a temperatura atuante em elementos de aço externos a edifícios em situação de incêndio. A temperatura pode ser determinada a partir de características geométricas do compartimento em chamas, tais como: altura, largura, profundidade, dimensões das janelas, valor de cálculo da carga de incêndio, posição e dimensões básicas das estruturas externas. Também fazem parte desse trabalho sugestões para a futura revisão da NBR 14432.

Palavras-chave: Aço, incêndio, engenharia de segurança contra incêndio, estruturas externas.

Abstract

Fire-structural safety is demonstrated when the design value of the resistance of each structural member is greater or equal to the design value of the effects of the actions, meaning the critical temperature of the structure must be greater or equal to the temperature of the steel. The current Brazilian standards NBR 14323:1999 - "Dimensionamento de estruturas de aço de edifícios em situação de incêndio" (Steel structures fire design) and NBR 14432:2000 - "Exigência de resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações" (Required Fire Resistance for Buildings) give detailed information for the fire structural safety verification by simplified methods and allow the use of advanced methods but without specifying them. The simplified methods are not economically suitable for external structures.

This paper presents a computational tool to determine the steel temperature based on the more advanced procedures prescribed by Eurocodes 1 and 3, regarding the features of the fire compartment such as: height, width, length, windows' dimensions, design fire load, place and basic sizes of the external structures. Some suggestions for the future revision of NBR 14432 also are included in this work.

Keywords: Steel, fire, fire engineering, external structures.

1. Introdução

As atuais normas brasileiras NBR 14323:1999 - "Dimensionamento de estruturas de aço de edifícios em situação de incêndio" (NBR 14323 (1999)) e NBR 14432:2000 - "Exigência de resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações" (NBR 14432 (2000)), ambas em revisão, permitem determinar os esforços atuantes e resistentes nos elementos estruturais de aço, em situação de incêndio, e, a partir desses valores, verificar a segurança estrutural, nessa condição excepcional de ações. São apresentados métodos simplificados, mas as normas permitem o emprego de métodos avançados de análise térmica e estrutural. Os métodos simplificados são apropriados às estruturas internas às edificações. Apesar de eles poderem também ser aplicados às estruturas externas, conduzem a resultados antieconômicos em vista do abrandamento dos efeitos do incêndio, no caso dessas estruturas. Para a determinação da temperatura, em elementos estruturais de aço situados no exterior de um edifício, a NBR 14323:1999 recomenda, sem detalhar, um procedimento proposto pelas normas europeias EUROCODE 1 (ENV 1991-1-2: 2002) e 3 (ENV 1993-1-2: 2003).

O objetivo desse trabalho é apresentar, sucintamente, as bases desse método e uma ferramenta computacional desenvolvida para facilitar o seu emprego. Comentários sobre a futura revisão da NBR 14432 também são incorporados a esse texto. Os símbolos serão definidos na primeira vez que aparecerem.

2. Segurança estrutural em situação de incêndio

As condições de segurança de um elemento estrutural verificado isoladamente em relação aos esforços atuantes podem ser indicadas pela eq. 1, onde S_d é o valor de cálculo do esforço atuante e R_d é o valor de cálculo correspondente ao esforço resistente.

$$S_d \leq R_d \quad (1)$$

Em situação de incêndio a eq. 1 passa a ser representada pela eq. 2.

$$S_{d,fi} \leq R_{d,fi} \quad (2)$$

Na eq. 2, $S_{d,fi}$ é o valor de cálculo dos esforços atuantes, determinado a partir da combinação última excepcional das ações, conforme eq. 3, 4 e 5, que serão inseridas na futura revisão da NBR 14432 e $R_{d,fi}$ é o valor de cálculo do correspondente esforço resistente.

$$1,2F_G + F_{Q,exc} + 0,21 F_Q \quad (3)$$

A eq. 3 é utilizada em locais em que não há predominância de pesos de equipamentos que permaneçam fixos por longos períodos de tempo, nem de elevadas concentrações de pessoas. Nela F_G é o valor característico das ações permanentes diretas; $F_{Q,exc}$ é o valor característico das ações térmicas decorrentes do incêndio; F_Q é o valor característico das ações variáveis decorrentes do uso e ocupação da edificação.

$$1,2F_G + F_{Q,exc} + 0,28 F_Q \quad (4)$$

A eq. 4 é utilizada em locais em que há predominância de pesos de equipamentos que permaneçam fixos por longos períodos de tempo, ou de elevadas concentrações de pessoas.

$$1,2F_G + F_{Q,exc} + 0,42 F_Q \quad (5)$$

A eq. 5 é utilizada em locais como bibliotecas, arquivos, depósitos, oficinas e garagens.

Para o cálculo do esforço resistente, inclui-se o efeito da ação térmica por meio dos coeficientes de redução de resistência $k_{y,\theta}$ ou módulo de elasticidade $k_{E,\theta}$ fornecidos pela NBR 14323:1999, que serão mantidos na futura revisão dessa norma.

No domínio das temperaturas, a eq. 2 transforma-se na eq. 6, onde θ_a é a temperatura atuante no elemento de aço em situação de incêndio e θ_{cr} é a temperatura crítica do elemento estrutural.

$$\theta_a \leq \theta_{cr} \quad (6)$$

3. Determinação da temperatura atuante e crítica

θ_a pode ser determinada por meio de artifício consagrado na NBR 14432:2000 e em outras normas internacionais, modelando-se o incêndio por meio de uma elevação padronizada de temperatura, denominada incêndio-padrão (eq. 7), associada a um tempo preestabelecido na norma, denominado tempo requerido de resistência ao fogo (TRRF), o qual é tabelado em função da altura da edificação e seu tipo de uso como mostrado na Figura 1.

$$\theta_g = 345 \log(8t + 1) + 20 \quad (7)$$

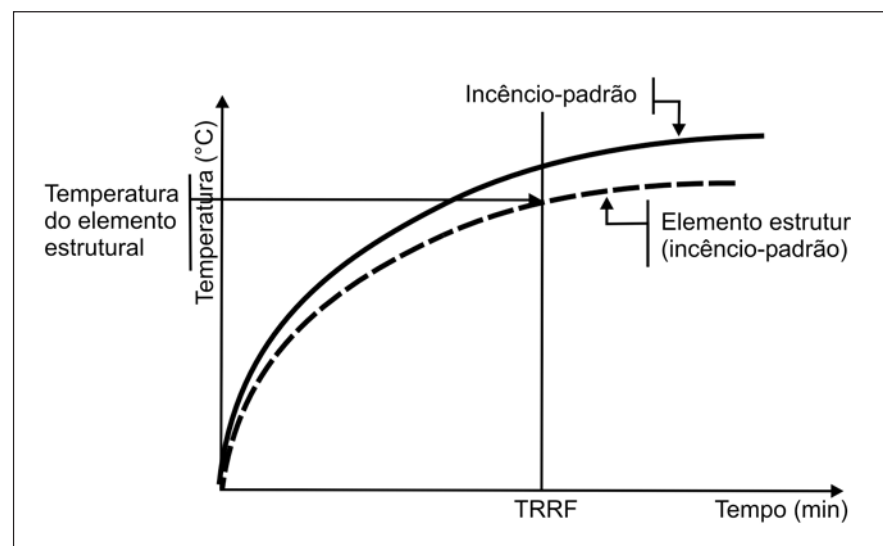


Figura 1 - Curva temperatura-tempo de um incêndio-padrão.

Esse artifício é válido para elementos de aço submetidos à temperatura uniforme e localizados no interior das edificações. A favor da segurança também pode ser empregado para as estruturas localizadas no exterior dos edifícios. Visando a uma abordagem mais realística, θ_a pode ser determinada pelo método proposto pelos EUROCODES 1 e 3, que têm por base o método de LAW (1978), conforme descrito a seguir nos itens 4 e 5. Esse método considera a ação térmica, ou seja, o fluxo de calor irradiado a partir das aberturas do compartimento incendiado e das chamas externas ao edifício, em direção às estruturas

externas à edificação, que estão inicialmente frias.

O valor de θ_{cr} pode ser determinado por meio de métodos avançados de cálculo termestrutural ou por meio dos métodos simplificados da NBR 14323:1999 (Silva, 2004). Apresentam-se, na Tabela 1, as novas prescrições da futura revisão da NBR 14323. A partir desse método simplificado, é possível determinar-se o fator de redução da resistência $k_{y,\theta}$ ou $k_{E,\theta}$, igualando-se o esforço resistente ao solicitante. A seguir determina-se a temperatura associada ao k , por meio da correlação exist-

tente entre eles conforme apresentado na NBR 14323:1999. Essa temperatura é a θ_{cr} .

Na Tabela 1: A_g é a área bruta da seção transversal da barra; E é o módulo de elasticidade tangente inicial do aço à temperatura ambiente; M_{cr} é o momento-fletor de flambagem elástica à temperatura ambiente; $M_{fi,Rd}$ é o momento-fletor resistente de cálculo em situação de incêndio; M_{pl} é o momento de plastificação à temperatura ambiente; M_r é o momento-fletor correspondente ao início do escoamento à temperatura ambiente; $N_{fi,Rd}$ é a força normal resistente de cálculo de uma barra axialmente tracionada ou com-

Tabela 1 - Esforços resistentes em situação de incêndio: futura revisão da NBR 14323.

Tração	$N_{fi,Rd} = \frac{A_g k_{y,\theta} f_y}{\gamma_{a,fi}}$
Compressão (flambagem por flexão)	$N_{fi,Rd} = \frac{\chi_{fi} A_g k_{y,\theta} f_y}{\gamma_{a,fi}}$ $\lambda_{0,\theta} = \frac{\ell_{fl}}{r} \quad \lambda_{0,\theta} \rightarrow \chi_{\theta} = \chi_{\theta}(\lambda_{0,\theta})$ $\sqrt{\pi^2 \frac{k_{E,\theta} E}{k_{y,\theta} f_y}}$
Momento fletor (FLT)	$M_{fi,Rd} = \kappa_1 \kappa_2 \frac{k_{y,\theta} M_{pl}}{\gamma_{a,fi}} \leq \frac{M_{pl}}{\gamma_{a,fi}} \quad \text{para } \lambda \leq \lambda_{p,\theta}$ $M_{fi,Rd} = C_b \frac{k_{y,\theta}}{1,2 \gamma_{a,fi}} \left[M_{pl} - (M_{pl} - M_r) \frac{\lambda - \lambda_{p,\theta}}{\lambda_{r,\theta} - \lambda_{p,\theta}} \right] \quad \text{para } \lambda_{p,\theta} < \lambda < \lambda_{r,\theta}$ $M_{fi,Rd} = C_b \frac{k_{E,\theta} M_{cr}}{1,2 \gamma_{a,fi}} \quad \text{para } \lambda > \lambda_{r,\theta}$ <p>- $\lambda_{p,\theta}$ e $\lambda_{r,\theta}$ calculados com $k_{y,\theta}$, f_y e $k_{E,\theta}$ em lugar de f_y e E</p> <p>- Para uma viga com todos os quatro lados expostos: $\kappa_1=1,00$; para uma viga com três lados expostos, com uma laje de concreto no quarto lado: $\kappa_1=1,40$ (aço não-revestido) ou $\kappa_1=1,15$ (aço revestido); nos apoios de uma viga estaticamente indeterminada: $\kappa_2=1,15$ (outros casos: $\kappa_2=1,00$)</p>

primida em situação de incêndio; f_y é a resistência ao escoamento à temperatura ambiente dos aços laminados; $k_{E,\theta}$ é o fator de redução para o módulo de elasticidade dos aços em temperatura elevada relativo ao valor à temperatura ambiente; $k_{y,\theta}$ é o fator de redução para a resistência ao escoamento dos aços laminados em temperatura elevada relativo ao valor à temperatura ambiente; l_f é o comprimento de flambagem do pilar; r refere-se ao início do escoamento; χ_f é o fator de redução da resistência de barras axialmente comprimidas em situação de incêndio; λ é o parâmetro de esbeltez; $\lambda_{o,\theta}$ é o índice de esbeltez reduzido para barras submetidas à compressão em temperatura elevada; $\lambda_{r,\theta}$ é o índice de esbeltez correspondente ao início do escoamento em temperatura elevada; κ_1 é o fator de correção para a temperatura não-uniforme na seção transversal; κ_2 é o fator de correção para temperatura não-uniforme ao longo do comprimento de um elemento estrutural; C_b é o fator de equivalência de momentos na flexão; γ_{af} é o coeficiente de ponderação aplicado à resistência do aço, em situação excepcional.

4. O método de Margaret Law

Na década de 70, Margaret Law (1978) observou que os projetos tradicionais de segurança contra incêndio nos edifícios não eram suficientemente flexíveis e nem eram adequados para lidar com o desenvolvimento da arquitetura moderna na construção dos edifícios. Os elementos estruturais externos deviam ser projetados com as mesmas exigências de resistência ao fogo e, conseqüentemente, com os mesmos revestimentos contra fogo que os elementos estruturais de aço internos, mesmo que as condições externas da exposição ao fogo fossem menos severas. Os elementos estruturais internos, em situação de incêndio, são cercados pelas chamas e pelas superfícies aquecidas tais como paredes, teto e piso do compartimento. Essas condições de aquecimento são similares àquelas do ensaio-padrão de resistência ao fogo, onde o elemento é introduzido em um forno. Os elementos estruturais externos a edificações são expostos à radiação, proveniente das janelas na fachada e das chamas, e à convecção dos gases quentes. O valor da intensidade da radiação recebida varia de acordo com a posição do elemento em relação às janelas. O fluxo de calor, também, varia de acordo com a posição do elemento e perde calor para a temperatura ambiente. Dependendo das dimensões do elemento estrutural, da sua posição e da severidade do incêndio, os elementos estruturais externos podem ser projetados de forma a não necessitar de revestimento contra fogo. Segundo Law (1978), inicialmente, as experiências eram feitas em programas de pesquisa que simulavam a exposição externa por inserção de uma janela, em ensaio padronizado, na parede de um forno. Isso não foi considerado satisfatório, porque não importava qual o tempo de duração do ensaio, a exposição à chama era menos severa do que a proveniente de um incêndio real em um edifício. Experimentos, com base científica, realizados com elementos externos expostos às chamas e radiação proveniente de incêndios reais, confirmaram que as exigências poderiam ser mais brandas do que as requeridas pelas normas para elementos estruturais internos a edificações. Procurou-se adotar uma abordagem de projeto que analisava a transferência de calor externo para o elemento estrutural e calcular a quantidade de proteção, se necessário. Para elementos estruturais de aço, as condições críticas podem ser definidas em termos de temperatura crítica do elemento de aço e, dadas as condições de transferência de calor, o cálculo da temperatura do aço é relativamente direto. O problema principal, ao adotar essa abordagem de projeto, é definir a transferência de calor externa. Foi obtida uma grande quantidade de dados sobre incêndio em edifícios e sobre o comportamento da chama, sendo possível estimar a transferência de calor externa para projetos de edifícios. As correlações foram derivadas de modelos em escala reduzida e, também, de medidas em escala natural.

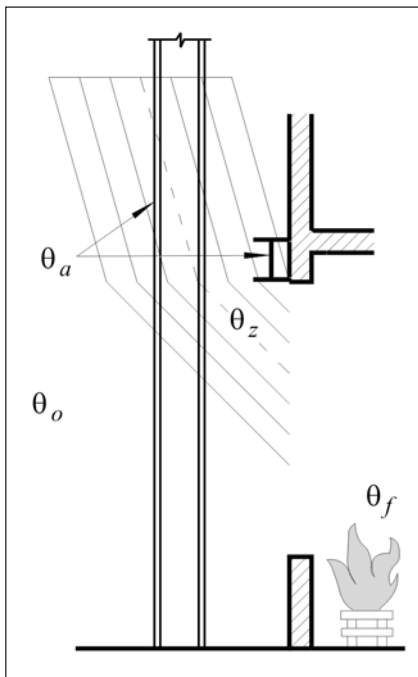


Figura 2 - Indicação das temperaturas (Law, 1978).

4.1 Equilíbrio térmico

A Figura 2 indica as temperaturas utilizadas na equação de equilíbrio térmico (eq. 8), onde, θ_z refere-se à temperatura da chama externa, θ_a à temperatura do aço, θ_f à temperatura dos gases no compartimento incendiado e θ_o à temperatura do ar ambiente externo à edificação. Segundo Law (1978), a temperatura de um elemento externo à edificação, envolvido pela chama, devido à radiação e à convecção das chamas e à radiação proveniente das aberturas do compartimento incendiado, pode ser determinada a partir do equilíbrio térmico representado pela eq. 8.

$$\alpha_z [(\theta_z + 273,15) - (\theta_a + 273,15)] + \varepsilon_z \varepsilon_a \sigma [(\theta_z + 273,15)^4 - (\theta_a + 273,15)^4] + \varepsilon_f (1 - \varepsilon_z) \varepsilon_a \phi_f \sigma [(\theta_f + 273,15)^4 - (\theta_a + 273,15)^4] + (1 - \varepsilon_z) \varepsilon_a (1 - \phi_f) \sigma [(\theta_o + 273,15)^4 - (\theta_a + 273,15)^4] = \frac{\rho_a c_a}{F} \frac{d(\theta_a)}{dt} + k \quad (8)$$

Na eq. 8: α_z é o coeficiente de transferência de calor por convecção da chama; ε_z é a emissividade da chama; ε_a é a emissividade do aço; ε_f é a emissividade da janela; ϕ_f é o fator de configuração da janela; c_a é o calor específico do aço; k é o calor perdido por condução; σ é a constante de Stefan-Boltzmann ($56,7 \times 10^{-12}$ kW/m²C⁴); ρ_a é a massa específica do aço; F é o fator de massividade do elemento estrutural.

O aumento da temperatura de um elemento estrutural de aço, em incêndio, é proporcional ao seu fator de massividade. O fator de massividade do elemento estrutural é a relação entre a área exposta ao fogo e o volume aquecido do corpo (Silva, 2004). Para barras prismáticas, o fator de massividade pode ser expresso pela eq. 9, onde: u é o perímetro exposto ao fogo (m); A é a área da seção transversal (m²).

$$F = \frac{u}{A} \quad (9)$$

Quanto maior for o fator de massividade, F , do perfil, menos robusto será o elemento e mais rapidamente irá se aquecer. Isso não foi considerado por Law (1978), uma vez que admite como sendo estado estacionário, $d\theta/dt = 0$, conseqüentemente o termo $(\rho_a c_a / F) d(\theta_a)/dt$ desaparece da eq. 8. Antes de os cálculos serem realizados, é necessário calcular a velocidade da chama com a finalidade de determinar α_z para a transferência de calor por convecção. Para o cálculo da transferência por radiação, determinam-se a emissividade e a temperatura média das chamas. Os valores medidos da transferência de calor das chamas em ensaios em escala natural foram examinados para ajudar a estabelecer um modelo realístico. De acordo com o EUROCODE 3 (2003), a elevação de temperatura dos elementos estruturais de aço envolvidos ou não-envolvidos pela chama pode ser determinada, respectivamente, a partir da eq. 10 e eq. 11, onde: I_z é a intensidade de calor por radiação das chamas (kW/m²); I_f é a intensidade de calor por radiação das aberturas (kW/m²).

$$\sigma(\theta_a + 273,15)^4 + \alpha_z(\theta_a + 273,15) = \sum I_z + \sum I_f + 293\alpha_z \quad (10)$$

$$\sigma(\theta_a + 273,15)^4 + \alpha_z(\theta_a + 273,15) = I_z + I_f + \alpha_z(\theta_z + 273,15) \quad (11)$$

5. Valor de cálculo da carga de incêndio

Para o bom uso do método, é necessário conhecer-se o valor de cálculo da carga de incêndio, ou seja, o valor característico da carga de incêndio específica do compartimento em chamas afetado por coeficientes de ponderação que levem em conta o desempenho da proteção ativa e as conseqüências do incêndio, conforme eq. 12.

O valor característico da carga de incêndio específica pode ser encontrado na NBR 14323:1999, no entanto, não há qualquer menção aos fatores de ponderação a serem adotados. Costa e Silva (2005) apresentaram uma sugestão sobre os coeficientes de ponderação a serem empregados, a fim de a sociedade analisar sua incorporação na futura revisão das normas sobre o assunto.

$$q_{f,i,d} = q_{f,i,k} \gamma_s \gamma_n \quad (12)$$

Na eq. 12: $q_{f,i,d}$ é o valor de cálculo da carga de incêndio por área de piso (MJ/m²); $q_{f,i,k}$ é o valor característico da carga de incêndio por unidade de área de piso (MJ/m²); γ_s é o coeficiente de ponderação relacionado ao risco e às conseqüências do incêndio (adimensional); γ_n é o coeficiente de ponderação relacionado a dispositivos de proteção, que permitem reduzir a severidade do incêndio [adimensional].

6. EXTEELFIRE 2.0

O programa de computador EXTEELFIRE 2.0 foi implementado na linguagem de programação Microsoft Visual Basic. Esse programa foi desenvolvido para determinar a máxima temperatura dos elementos de aço externos à edificação em situação de incêndio (Azevedo, 2005). A formulação teve como base o método de Margaret Law e obedece aos procedimentos descritos pelo EUROCODE 1, Part 1-2 (2002) e pelo EUROCODE 3, Part 1-2 (2003).

O programa computacional admite um regime estacionário de incêndio representado pela máxima temperatura atingida pelos gases quentes no interior do compartimento em chamas (Azevedo, Ferreira & Silva, 2006).

Essa hipótese, em vista do formato das equações de equilíbrio térmico (eq. 10 e 11), que governam o fenômeno em estudo, não permite considerarem-se os efeitos da variação do fator de massividade do perfil. O EXTEELFIRE 2.0 determina a máxima temperatura do pilar externo à edificação e está em fase de teste para vigas externas. A próxima etapa do programa será determinar a temperatura do elemento estrutural, no regime transiente de incêndio, o que permitirá considerar, de forma mais econômica, a influência do fator de massividade do perfil.

A Figura 3 mostra algumas telas de interface entre o usuário e o programa EXTEELFIRE 2.0. Utilizando o programa, é possível realizar a avaliação da influência de parâmetros na temperatura do aço de pilar e de viga externa, conforme resultados apresentados nas Figuras 4 e 5. O modelo utilizado foi um compartimento com uma janela.

7. Conclusões

Foram apresentadas, nesse trabalho, algumas sugestões para a revisão da NBR 14323.

Apresentou-se uma descrição sucinta do método de Margaret Law, que permite determinar a máxima temperatura de estruturas de aço externas a uma

Segurança das estruturas de aço externas a edificações em situação de incêndio

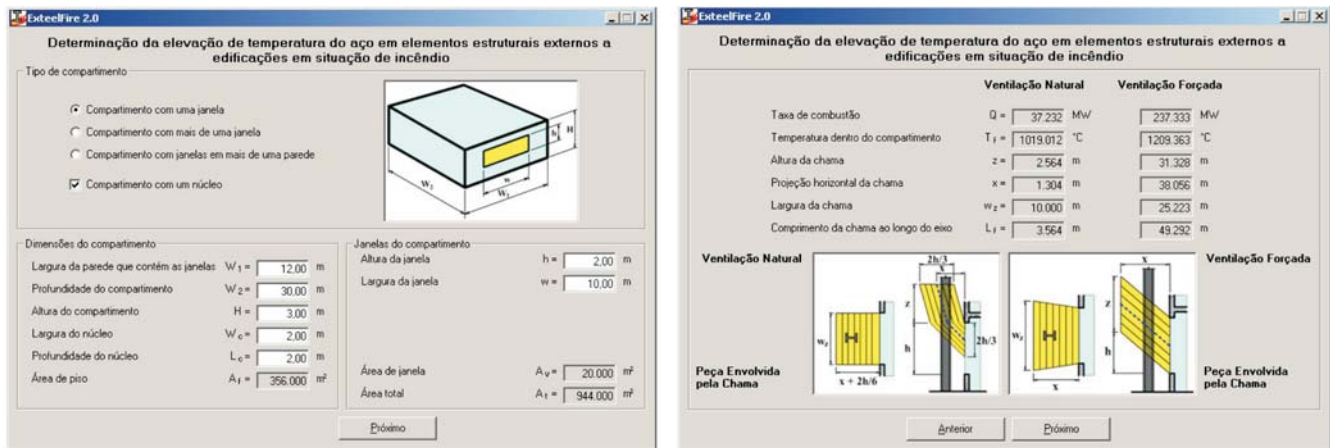


Figura 3 - Interface do programa de computador ExteelFire.

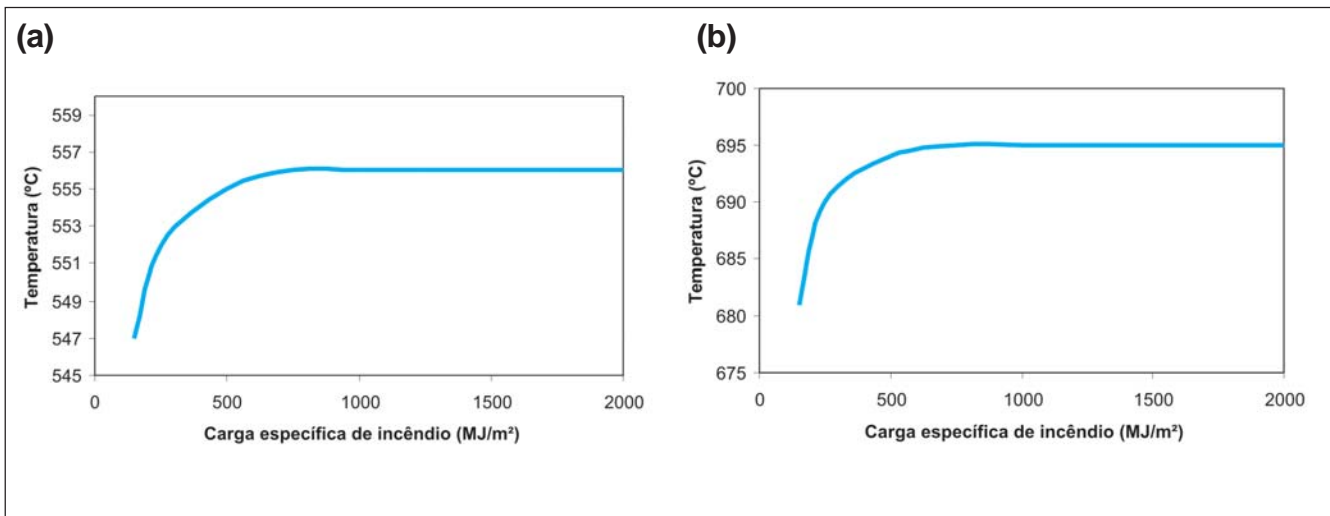


Figura 4 - Variação da temperatura com a carga específica do incêndio. (a) Pilar (b) Viga.

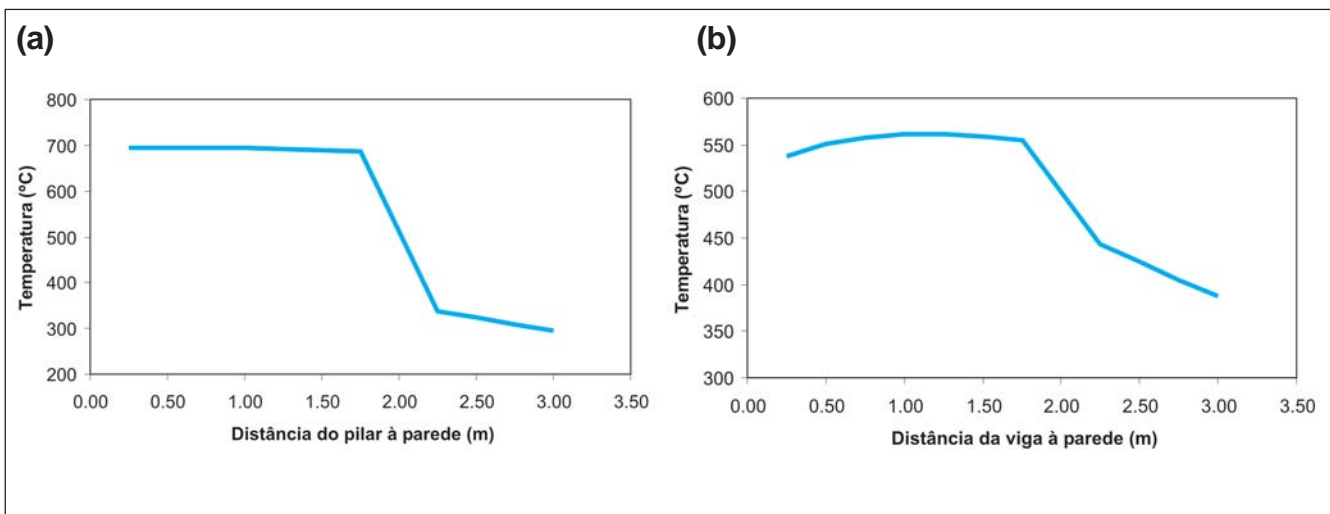


Figura 5 - Variação da temperatura com a distância à parede. (a) Pilar (b) Viga.

edificação em chamas. ANBR 14323:1999 permite a utilização desse método, sem, no entanto, detalhá-lo. Tendo em vista o grande número de expressões para o cálculo da temperatura, foi desenvolvido o programa de computador EXTEELFIRE 2.0 para esse fim.

O método apresentado, nesse texto, considera o incêndio natural em regime estacionário de transferência de calor, utilizando a máxima temperatura dos gases. Tendo em vista essa simplificação, a temperatura do aço não é função do fator de massividade do pilar, ou seja, independe das dimensões das espessuras das chapas que compõem o elemento estrutural.

O programa EXTEELFIRE 2.0 seguiu essa hipótese, nessa fase inicial da pesquisa. Pretende-se prosseguir-la, implementando-se o cálculo da temperatura para regime transiente de transferência de calor.

8. Agradecimentos

Os autores agradecem ao apoio recebido pelo CBCA e CNPq para realização desse trabalho de pesquisa.

9. Referências bibliográficas

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Dimensionamento de estruturas de aço de edifícios em situação de incêndio. Procedimento. NBR 14323. Rio de Janeiro, 1999.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações. Procedimentos. NBR 14432. Rio de Janeiro, 2000.
- AZEVEDO, M. S. *Determinação da temperatura em elementos estruturais de aço externos a edificações em situação de incêndio*. Vitória: Centro Tecnológico, Universidade Federal do Espírito Santo, 2005. 230 f. (Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil).
- AZEVEDO, M. S., FERREIRA, W. G., SILVA, V. P. Determinação da temperatura em pilares de aço externos a

edificações em situação de incêndio. p. 1320-1329. In: JORNADAS SUL-AMERICANAS DE ENGENHARIA ESTRUTURAL, 32. *Anais...* Hotel Nacional Inn, Campinas, 2006.

- COSTA C. N., SILVA V. P. O método do tempo equivalente para o projeto de estruturas de concreto em situação de incêndio. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO - IBRACON, 47. *Anais ...* 2005. p. III 154-167.
- EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. Actions on Structures, Part 1-2: General Actions - Actions on structures exposed to fire. EUROCODE 1. Brussels, 2002.
- EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. Design of steel structures. Part 1.2: General rules - Structural fire design. EUROCODE 3. Brussels, 2003.
- LAW, Margaret. Fire safety of external building elements - the design approach. *Engineering Journal. American Institute of Steel Construction*, 2n Quarter, p. 59-74, 1978.
- SILVA, V. P. *Estruturas de aço em situação de incêndio*. São Paulo: Zigate, 2004.
- Artigo recebido em 24/11/2006 e aprovado em 28/11/2006.**

REM - Revista Escola de Minas
71 anos divulgando CIÊNCIA.

www.rem.com.br
