

Impactos das Tecnologias na Engenharia Civil 2

Franciele Braga Machado Tullio
(Organizadora)



Franciele Braga Machado Tullio
(Organizadora)

Impactos das Tecnologias na Engenharia Civil 2

Atena Editora
2019

2019 by Atena Editora

Copyright © da Atena Editora

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Diagramação e Edição de Arte: Lorena Prestes e Geraldo Alves

Revisão: Os autores

Conselho Editorial

- Prof. Dr. Alan Mario Zuffo – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Darllan Collins da Cunha e Silva – Universidade Estadual Paulista
Profª Drª Deusilene Souza Vieira Dall’Acqua – Universidade Federal de Rondônia
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice
Profª Drª Juliane Sant’Ana Bento – Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)

I34 Impactos das tecnologias na engenharia civil 2 [recurso eletrônico] / Organizadora Franciele Braga Machado Tullio. – Ponta Grossa (PR): Atena Editora, 2019. – (Impactos das Tecnologias na Engenharia Civil; v. 2)

Formato: PDF
Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader
Modo de acesso: World Wide Web
Inclui bibliografia
ISBN 978-85-7247-221-0
DOI 10.22533/at.ed.210192803

1. Construção civil. 2. Engenharia civil. 3. Tecnologia. I. Tullio, Franciele Braga Machado.

CDD 690

Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores.

2019

Permitido o download da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

www.atenaeditora.com.br

APRESENTAÇÃO

A obra “Impactos das Tecnologias na Engenharia Civil 2” contempla dezoito capítulos em que os autores abordam as mais recentes pesquisas relacionadas ao uso de tecnologias aplicadas nas mais diversas áreas da engenharia civil.

A constante evolução na engenharia civil é movida pelo uso de novas tecnologias, que surgem a cada dia. Novos materiais, novas metodologias vão surgindo, viabilizando construções mais complexas e ocasionando uma maior produtividade nos canteiros de obras, trazendo impactos sociais relevantes.

O estudo de novas tecnologias na área de saneamento por exemplo, traz benefícios a diversas comunidades, impactando na área de saúde e consequente melhoria na qualidade de vida das pessoas atingidas.

A inovação no desenvolvimento de produtos se deve a necessidade de criação de materiais mais resistentes, proporcionando maior qualidade e segurança às obras. O desenvolvimento de materiais a partir de matéria prima reaproveitada ou de materiais que simplesmente eram descartados, têm sido amplamente utilizados e além de gerar novas soluções, proporciona benefícios ao meio ambiente e resultados econômicos satisfatórios. Nessa mesma linha de pensamento, o uso da eficiência energética também tem sido utilizado em busca de soluções sustentáveis.

O uso de tecnologias no controle e planejamento de obras permite a antecipação de diversas situações que poderiam impactar negativamente na execução das obras ou seu uso final, oportunizando seus gestores a tomada de decisões antes mesmo que elas ocorram.

Diante do exposto, esperamos que esta obra traga ao leitor conhecimento técnico de qualidade, de modo que haja uma reflexão sobre os impactos que o uso de novas tecnologias proporciona à engenharia e que seu uso possa proporcionar melhorias de qualidade de vida na sociedade.

Franciele Braga Machado Tullio

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	1
A TECNOLOGIA SOCIAL NO SERTÃO DO PAJEÚ: UM GANHO NA QUALIDADE DE VIDA COM A UTILIZAÇÃO DE BIODIGESTORES	
<i>Lizelda Maria de Mendonça Souto</i>	
<i>Rafael Lucian</i>	
<i>Alexandre Nunes da Silva</i>	
<i>Avelino Cardoso</i>	
<i>Emilia Rahnemay Kohlman Rabbani</i>	
<i>Sérgio Peres</i>	
DOI 10.22533/at.ed.2101928031	
CAPÍTULO 2	7
CONCRETO COM SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO CIMENTO POR CINZA DE BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR	
<i>Décio Leandro Amaral Miranda</i>	
<i>Renato da Silva Couto</i>	
<i>Ronildo Alcântara Pereira</i>	
<i>Siumara Rodrigues Alcântara</i>	
DOI 10.22533/at.ed.2101928032	
CAPÍTULO 3	23
MATERIAIS CIMENTÍCIOS SUSTENTÁVEIS COM A REUTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS	
<i>Humberto Mycael Mota Santos</i>	
<i>Bruno Balbino da Silva</i>	
<i>Anderson Ferreira de Oliveira</i>	
<i>Daniel Oliveira Procorio</i>	
<i>Gabriel Marcelo Bortolai</i>	
DOI 10.22533/at.ed.2101928033	
CAPÍTULO 4	33
ANÁLISE DE ESTABILIDADE MARSHALL EM MISTURAS ASFÁLTICAS COM ADIÇÃO DE RESÍDUO OLEOSO DA INDÚSTRIA PETROLÍFERA	
<i>Rodolfo Rodrigo Ferreira Severino</i>	
<i>Yane Coutinho Lira</i>	
<i>Rodrigo Mendes Patrício Chagas</i>	
<i>Ana Maria Gonçalves Duarte Mendonça</i>	
<i>Milton Bezerra das Chagas Filho</i>	
DOI 10.22533/at.ed.2101928034	
CAPÍTULO 5	41
MÉTODOS DE ANÁLISE DO DESEMPENHO LUMÍNICO DE EDIFICAÇÕES HABITACIONAIS CONFORME A NBR 15575-1/2013	
<i>Aniéli Thais de Souza</i>	
<i>Maria das Graças Monteiro Almeida de Melo</i>	
<i>Maryane Gislayne Cordeiro de Queiroz</i>	
<i>Geovani Almeida da Silva</i>	
DOI 10.22533/at.ed.2101928035	

CAPÍTULO 6	53
OS SELOS DE CERTIFICAÇÃO DE SUSTENTABILIDADE PARA EMPREENDIMENTOS DE CONSTRUÇÃO CIVIL NO BRASIL	
<i>Marco Antonio Campos</i>	
<i>André Munhoz de Argollo Ferrão</i>	
DOI 10.22533/at.ed.2101928036	
CAPÍTULO 7	64
ECONOMIA DE ENERGIA: UMA ALTERNATIVA SUSTENTÁVEL ESTUDO DE CASO NO BLOCO I DO UNIPAM	
<i>Daniel Marcos de Lima e Silva</i>	
<i>Maísa de Castro Silva</i>	
<i>Marcelo Ferreira Rodrigues</i>	
DOI 10.22533/at.ed.2101928037	
CAPÍTULO 8	80
PLANILHAS DE DIMENSIONAMENTO DE VIGA E PILAR METÁLICO EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO	
<i>Marcus da Silva Camargo</i>	
<i>Cleverson Cardoso</i>	
<i>José Raimundo Serra Pacha</i>	
DOI 10.22533/at.ed.2101928038	
CAPÍTULO 9	99
ANÁLISE DO FLUXO DE INFORMAÇÕES NO PROCESSO DE MANUTENÇÃO PREDIAL APOIADA EM BIM: ESTUDO DE CASO EM COBERTURAS	
<i>Bárbara Lepca Maia</i>	
<i>Sérgio Scheer</i>	
DOI 10.22533/at.ed.2101928039	
CAPÍTULO 10	118
INDICADORES DE PROJETO PARA ALVENARIA ESTRUTURAL NO PIAUÍ	
<i>Ailton Soares Freire</i>	
<i>Terciana Nayala Feitosa de Carvalho</i>	
<i>Carlos René Gomes Ferreira</i>	
<i>Araci de Oliveira Parente Sousa</i>	
<i>Ronildo Brandão da Silva</i>	
DOI 10.22533/at.ed.21019280310	
CAPÍTULO 11	127
UTILIZAÇÃO DE INDICADORES DE DESEMPENHO PARA MENSURAÇÃO DE DESPERDÍCIO EM OBRAS CIVIS	
<i>Evanielle Barbosa Ferreira</i>	
<i>Samuel Jônatas de Castro Lopes</i>	
<i>Danilo Teixeira Mascarenhas de Andrade</i>	
DOI 10.22533/at.ed.21019280311	

CAPÍTULO 12	139
O NÍVEL DE SERVIÇO E ÍNDICE DE QUALIDADE DA CALÇADA: ESTUDO DE CASO EST-UEA	
<i>Angra Ferreira Gomes</i>	
<i>Valdete Santos de Araújo</i>	
DOI 10.22533/at.ed.21019280312	
CAPÍTULO 13	146
UTILIZAÇÃO DO VANT PARA INSPEÇÃO DE SEGURANÇA NA CONSTRUÇÃO DE UMA AVENIDA EM BELÉM-PA	
<i>Diogo Wanderson Borges Lisboa</i>	
<i>Ana Beatriz Sena da Silva</i>	
<i>Anna Beatriz Aguiar de Souza</i>	
<i>Eliete Santana Chaves Barroso</i>	
<i>Márcio Murilo Ferreira de Ferreira</i>	
DOI 10.22533/at.ed.21019280313	
CAPÍTULO 14	156
CAUSAS E EFEITOS DA RESSONÂNCIA EM EDIFICAÇÕES URBANAS	
<i>Beth Luna Monteiro Moreira</i>	
<i>Biatriz Vitória da Conceição Moraes Custodio</i>	
<i>Juliana Silva de Oliveira</i>	
<i>Larissa Medeiros de Almeida</i>	
<i>Lucian Araújo da Silva</i>	
<i>Luciana de Oliveira Guimarães</i>	
DOI 10.22533/at.ed.21019280314	
CAPÍTULO 15	161
SISTEMA MINI TARP: UMA PROPOSTA PARA A ELIMINAÇÃO DOS IMPACTOS PROVOCADOS PELAS ENCHENTES E CONTAMINAÇÃO DO RIBEIRÃO ARRUDAS	
<i>João Carlos Teixeira da Costa</i>	
<i>Raíssa Ávila Nascimento</i>	
DOI 10.22533/at.ed.21019280315	
CAPÍTULO 16	182
LEVANTAMENTO QUANTITATIVO DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS DE FACHADAS EM EDIFICAÇÕES MULTIPAVIMENTOS NA ÁREA URBANA CENTRAL DE PATOS DE MINAS - MG	
<i>Roni Alisson Silva</i>	
<i>Douglas Ribeiro Oliveira</i>	
<i>Rogério Borges Vieira</i>	
DOI 10.22533/at.ed.21019280316	
CAPÍTULO 17	189
NOVOS PARADIGMAS E DESAFIOS NO ENSINO DE DISCIPLINAS PROFISSIONALIZANTES DE ENGENHARIA CIVIL COM BASE NA APRENDIZAGEM BASEADA EM PROBLEMAS	
<i>Henrique Clementino de Souza</i>	
DOI 10.22533/at.ed.21019280317	

CAPÍTULO 18 201

INICIANDO A VIDA ACADÊMICA POR MEIO DO ESTUDO DAS SECÇÕES CÔNICAS
E SUAS APLICAÇÕES NA ENGENHARIA CIVIL

Raimundo Nonato de Oliveira Sobrinho

Gabriel Alves de Abreu

Paulo Henrique Teixeira da Silva

Paulo Rafael de Lima e Souza

DOI 10.22533/at.ed.21019280318

SOBRE A ORGANIZADORA..... 215

PLANILHAS DE DIMENSIONAMENTO DE VIGA E PILAR METÁLICO EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO

Marcus da Silva Camargo

UNIP – Universidade Paulista, Pós-Graduação
Lato Sensu em Estruturas Metálicas: Projeto e
Detalhes Construtivos

FACI – Faculdade Ideal, Curso de Graduação em
Engenharia Civil
Belém – PA

Cleverson Cardoso

UNIP – Universidade Paulista, Pós-Graduação
Lato Sensu em Estruturas Metálicas: Projeto e
Detalhes Construtivos

Belém – PA

José Raimundo Serra Pacha

FACI – Faculdade Ideal, Curso de Graduação em
Engenharia Civil
Belém – PA.

RESUMO: Já se sabe que o calor gerado pelo fogo durante um incêndio diminui a resistência estrutural de edificações em aço ou em concreto armado. Para garantir a segurança na saída dos usuários e nas operações de combate a chamas, o Corpo de Bombeiros de alguns Estados brasileiros vem melhorando e exigindo a aplicação de Instruções Técnicas com o objetivo de garantir que estruturas, em situação de incêndio, apresentem resistência e segurança durante um determinado período de tempo. Essas Instruções Técnicas têm base fundamentalmente técnica em normas

brasileiras e estrangeiras com o propósito de verificar e melhorar a resistência das estruturas prediais. Nesse caso o Engenheiro Estrutural deverá verificar e dimensionar essas estruturas quando em situação de incêndio, conforme determinação dessas normas e Instruções Técnicas. Esse artigo tem o objetivo de apresentar duas planilhas de cálculo em linguagem VBA (Visual Basic for Applications) que facilitam e agilizam a verificação e o dimensionamento de vigas e pilares em aço, com ou sem revestimento de proteção, tomando como base as diretrizes das normas brasileiras NBR 14323, NBR 14432 e a NBR 8800.

PALAVRAS-CHAVE: Estrutura Metálica, Incêndio, Segurança, Resistência, Planilha.

ABSTRACT: It is knowledge that the heat generated by fire during a burning decreases the structural strength of buildings in steel or reinforced concrete. In order to guarantee the safety of users exit and fire-fighting operations, the some of Fire Brigade's Brazilian states has been improving and requiring the application of Technical Instructions in order to ensure that structures in a fire situation show resistance and safety during a certain period of time. These Technical Instructions have a fundamental technical basis in Brazilian and foreign standards with the purpose of verifying and improving the resistance of the building structures. In this case,

the Structural Engineer shall verify and size these structures when in a fire situation, as determined by these standards and Technical Instructions. The objective of this article is to present two VBA (Visual Basic for Applications) calculation spreadsheets that facilitate and expedite the verification and dimensioning of steel beams and columns, with or without protection coating, based on the guidelines of the standard's Brazilian companies NBR 14323, NBR 14432 and NBR 8800

KEYWORDS: Metallic Structures, Fire, Safety, Strength, Spreadsheets.

1 | INTRODUÇÃO

Para a construção civil brasileira, as estruturas metálicas vêm se tornando um importante sistema estrutural, mostrando vantagens bastante interessantes como maiores velocidades de construção, estruturas de menor peso, fundações mais econômicas e rápidas, diminuição do desperdício no canteiro de obras devido à facilidade de montagem e a possibilidade de vencer grandes vãos.

O incêndio, conforme Vargas (2005), é um sinistro que gera grandes riscos aos usuários de uma edificação devido a exposição severa à fumaça ou ao calor gerado e o eventual desabamento dos elementos construtivos.

Mesmo com as tecnologias modernas de detecção e extinção de fogo, instalados em prédios e residências térreas, o incêndio é um risco importante que deve ser levado em conta por projetistas, construtores e usuários.

Devido a sua alta rigidez e resistência mecânica, as estruturas de aço apresentam também seções transversais menores quando comparadas com as estruturas de concreto armado, facilitando a transferência de calor por toda a estrutura em situações de incêndio. Outro ponto importante também é que o aço apresenta elevada condutividade térmica o que diminui ainda mais o tempo de distribuição do calor pela estrutura, sendo bastante prejudicial à resistência em condições de incêndio podendo levar ao colapso.

Para o dimensionamento de estruturas metálicas em situação de incêndio os engenheiros projetistas estruturais podem se valer, além das normas estrangeiras como a *Eurocode 3*, das normas brasileiras NBR 14323 e NBR 14432.

A NBR 14323, publicada inicialmente em 1999, revisada em 2013, tem o objetivo de estabelecer os requisitos para o projeto de estruturas metálicas ou de estruturas mistas de aço e concreto de edificações em situações de incêndio cobertas pelas normas NBR 8800 e NBR 14762.

Já a NBR 14432, publicada inicialmente em 2000, encontra-se na última atualização desde 2001, onde prescreve “as condições a serem atendidas pelos elementos estruturais e de compartimentação que integram os edifícios para que, em situação de incêndio, seja evitado o colapso estrutural (...)”.

Essa segunda norma tem a importante função de determinar o tempo mínimo

necessário que a estrutura, em condição de incêndio, tem que resistir para que possa permitir a fuga dos ocupantes da edificação, a segurança nas operações de combate a incêndio e a minimização de danos a edificações adjacentes. Esse tempo é conhecido como TRRF (Tempo Requerido de Resistência ao Fogo).

Outro de ponto de grande importância é que nem todas as edificações (sendo de sistema estrutural de aço ou de concreto) precisam ser dimensionadas ou verificadas quanto a resistência em condição de incêndio. Conforme NBR 14432, isso dependerá da área, de sua altura, do uso para qual a edificação será utilizada e da carga de incêndio específica presente dentro no mesmo.

Conforme informado por Martins (2000), no Brasil o Corpo de Bombeiros da maioria dos estados possui regulamentos que suprem satisfatoriamente os requisitos relacionados à detecção e extinção de incêndio, contudo numa atitude pioneira e de grande impacto, desde 1995, o Corpo de Bombeiros do Estado de São Paulo tem feito cumprir um regulamento próprio pelo qual grande parte das estruturas metálicas construída nessa cidade precisa ser protegida por material isolante.

Segundo a Associação Brasileira de Engenharia e Consultoria Estrutural (ABECE) em 2004 o Corpo de Bombeiros de São Paulo regulamentou, conforme decreto estadual nº 46.076/01 a correção da tabela A – Tempo Requerido de Resistência ao Fogo (TRRF) da Instrução Técnica nº 08 na revisão de 2004.

O Corpo de Bombeiro do Estado de Minas Gerais tem a Instrução Técnica nº06/2005 que também determina o TRRF para as estruturas montadas nesse Estado.

Sendo assim observa-se que há uma tendência por parte do Corpo de Bombeiros Militares dos Estados brasileiros de que as estruturas das edificações tenham resistência comprovada para o respectivo TRRF.

Com isso é fato que o engenheiro projetista estrutural deverá, durante a elaboração do projeto da edificação, garantir a segurança dos usuários, verificando a aplicabilidade das normas e garantindo que os componentes estruturais tenham a resistência mínima capaz de atender o TRRF estipulado para a edificação, quando aplicável.

Tem-se então o objetivo de desenvolver planilhas eletrônicas de cálculo geradas pelo Microsoft Excel, utilizando a linguagem *Visual Basic for Applications* (VBA), para facilitar o dimensionamento e verificação da resistência de pilares e vigas metálicas de acordo com as normas brasileiras vigentes, além de especificar o tipo de revestimento de proteção.

2 | CARACTERÍSTICA E ASPECTOS GERAIS DOS INCÊNDIOS

De acordo com Silva (2010) o fogo é um fenômeno físico-químico, caracterizado por uma reação de oxidação, com emissão de calor e luz. Os quatro componentes que devem coexistir para a ocorrência da combustão são:

- Combustível: qualquer substância capaz de produzir calor por meio de reação química da combustão;
- Comburente: substância que alimenta a reação química da combustão (o oxigênio é a mais comum);
- Calor: energia térmica que se transfere de um sistema para outro em virtude da diferença de temperatura entre os dois;
- Reação em cadeia: a sequência dos três eventos acima, que resulta na combustão propriamente dita.

2.1 Evolução do Incêndio

Silva (2010) também conceitua que a evolução de um incêndio se divide em três fases distintas: fase inicial de elevação de temperatura, fase de aquecimento brusco, fase de resfriamento e extinção. Essas fases são visualizadas na curva da temperatura em relação ao tempo conforme figura 2.1.

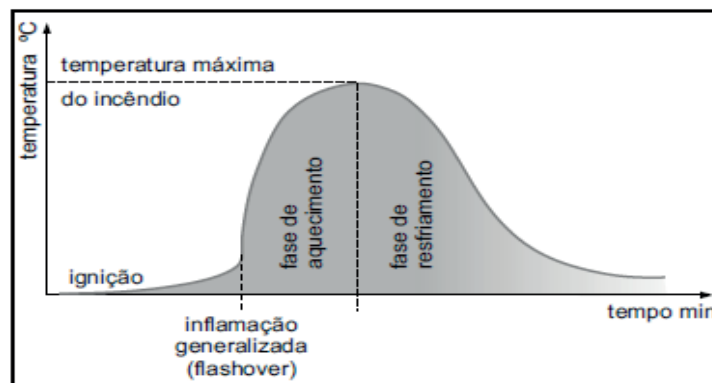


Figura 2.1 – Curva temperatura x tempo de um incêndio real

Fonte: Silva/2010

2.2 Curvas de Temperatura Versus Tempo de Um Incêndio Real

De acordo com Vargas (2005) a curva Temperatura versus tempo de um incêndio é bastante difícil de ser estabelecida, pois depende de:

- Tipo e quantidade e distribuição da carga de incêndio (material combustível presente no compartimento em chamas).
- Grau de ventilação do compartimento calculado a partir das dimensões das aberturas (janelas, portas) para o ambiente externo.
- Tipo de material e espessura dos elementos de vedação do compartimento.

Para confirmar, Martins (2000) apresenta, na figura 2.2 as curvas de temperatura versus tempo variando a quantidade de material combustível em quilos de equivalente em madeira. E na figura 2.3 mostra várias curvas de incêndio variando-se a ventilação.

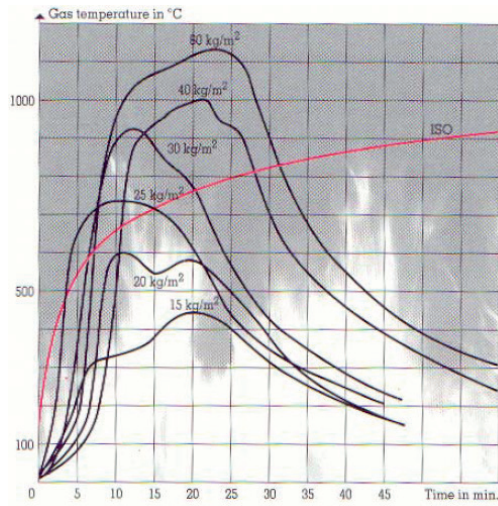


Figura 2.2 – Variação de Temperatura dos Gases para diferentes cargas de combustível.

Fonte: Martins/2000

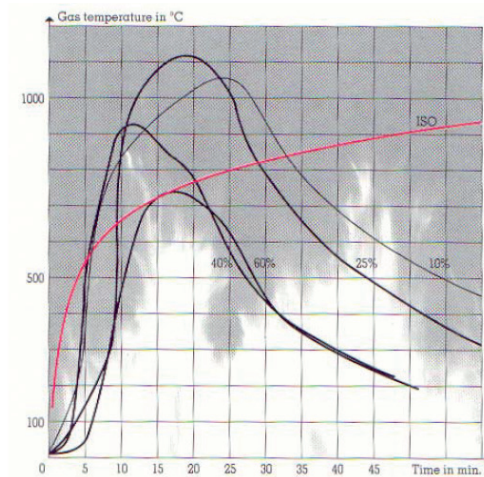


Figura 2.3 – Variação da temperatura dos gases para diferentes áreas de ventilação

Fonte: Martins/2000

As figuras acima confirmam o que Vargas (2005) havia informado sobre a dificuldade em se determinar o gráfico da temperatura dos gases versus tempo para cada situação de incêndio. Cada edificação tem um tipo e quantidade de combustível presente, um grau de ventilação e o tipo de material e espessura dos elementos de vedação.

2.3 Curva Temperatura Versus Tempo Padrão

Para que fosse possível verificar a segurança de componentes estruturais de uma edificação devido à alta temperatura dos gases gerados durante um incêndio, convencionou-se utilizar a equação abaixo:

$$\text{Onde: } \theta_g = \theta_0 + 345 \log_{10}(8t + 1)$$

- t é o tempo em minutos;

- θ_g é a temperatura dos gases em graus Célsius no instante t e;
- θ_0 é a temperatura do ambiente antes do início do aquecimento em graus Célsius, normalmente tomada por 20°C.

Essa equação permite gerar um gráfico de temperatura versus tempo que serve como modelo. Elevação da temperatura padronizada é conhecida como *Incêndio Padrão* e padronizada pela NBR 14432 (2001).

A figura 2.4 mostra o gráfico de Incêndio Padrão gerado a partir da equação.

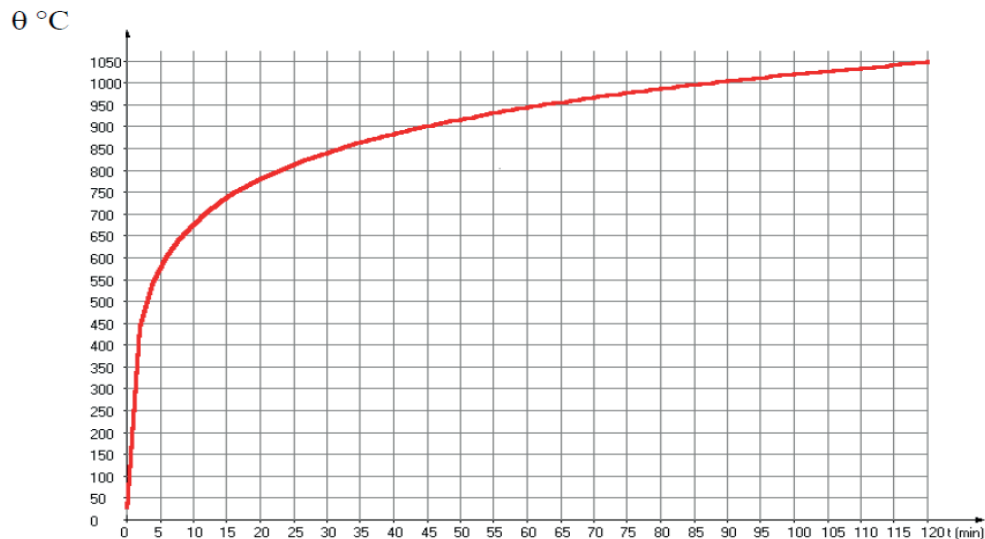


Figura 2.4 – Curva do Incêndio Padrão

Fonte: Martins/2000

As figuras 2.2 e 2.3 apresenta a curva do incêndio padrão em vermelho para efeito de comparação do que foi obtido em experimentos de laboratório.

Conforme ressaltado por Vargas (2005) quaisquer conclusões que tenham por base essa curva, devem ser analisadas com cuidado, pois não correspondem ao comportamento real do incêndio ou da temperatura das estruturas expostas ao fogo. É fato que a temperatura atuante no elemento estrutural é inferior à temperatura dos gases quentes.

3 | SEGURANÇA ESTRUTURAL

Conforme mencionado anteriormente, os componentes estruturais, em situação de incêndio, devem apresentar resistência suficiente para que a edificação não entre em colapso em um determinado tempo mínimo.

Conforme informado por Vargas (2005) a exigência de resistência ao fogo é estabelecida em forma de tempo, seja por meio do TRRF (tempo requerido de resistência ao fogo) ou do tempo equivalente. Os tempos são preestabelecidos entre 30 e 120 minutos, com intervalos de 30 minutos, em função da altura da edificação, da área do pavimento, da ocupação do edifício, das medidas de proteção ativa disponíveis, etc.

Com o aumento do risco a vida dos ocupantes de uma edificação, o TRRF também irá aumentar. Ou seja, a estrutura deverá suportar um tempo maior de incêndio, permitindo a saída dos ocupantes, a segurança das operações de combate a incêndio e a minimização dos danos nas edificações adjacentes.

O TRRF pode ser determinado através de duas formas: a tabular, ou tempo equivalente.

É certo também que nem todas as edificações em estruturas metálicas necessitam de comprovação quanto à resistência estrutural ao fogo. A NBR 14432 (2001) – Anexo A – relaciona uma série de casos em que, devido ao baixo risco a vida humana, isenta de verificação ou dimensionamento de revestimentos de proteção. Vargas (2005) elaborou uma tabela resumo para referência, mas lista de isenções completa encontra-se na referida norma.

Área	Uso	Carga de incêndio específica	Altura	Meios de proteção
≤ 750 m ²	Qualquer	Qualquer	Qualquer	
≤ 1500 m ²	Qualquer	≤ 1000MJ/m ²	≤ 2 pav.	
Qualquer	Centros esportivos Terminais de pass.	Qualquer	≤ 23 m	
Qualquer	Garagens abertas	Qualquer	≤ 30 m	
Qualquer	Depósitos	Baixa	≤ 30 m	
Qualquer	Qualquer	≤ 500MJ/m ²	Térrea	
Qualquer	Industrial	≤ 1200MJ/m ²	Térrea	
Qualquer	Depósitos	≤ 2000MJ/m ²	Térrea	
Qualquer	Qualquer	Qualquer	Térrea	Chuveiros automáticos
≤ 5000 m ²	Qualquer	Qualquer	Térrea	Fachadas de aproximação

Tabela 3.1 – Exemplo de edificações isenta de verificação de resistência ao fogo.

Fonte: Vargas (2005)

4 | PROPRIEDADES MECÂNICAS

Conforme apresentado por Correia (2007), as características físicas e químicas do aço apresentam degradação quando expostos a altas temperaturas. A figura 4.1 apresenta os fatores de redução, relativos aos valores a 20°C, para taxas de aquecimento entre 2°C/min e 50°C/min.

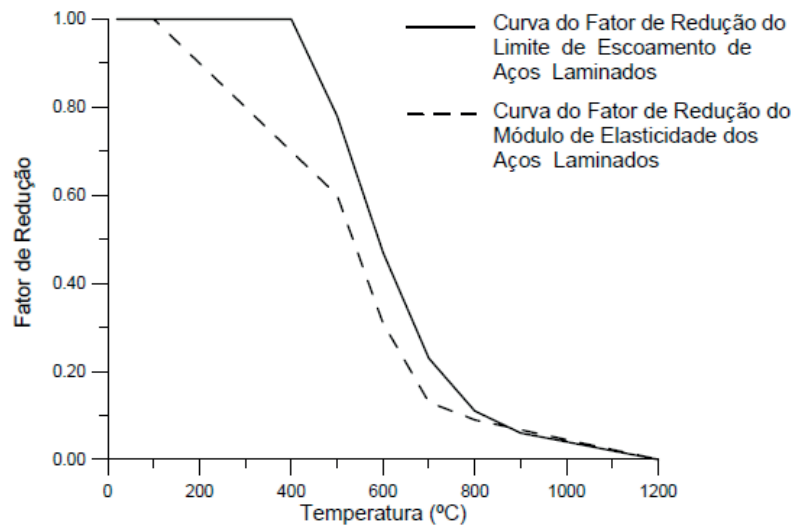


Figura 4.1 – Variação dos fatores de redução com o aumento da temperatura

Fonte: Correia (2007)

Correia (2007) apresenta dois gráficos, gerados a partir dos dados obtidos nas normas NBR 14323 (aço) e NBR 15200 (concreto), que comparam as variações da resistência ao escoamento e do módulo de elasticidade do aço e do concreto quando submetidos a altas temperaturas. Abaixo as figuras 4.2 e 4.3 dos respectivos gráficos.

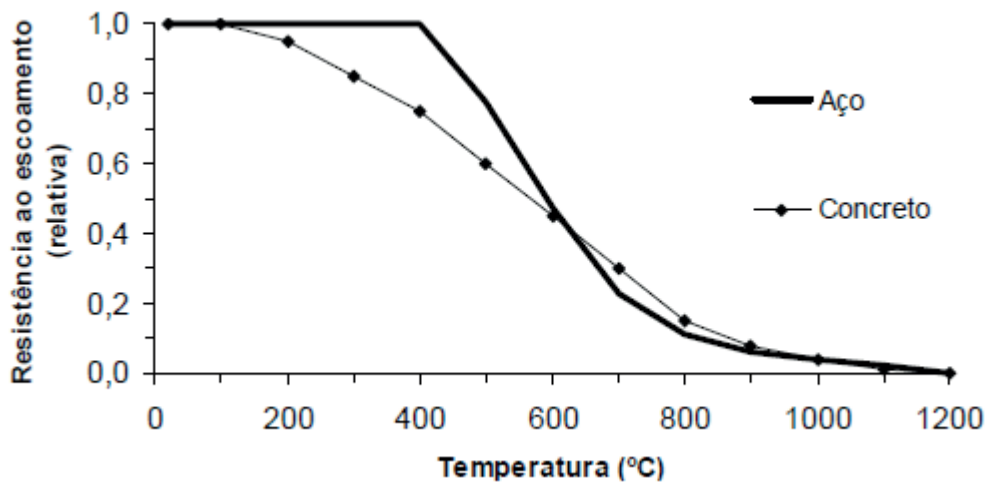


Figura 4.2 – Variação da resistência ao escoamento relativa com a temperatura

Fonte: Correia (2007)

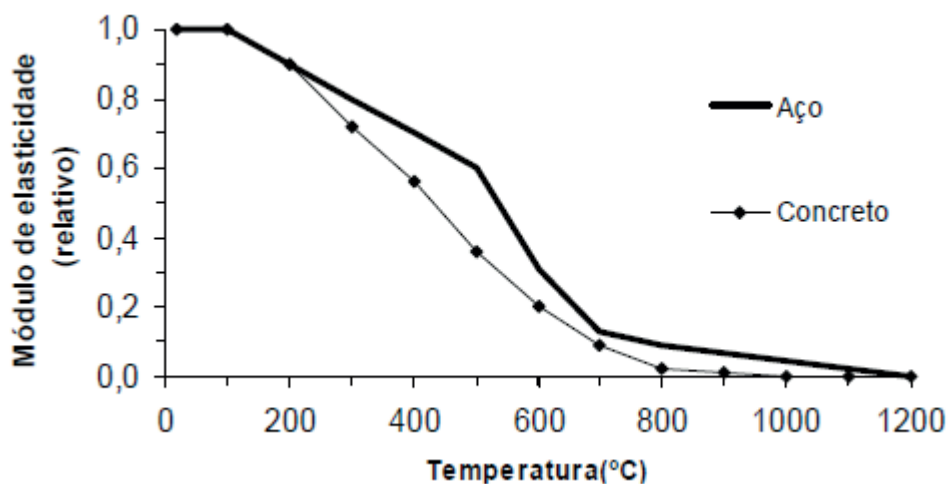


Figura 4.3 – Variação do módulo de elasticidade relativo com a temperatura

Fonte: Correia (2007)

Pode-se observar nos gráficos acima que o concreto deprecia as propriedades com o aumento da temperatura mais rapidamente do que o aço. Porém como informado por Correia (2007) na prática as estruturas de aço são dimensionadas com seções mais esbeltas do que quando dimensionadas em concreto, devido as propriedades mecânicas do primeiro material, sendo assim a comparação de perda de propriedade nas estruturas com o aumento de temperatura torna-se não adequado.

A NBR 14323 (2013) informa as variações das propriedades do alongamento, calor específico e condutividade térmica dos aços de perfis estruturais com a temperatura. Entretanto é alertado que aços estruturais com propriedades diferentes das definidas pela NBR 8800 ou NBR 14762, devem ser verificados as propriedades mecânicas para a posterior utilização.

5 | ELEVAÇÃO DE TEMPERATURA NO AÇO DE COMPONENTES ESTRUTURAIS COM REVESTIMENTO CONTRAFOGO

Ao realizar a verificação da resistência de uma estrutura em situação de incêndio, mas a essa não conseguir resistir as cargas solicitantes, o projetista deverá tomar algumas medidas para que a estrutura venha apresentar a segurança necessária.

Para isso o projetista tem várias opções a ser tomada, uma dessas será aumentar o perfil do componente estrutural, empregando mais massa de aço, maior momento de inércia, por consequência menor fator de massividade. Contudo essa opção pode se tornar pouco econômica tendo em vista o tamanho da edificação e a quantidade de perfis que deverão ser trocados.

Outra opção será a implantação sistemas de proteção ativa como o sistema de

deteção de fumaça e fogo, os chuveiros automáticos, a brigada de incêndio dentre outros. Essa medida irá gerar menores valores de TRRF quando da utilização do Método do Tempo Equivalente. Contudo essa opção pode não ser eficiente e não conseguir diminuir o TRRF a ponto de ficar menor que o tempo crítico de temperatura do aço, além do fator custo ainda ser bastante pesado nesse quesito.

A norma NBR 14323 também alerta que para o caso de existência de umidade no revestimento contrafogo, o cálculo da elevação da temperatura do aço pode ser modificado para levar em conta um retardo no aumento da temperatura. Esse retardo deverá ser determinado através de ensaios realizados em laboratório.

Outro ponto de alta relevância citado por essa norma é que no caso de o revestimento de proteção ser utilizada pintura intumescente, o procedimento de determinação do aumento de temperatura mostrado acima, não poderá ser aplicado. Nesses casos o procedimento deverá ser realizado conforme as melhores práticas desenvolvidas pelos fabricantes dessas tintas dispostos em seus catálogos.

6 | DIMENSIONAMENTOS DE ESTRUTURAS METÁLICAS

De acordo com Correia (2007) a verificação de segurança da estrutura em situação de incêndio pode ser feita no domínio do tempo, no domínio da resistência ou no domínio da temperatura.

Contudo as planilhas executarão as verificações no domínio da resistência, comparando a resistência solicitante das cargas e sobrecargas com a resistência calculada do elemento estrutural.

Abaixo o fluxograma básico da verificação no domínio da resistência

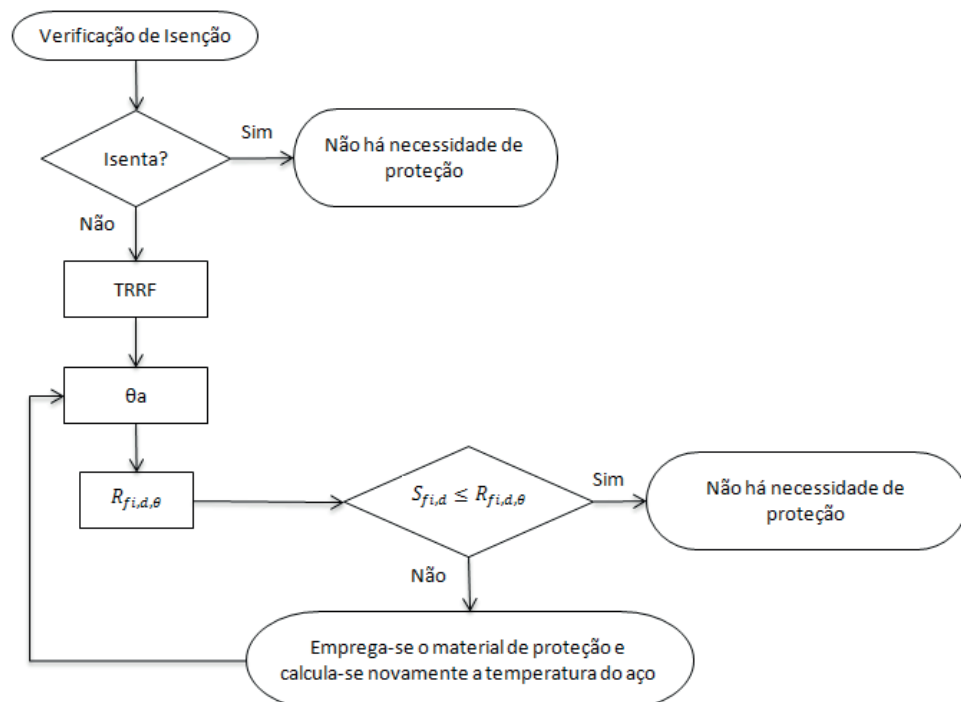


Figura 6.1 – Fluxograma de verificação de segurança no domínio da resistência

7 | PLANILHAS DE DIMENSIONAMENTO

É fato que a utilização pelos projetistas de softwares avançados e com alto custo de compra tem sido largamente utilizada pelos escritórios de dimensionamento e construção de estruturas metálicas, concreto ou estrutura mista. Vários produtos existem no mercado dos mais variados preços, possibilidades de cálculos, atendimento a normas (nacionais ou internacionais) ou possibilidade de detalhamentos (economizando tempo de geração dos desenhos executivos).

Porém, nos escritórios também é bastante utilizado planilhas eletrônicas de cálculos, gerados pelo software Excel da Microsoft, que possibilitam uma infinidade de cálculos, dimensionamentos e verificações estruturais. Muitas vezes até mais rápido que softwares mais avançados.

Nesse trabalho foram desenvolvidas duas planilhas de cálculo para a verificação e o dimensionamento de vigas e pilares com perfil I ou H metálicos em situação de incêndio. Essas planilhas permitem definir desde o tempo requerido de resistência ao fogo (pelo método tabular ou pelo método do tempo equivalente) passando pela definição das cargas solicitantes, definindo o dimensional da seção metálica utilizada, calculando a carga resistente e definindo, se necessário, a aplicação de revestimento de proteção.

Na utilização das planilhas o projetista poderá dimensionar vigas e pilares metálicos, com ou sem revestimento de proteção contrafogo ou poderá utiliza-las para confirmar de forma mais rápida um dimensionamento realizado ou a verificação da segurança em situação de incêndio de componentes isolados de estruturas metálicas existentes.

As planilhas foram baseadas nos requisitos de projeto de estruturas de aço em condição de incêndio das normas NBR 14323 e NBR 14432. Como não poderia ser diferente, também foram utilizados requisitos de dimensionamento da norma NBR 8800 (2008).

As planilhas não dimensionam elementos estruturais de perfis formados a frio conforme requisitos da norma NBR 14762 (2010). Somente para perfis laminados ou soldados conforme NBR 8800 (2008).

Os cálculos, em ambas as planilhas, são realizados utilizando o domínio das resistências somente, facilitando a visualização pelo projetista da carga solicitante e a carga resistente.

7.1 Cálculo de Vigas Em Situação de Incêndio

Ao iniciar a planilha de cálculo *VigaMetalFogo* observa-se que o processo de

cálculo inicia na aba TRRF. Nessa aba é possível determinar o TRRF pelo Método Tabular ou pelo Método do Tempo Equivalente conforme requisitos das NBR 14432 e 14432.

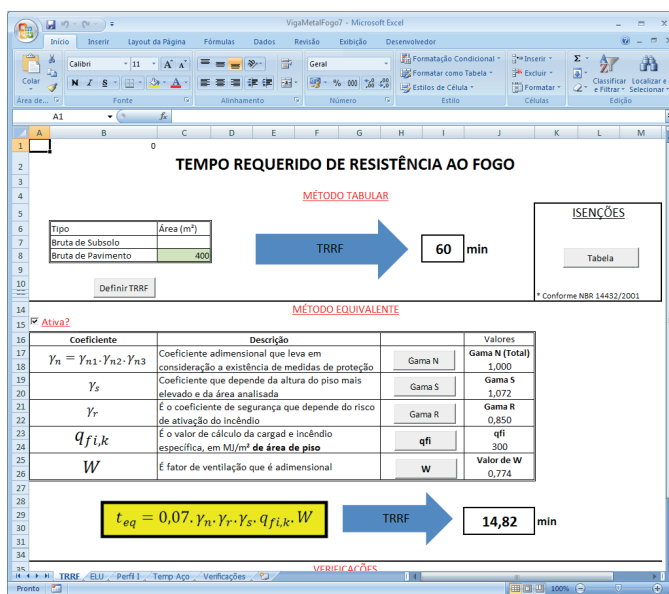


Figura 7.1 – Planilha de cálculo do TRRF

Fonte: Autor

A determinação do TRRF pelo Método Tabular é sempre obrigatória e para isso será necessário inserir os valores de área bruta do pavimento. A área bruta do subsolo é inserida caso a edificação apresente, caso contrário a célula poderá ficar em branco. Depois de inserido esses valores, o projetista deverá definir o TRRF através do botão *Definir TRRF* através da altura e da ocupação da edificação, conforme preconiza a NBR 14432 (2001).

Está disponível uma tabela informativa com as isenções de edificações conforme definido pela NBR 14432 através do botão *Tabela* dentro de *Isenções*.

Uma vez calculado o TRRF pelos Métodos Tabular e Tempo Equivalente a programação VBA fará uma verificação conforme limitações definidas no Anexo F da NBR 14323 (2013). A planilha verificará quanto ao *teq* ser maior que 15 minutos e não ser inferior ao Método Tabular reduzido de 30 minutos. O TRRF que será utilizado nos cálculos posteriores será o maior entre os valores do tempo pelo Método Tabular, Método do Tempo Equivalente e tempo tabular subtraído de 30 minutos.

Na sequência será realizada a determinação da carga solicitante em Estado Limite Ultimo (ELU). O projetista deverá definir a equação da combinação que melhor se aplica a estrutura em questão. Está disponível um botão chamado *Informações* com as descrições de cada incógnita das expressões.

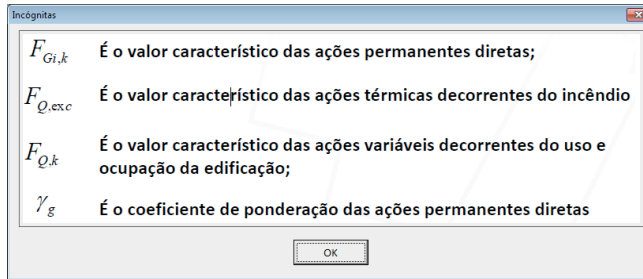


Figura 7.2 – Descrições das incógnitas das expressões de combinações

Fonte: Autor

O projetista também precisará definir o valor do γ_g , através do botão *Coefficiente* γ_g , conforme definições de norma NBR 14323 (2013).

Ações permanentes diretas	γ_g
Peso próprio de estruturas metálicas	1,10
Peso próprio de estruturas pré-moldadas, estruturas moldadas no local e de elementos construtivos industrializados e empuxos permanentes	1,15
Peso próprio de elementos construtivos industrializados com adições <i>in loco</i>	1,20
Peso próprio de elementos construtivos em geral e equipamentos	1,30

Figura 7.3 – Tabela de determinação do γ_g

Fonte: Autor

A planilha calcula considerando barras biapoada com carga distribuída somente. Nesse trabalho não foram previstos a aplicação de cargas concentradas, simulando o apoio de uma viga intermediária, por exemplo.

Serão calculados também os valores de Momento Fletor Solicitante e Força Cortante Solicitante em situação de incêndio.

ESTADO LIMITE ÚLTIMOS (ELU)

Combinações

- Locais onde há a predominância de pesos e de equipamentos que permanecem fixos por longos períodos de tempo, nem de elevadas concentrações de pessoas;

$$F_d = \sum_{i=1}^m (\gamma_{gi} F_{Gi,k}) + F_{Q,exc} + 0,21 F_{Q,k}$$

- Locais em que há predominância de pesos de equipamentos que permanecem fixos por longos períodos de tempo, ou de elevadas concentração de pessoas;

$$F_d = \sum_{i=1}^m (\gamma_{gi} F_{Gi,k}) + F_{Q,exc} + 0,28 F_{Q,k}$$

- Bibliotecas, arquivos, depósitos, oficinas e garagens

$$F_d = \sum_{i=1}^m (\gamma_{gi} F_{Gi,k}) + F_{Q,exc} + 0,42 F_{Q,k}$$

Informações Coeficiente γ_g

CARGAS SOLICITANTES

Cargas Solicitantes Características

Cargas (kN/m)	
Permanentes (G)	8,5
Ações Térmicas (F _{Q,exc})	0
Variáveis (Q)	6

Comprimento da Viga: 12 (m)

→
12,73 kN/m
 CALCULA

Momento e Cortante Solicitantes em Condições de Incêndio

$M_{Sd,fi} = \frac{F_{d,fi} \cdot L^2}{8}$
229,14 (kNm)

$V_{Sd,fi} = \frac{F_{d,fi} \cdot L}{2}$
76,38 (kN)

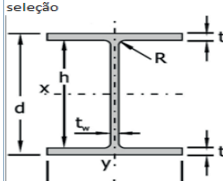
Figura 7.4 – Aba *ELU* para cálculo das cargas solicitantes de cálculo

Na sequência será definido o tipo de perfil metálico que a viga está utilizando. A aba *Perfil I* permitirá, nesse caso, que seja escolhido perfil simétrico ou assimétrico, assim como a tensão de escoamento para o aço. Contudo não será possível escolher mais de um tipo de aço para a mesma viga, ela será considerada como homogênea conforme preconiza o Método Simplificado de Dimensionamento para Estruturas de Aço da NBR 14323 (2013).

Uma vez definido o perfil da viga, todas as características geométricas do perfil serão calculadas automaticamente pela planilha.

ESCOLHA DO PERFIL I

- O Perfil I poderá ser escolhido conforme dimensionais padronizados ou montar um perfil customizado preenchido no valor na caixa de seleção



Descrição	(mm)
Mesa Superior (bfs)	250
Mesa Inferior (bfi)	250
Espessura da Mesa Sup. (tfs)	12,5
Espessura da Mesa Inf. (tfi)	12,5
Altura (d)	550
Altura da Alma (h)	525
Espessura da Alma (tw)	6,35

Características Geométricas

Pos. CG (inferior):	275,0	mm	Inércia y (Iy):	3256,3	cm ⁴
Massa:	75,23	kg	Módulo Resistente (Wy):	260,5	cm ³
Área:	95,84	cm ²	Raio de Giração y (ry):	5,83	cm ³
Inércia x (Ix):	52806,9	cm ⁴	Módulo Plástico y (Zy):	395,9	cm
Módulo Resistente x (Wxs):	1920,3	cm ³	Raio de Giração Torção (rt):	6,65	cm ³
Módulo Resistente x (Wxi):	1920,3	cm ³	Inércia Torção (It):	37,14	cm ⁴
Raio de Giração x (rx):	23,47	cm	Coef. Empenamento (Cw):	2351125	cm ⁶
Módulo Plástico (Zx):	2117,2	cm ³			

Material

Tensão de Escoamento (fy) (MPa) Modulo de Elasticidade (E) (MPa)

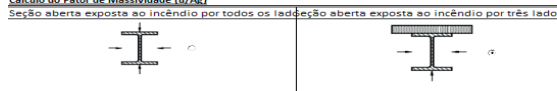
Figura 7.5 – Aba de definição do dimensional do perfil I

Fonte: Autor

Uma vez definido o perfil e a tensão de escoamento do aço, o projetista poderá definir a forma que a viga está, ou será instalada na edificação. Com isso será possível alterar o fator de massividade.

DETERMINAÇÃO DA TEMPERATURA DO AÇO

Cálculo do Fator de Massividade (u/Ag)
 Seção aberta exposta ao incêndio por todos os lados / Seção aberta exposta ao incêndio por três lados



(u/Ag) (m⁻¹)

Cálculo da Temperatura Crítica do Aço para o TRRF sem Proteção
 TRRF Definido min

- Valor Interpolado da Temperatura dos Gases (θg)
 $\theta_g = 345 \log_{10}(8r+1) + 20$ °C

- Fluxo de Calor Total (φ)
 $\phi = \phi_r + \phi_c$ W

- Fluxo de calor devido a Convecção
 $\phi_c = \alpha_c (\theta_g - \theta_a)$ W

- Fluxo de calor devido a Radiação
 $\phi_r = 5,67 \times 10^{-8} \epsilon_{se} [(\theta_g + 273)^4 - (\theta_a + 273)^4]$ W

Determinação dos Fatores de Redução do Aço

- Valor Interpolado da Temperatura do Aço (θa)
 °C

- Fator de redução da resistência ao escoamento do aço devido a temperatura (ky,θ)

- Fator de redução para a resistência ao escoamento de seções sujeitas à flambagem local (kσ,θ)

Cálculo da Temperatura Crítica do Aço para o TRRF com Proteção
 φ Ativa?

- Fator de Massividade com Proteção

Figura 7.6 – Determinação da temperatura do aço com e sem revestimento

Fonte: Autor

Com a definição do TRRF, nos processos descritos anteriormente, a aba *Temp Aço* fará a interpolação, utilizando os valores de uma tabela interna e determinará automaticamente o valor da temperatura dos gases (θ_g), o valor do fluxo de calor por radiação (ϕ_r), o valor do fluxo de calor por convecção (ϕ_c), o valor interpolado da temperatura do aço (θ_a) e o valor do fluxo total de calor (ϕ).

Em outra tabela, com o valor da temperatura do aço da viga definido, a programação da planilha também interpola, em outra tabela disposta internamente, os valores dos fatores de redução da resistência ao escoamento do aço ($k_{y,\theta}$) e o fator de redução para a resistência ao escoamento de seções sujeitas à flambagem local ($k_{s,\theta}$). Valores esses que serão utilizados na aba de *Verificações* que será apresentada a seguir.

Os cálculos para a determinação da temperatura do aço da viga pertinentes aos revestimentos da viga estão disponibilizados nessa aba da planilha. Caso o projetista queira definir a proteção contrafogo na viga, basta selecionar o item *Ativa?* conforme figura 7.7 abaixo.

Cálculo da Temperatura Crítica do Aço para o TRRF com Proteção

Ativa?

Definição

- Fator de Massividade com Proteção

(u/Ag) 191,710 (m⁻¹)

Figura 7.7 – Cálculo da temperatura crítica com proteção

Fonte: Autor

Ao ativar o cálculo da temperatura crítica para o TRRF com proteção, a planilha altera as tabelas internas de interpolação e habilita o botão *Definição* para que o projetista possa determinar o tipo e a espessura de proteção.

Conforme informado anteriormente, os cálculos para a definição da temperatura do aço com pintura intumescente não são os mesmos para as proteções convencionais como argamassa projetada ou gesso acartonado. Por esse motivo essa planilha não calcula a temperatura do aço com esse tipo de revestimento.

A figura 7.8 mostra a tela da forma de cálculo do fator de massividade com proteção, a definição da espessura e do tipo de revestimento aplicado na viga.

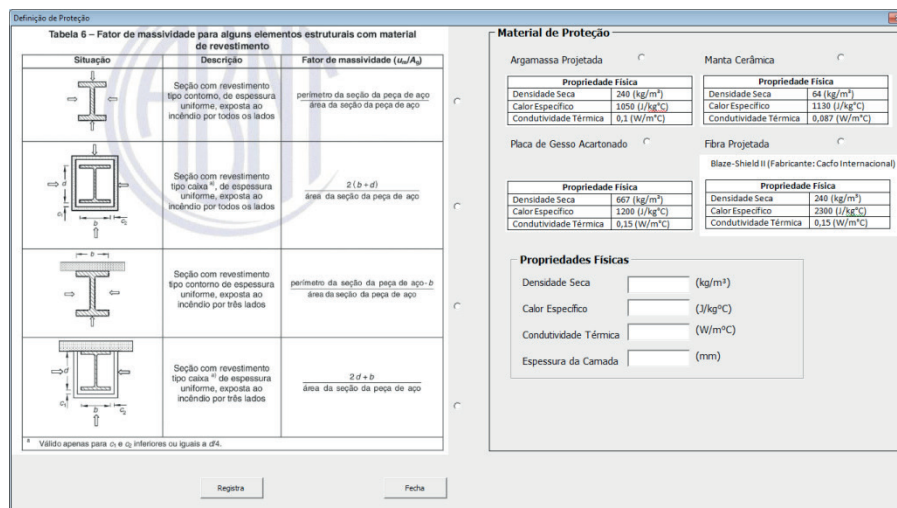


Figura 7.8 – Definição do revestimento de proteção

Fonte: Autor

No lado esquerdo será, conforme tabela da NBR 14323 (2013) a forma de aplicação do revestimento de proteção da viga. Com isso será possível calcular o fator de massividade com a proteção.

No lado direito estão disponíveis quatro tipos de materiais diferentes para revestimento. Os valores das propriedades desses revestimentos foram obtidos de Guimarães (2007) e Vargas (2000) e disponibilizados nessa tela. O valor da espessura deverá ser determinado pelo projetista e inserido no campo específico.

Caso o projetista queira utilizar outro tipo de revestimento não disponibilizado nos materiais de proteção dessa tela, o mesmo poderá inserir os valores das propriedades físicas, respeitando as unidades informadas nessa tela em cada campo de inserção. Inserção de valores com unidades diferentes ao disposto acarretará erros de cálculo.

Na aba de *Verificações* o projetista poderá definir mais algumas características da viga e coletar os resultados das resistências em flambagem local da mesa, flambagem local da alma e a flambagem lateral com torção e visualizar a comparação com a carga solicitante na viga.

Caso a viga não atenda as cargas solicitantes de cálculo, o projetista poderá aplicar revestimento na viga e verificar antes de trocar por um perfil com maiores características geométricas.

É muito importante que o projetista saiba que esta planilha não se aplica para cálculo de perfis esbeltos em situação de incêndio. Esses perfis, conforme NBR 14323 (2013) são dimensionados conforme o Anexo H da NBR 8800 (2008).

Todos os cálculos de carga resistente são realizados para perfis não esbeltos em situação de incêndio, dimensionados conforme o Anexo G da NBR 8800 (2008).

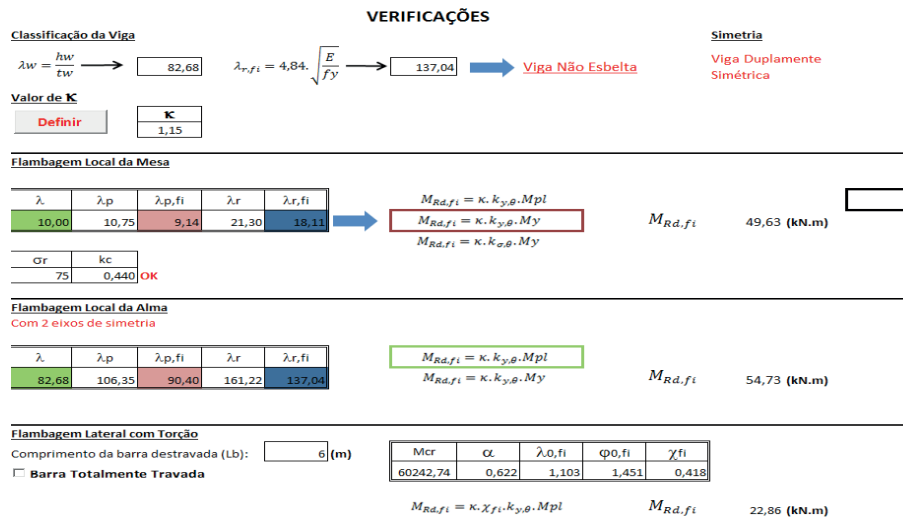


Figura 7.9 – Verificações e determinação das cargas resistentes

Fonte: Autor

Idêntico aos resultados das cargas resistentes de flambagem lateral com torção, da alma e da mesa, a força cortante resistente também é calculada e comparada com a força cortante solicitante de cálculo.

Nos cálculos de determinação da carga resistente quanto a flambagem lateral com torção, o projetista poderá definir se a barra estará totalmente travada durante a atuação de cargas no incêndio, ou se haverá comprimentos destravados.

No dimensionamento da viga quanto a força cortante resistente da viga, o projetista poderá definir, ou não, a utilizações de enrijecedores transversais e qual o distanciamento entre os mesmos.

7.2 Cálculo de Pilares Em Situação de Incêndio

A planilha de cálculo de pilares metálicos em situação de incêndio é a *PilarMetalicoFogo*.

Basicamente a planilha de cálculo de pilar metálico, com relação aos cálculos de TRRF, de temperatura do aço em situação de incêndio, definição do revestimento de proteção são os mesmos que os realizados pela planilha de cálculo de viga metálica em situação de incêndio.

Porém o restante das abas tem suas características e devem ser melhores esplanadas para o completo entendimento sobre o funcionamento da mesma.

Na aba *Perfil I* o projetista poderá definir, além do perfil metálico utilizado no pilar, os coeficientes de flambagem nos eixos x, y e z, definidos os valores de K_x , K_y e K_z e também o comprimento total do pilar.

No botão *Conceitos*, são apresentados os conceitos e os valores de K utilizados nas normas NBR 14323 (2013) e NBR 8800 (2008).

ESCOLHA DO PERFIL I

- O Perfil I poderá ser escolhido conforme dimensionais padronizados ou montar um perfil customizado preenchendo no valor na caixa de seleção. **Obs: Somente serão calculados perfis simétricos.**

Descrição

Largura das Mesas (bf) (mm)

Espessuras das Mesas (tf) (mm)

Altura (d) (mm)

Altura da Alma (h) (mm)

Espessura da Alma (tw) (mm)

Coefficientes de Flambagem

Kx

Ky

Kz

Compr. do Pilar (m)

Características Geométricas

Pos. CG (inferior):	<input type="text" value="150,0"/> mm	Inércia y (Iy):	<input type="text" value="4276,2"/> cm ⁴
Massa:	<input type="text" value="62,39"/> kg	Módulo Resistente (Wy):	<input type="text" value="285,1"/> cm ³
Área:	<input type="text" value="79,48"/> cm ²	Raio de Giração y (ry):	<input type="text" value="7,33"/> cm
Inércia x (Ix):	<input type="text" value="13509,1"/> cm ⁴	Módulo Plástico (Zy):	<input type="text" value="432,0"/> cm ³
Módulo Resistente x (Wxs):	<input type="text" value="900,6"/> cm ³	Raio de Giração Torção (rt):	<input type="text" value="8,14"/> cm
Módulo Resistente x (Wxl):	<input type="text" value="900,6"/> cm ³	Inércia Torção (It):	<input type="text" value="22,11"/> cm ⁴
Raio de Giração x (rx):	<input type="text" value="13,04"/> cm	Coef. Empenamento (Cw):	<input type="text" value="901921"/> cm ⁶
Módulo Plástico (Zx):	<input type="text" value="985,8"/> cm ³		

Material

Tensão de Escoamento (fy) (MPa) Modulo de Elasticidade (E) (MPa)

Figura 7.13 – Escolha do perfil I e dos coeficientes de flambagem

Fonte: Autor

É válido salientar que nessa planilha somente poderão ser escolhidos perfis simétricos. Portanto não será possível alterar comprimento e espessuras das mesas inferior e superior.

Sendo assim, a planilha irá calcular o valor de Q_s , relativo a instabilidade local da mesa e o valor de Q_a , relativo a instabilidade local da alma do perfil e depois multiplicá-los para obter o valor de Q .

Os valores das cargas resistentes à compressão nos três eixos (N_{ex} , N_{ey} e N_{ez}), levando em consideração o comprimento total do pilar, assim como os coeficientes de flambagem, são calculados internamente pela programação VBA da planilha. Porém o projetista poderá obter esses valores ao acionar o botão *Valores Calculados de Ne* disponível nessa aba.

VERIFICAÇÕES

Instabilidade Local de Mesa (NBR 8800)

• Limite de Esbeltez da Mesa $\left(\frac{b}{t}\right)_{lim} = \frac{bf}{2 \cdot tf} = 15,79$

• Limite de Esbeltez em Condição de Incêndio $\left(\frac{b}{t}\right)_{f,lim} = 0,85 \cdot \left(0,64 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y/k_c}}\right) = 12,64$

• Cálculo de Parâmetro de Flambagem Local da Mesa (Q_s)

$0,64 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y/k_c}} = 14,87$ $1,17 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y/k_c}} = 27,19$

$0,64 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y/k_c}} < \frac{bf}{2 \cdot tf} < 1,17 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y/k_c}} \Rightarrow Q_s = 1,415 - 0,65 \cdot \frac{bf}{2 \cdot tf} \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y/k_c}}$

$\frac{bf}{2 \cdot tf} > 1,17 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y/k_c}} \Rightarrow Q_s = \frac{0,90 \cdot E \cdot k_c}{f_y \cdot (bf/2 \cdot tf)^2}$

Qs

Verificação
Mesa Sujeita a Flambagem

Instabilidade Local da Alma (NBR 8800)

• Limite de Esbeltez da Alma $\left(\frac{h}{t}\right)_{lim} = \frac{hw}{tw} = 35,13$

• Limite de Esbeltez em Condição de Incêndio $\left(\frac{h}{t}\right)_{f,lim} = 0,85 \cdot \left(1,49 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}}\right) = 35,82$

• Determinação de σ

$\lambda_0 = \sqrt{\frac{1 \cdot Ag \cdot f_y}{Ne}} = 0,000$ $\left\{ \begin{array}{l} \chi = 0,658^{1+\lambda_0} \text{ para } \lambda_0 \leq 1,5 \\ \chi = \frac{0,877}{\lambda_0^2} \text{ para } \lambda_0 > 1,5 \end{array} \right. = 0,000$

$\sigma = \chi \cdot f_y = 0,00$

Valores Calculados de Ne

Verificação
Não Haverá Flambagem Local na Alma

Figura 7.14 – Verificações e cargas resistentes

Fonte: Autor

Ao final da aba é possível verificar a resistência a compressão do perfil escolhido

e esse atender a carga solicitante de cálculo em situação de incêndio.

É fato que essa verificação de carga resistente é calculada levando em consideração se o pilar está com proteção a fogo ou não. Logo, caso o perfil não atenda as cargas solicitantes o projetista poderá dimensionar a aplicação de revestimento antes da troca por um perfil com maiores características geométricas.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8800**: projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios. Rio de Janeiro, 2008;

_____. **NBR 14323**: projetos de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios em situação de incêndio. Rio de Janeiro, 2013;

_____. **NBR14432**: exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos de edificação – procedimentos. Rio de Janeiro, 2001;

_____. **NBR14762**: dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio. Rio de Janeiro, 2010;

CARDOSO, Cleverson G. Estruturas de aço em situação de incêndio. INBEC; Belém. Abril de 2017. 344 slides. Apresentação em Power Point.

CORPO DE BOMBEIROS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Instrução técnica nº 08/2015**: Resistência ao fogo dos elementos de construção. São Paulo, 2015.

CORREIA, E. V. S. Comportamento, análise e procedimentos de automatização no dimensionamento ao fogo de estruturas de aço. 2007. 157f. Monografia de Conclusão de Mestrado – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória.

MARTINS, M. M. Dimensionamento de estruturas de aço em situação de incêndio. 2000. 232f. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Estruturas) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

VARGAS, M. R.; SILVA, V. P. Resistência ao fogo das estruturas de aço. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Siderurgia/Centro Brasileiro da Construção em Aço, 2005.

SILVA, V. P. et al. Prevenção contra incêndio no projeto de arquitetura. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Siderurgia/Centro Brasileiro da Construção em Aço, 2010.

SOBRE A ORGANIZADORA

Franciele Braga Machado Tullio - Engenheira Civil (Universidade Estadual de Ponta Grossa - UEPG/2006), Especialista em Engenharia de Segurança do Trabalho (Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR/2009, Mestre em Ensino de Ciências e Tecnologia (Universidade Tecnológica federal do Paraná – UTFPR/2016). Trabalha como Engenheira Civil na administração pública, atuando na fiscalização e orçamento de obras públicas. Atua também como Perita Judicial em perícias de engenharia. E-mail para contato: francielebmachado@gmail.com

Agência Brasileira do ISBN
ISBN 978-85-7247-221-0

