# Importância da análise de resistência ao fogo em elementos estruturais na utilização do método de Gretener para cálculo de risco de incêndio em edificações

*Importance of fire resistance analysis in structural elements when using the Gretener method to calculate fire risk on buildings*

*Ten-Cel. QOBM/Comb. Gabriel Motta de Carvalho*[1]

**RESUMO**

O objetivo deste trabalho é avaliar como os parâmetros referentes à resistência ao fogo de elementos estruturais influenciam o cálculo global do risco de incêndio, utilizando o método de Gretener. Como o método de Gretener possui diversos fatores relativos aos elementos estruturais, neste trabalho busca-se quantificar o grau de influência desses fatores e analisá-los de acordo com as normas brasileiras sobre o tema. A escolha ou composição dos elementos estruturais impacta no cálculo do grau de risco das edificações. Para se alcançar os objetivos estabelecidos, a metodologia aplicada foi a pesquisa exploratória, com utilização de material bibliográfico e documental. Os resultados encontrados indicam que os fatores relacionados a elementos estruturais podem alterar em até 251,16% o fator global de segurança, quando todos eles são maximizados em favor da segurança. Conclui-se, então, a importância de se estudar métodos nos dimensionamentos de elementos estruturais que resultem em maiores tempos requeridos de resistência ao fogo, além do uso de materiais e geometrias que não propaguem o fogo.

**Palavras-chave**: Incêndio. Gretener. Segurança. Risco. Estrutura.

***ABSTRACT***

*The objective of this study is to evaluate how the parameters related to the fire resistance of structural elements influence the overall fire risk calculation, using the Gretener method. Since the Gretener method includes several factors related to structural elements, this work seeks to quantify the degree of influence of these factors and analyze them according to Brazilian standards on the subject. The choice or composition of structural elements impacts the calculation of building risk levels. To achieve the established objectives, the methodology applied was exploratory research, using bibliographic and documentary material. The results indicate that factors related to structural elements can alter the overall safety factor by up to 251.16% when all of them are maximized in favor of safety. It is concluded, therefore, that it is important to study methods in the design of structural elements that result in higher required fire resistance times, as well as the use of materials and geometries that do not propagate fire.*

***Keywords****: Fire, Gretener, safety risk, structural elements.*

[1] Curriculum Vitae: https://lattes.cnpq.br/5756123901101496

## 1 Introdução

Para que uma edificação seja considerada segura, deve-se partir do princípio que ela atenda às exigências de prevenção contra incêndio e pânico estabelecidas. Essas exigências devem estar ligadas ao conhecimento do desenvolvimento do incêndio e ao comportamento da edificação diante desse desenvolvimento.

Até o século XIX acreditava-se que os incêndios eram obra do acaso e que as vítimas eram pessoas que tiveram azar. Essa visão era influenciada pela falta de compreensão científica sobre as causas e a natureza dos incêndios. Naquela época, a investigação de incêndios era rudimentar e as técnicas forenses para determinar as causas dos incêndios estavam em seus estágios iniciais.

Até a década de 1940, a maioria dos incêndios urbanos e rurais eram atribuídos a causas indeterminadas ou simplesmente ao destino. A população e mesmo as autoridades tinham pouco conhecimento sobre a prevenção de incêndios e as técnicas de construção resistentes ao fogo eram pouco difundidas. Não havia regulamentações rígidas sobre a segurança contra incêndios e a infraestrutura das cidades, especialmente nas áreas industriais, era frequentemente inadequada para prevenir e controlar incêndios.

Fontes históricas, como os relatórios da National Fire Protection Association (NFPA), indicam que a mudança na percepção dos incêndios começou a ocorrer após a introdução de métodos mais avançados de investigação e a criação de normas de segurança contra incêndios. Por exemplo, o grande incêndio de Chicago em 1871 e o incêndio de San Francisco em 1906 foram eventos catastróficos que impulsionaram a necessidade de um melhor entendimento e prevenção de incêndios. Estes eventos trágicos levaram ao desenvolvimento de departamentos de bombeiros mais bem equipados e treinados, além de promover pesquisas sobre causas de incêndios.

Dessa forma, o conceito de risco e o conhecimento das características dos fatores que o afetam se consolidaram por meio do desenvolvimento dos métodos científicos, tornando possível quantificar a chance de ocorrência de sinistros.

Em 1960, para atender às necessidades das companhias de seguro, o engenheiro Max Gretener, então diretor da Associação de Proteção Contra Incêndio da Suíça, iniciou os estudos sobre o cálculo do risco de incêndio em indústrias e grandes edifícios, que foi concluído em 1965.

No ano de 1965, o Corpo de Bombeiros da Suíça propôs adotar o mesmo método para avaliar os meios de proteção contra incêndios das edificações, e em 1984, a Societé Suisse des Ingénieurs et des Architectes (SIA) publicou o documento SAI-81 com o título “Método de avaliação de risco de incêndio”, tendo por base os trabalhos de Gretener.

O método de Gretener também serviu de base para as normas austríacas TRVB A-100 (cálculo) e TRVBA-126 (parâmetros para o cálculo) publicadas pela Liga Federal de Combate a Incêndio da Áustria, em 1987.

Hoje em dia, o método de Gretener é uma das técnicas quantitativas mais utilizada no mundo sobre avaliação de risco.

No Brasil, a ABNT, por meio da NBR 14432:2001 permite o emprego do método de Gretener. A comissão de estudos da ABNT CE-24:201-03, após anos de debates, adequou o método à realidade brasileira e o utiliza para estabelecer um índice global de segurança.

No contexto das estruturas em situações de incêndios, de acordo com Silva (2004), o incremento da temperatura dos elementos estruturais das edificações ocasiona redução de suas características resistentes. Alguns exemplos resultantes da ação e variação térmica são:

a) redução da resistência;
b) redução da rigidez;
c) surgimento de esforços solicitantes sobressalentes nas estruturas hiperestáticas e isostáticas.

Esse fato revela a importância do estudo dos elementos estruturais com relação aos sinistros, onde eles devem possuir características necessárias de resistência ao fogo de modo que a edificação possa garantir estruturalmente um tempo mínimo para a evacuação das pessoas. A NBR 14432, de novembro de 2001, define os tempos mínimos requeridos de resistência ao fogo (TRRF), de acordo com a ocupação das edificações.

## 2 Desenvolvimento

### 2.1 Histórico da análise do risco

O estudo de riscos remonta à história antiga, alcançando o Ocidente há mais ou menos setecentos anos (BERNSTEIN, 1997, apud RAJÃO, 2005).

Tem sua origem no sistema de numeração indo-arábico, usado com fins meramente religiosos. O uso do risco se baseava na tradução numérica dos sinais dos deuses (BERNSTEIN, 1997, apud RAJÃO, 2005).

Posteriormente, o seu uso passou a ser mais científico, sendo utilizado como método probabilístico de previsão e estimação de valores de tempo de vida (RAJÃO, 2005).

Mais tarde, nos séculos XIX e XX, o uso do risco passou a ser mais específico, com aplicação direta nas áreas financeira, médica, de processos industriais, militar e de segurança de sistemas. (RAJÃO, 2005).

Etimologicamente, o termo risco é originado do italiano antigo resicare, que tem por significado ousar (BERNSTEIN, 1997; AGUIAR, 2005).

Em tempos mais recentes, no século XIX, o estudo de riscos tem sido fundamental no controle de doenças naturais e epidêmicas, no estudo de poluição ambiental, na segurança contra incêndios, na prevenção de acidentes ocupacionais e de contaminação e adulteração de alimentos, no desenvolvimento de armas militares, entre outras (DE CICCO & FANTAZZINI, 1994; ROQUE-SPECHT, 2002; WHO, 2005).

### 2.2 Apresentação do Método de Gretener

No ano de 1960, o engenheiro Max Gretener, diretor da Associação de Proteção Contra Incêndio da Suíça, começou a estudar a possibilidade de calcular o risco de incêndio em indústrias e grandes edifícios (PIGNATTA, 2007).

Seu método, publicado em 1965, visava atender as necessidades das companhias de seguro. Em 1968, o Corpo de Bombeiros suíço propôs adotar esse método para avaliar os meios de proteção contra incêndio das edificações (PIGNATTA, 2007).

O método de Gretener é um modelo de análise que engloba todos os riscos relacionados ao sinistro resultante em um valor quantitativo do risco global da edificação, utilizando os seguintes parâmetros:

a) Medidas normais de proteção: extintores, hidrantes predial e público, adução de água e pessoal treinado;

b) Medidas especiais de proteção: modo de detecção do fogo, transmissão do alarme, qualidade do Corpo de Bombeiros local e brigada, tempo-resposta, equipamentos de extinção e de exaustão de fumaça;

c) Medidas construtivas: tempo de resistência ao fogo das estruturas, fachadas, lajes, dimensão de células corta-fogo;

d) Risco de incêndio: Carga de incêndio mobiliária, imobiliária, combustibilidade, enfumaçamento, toxicidade, cota e área do compartimento considerado;

e) Mobilidade das pessoas: área do compartimento, distância até o nível da saída e ocupação da edificação;

f) Risco de ativação do incêndio: ocupação da edificação.

Utilizando-se esses parâmetros, o método baseia-se em calcular o índice global de segurança ( fi).

#### 2.2.1 Desenvolvimento Matemático

A segurança da edificação é verificada se o fator global de segurança fi for maior ou igual a 01 e é determinado, em cada compartimento, por meio de:

$$\gamma_{fi} = 1{,}3^{\left(\frac{N \times S \times E}{R \times A \times M}\right)} \qquad (1)$$

Onde:

$N = \prod_1^5 n_i$ é um fator que depende das medidas normais de proteção;

$S = \prod_1^6 s_i$ é um fator que depende das medidas especiais de proteção;

$E = \prod_1^4 e_i$ é um fator que depende das medidas construtivas de proteção da edificação;

$R$ é um fator associado ao risco de incêndio;

$A$ é um fator que considera o risco de ativação do incêndio em função do tipo de uso do compartimento;

$M$ é um fator associado à mobilidade das pessoas.

### 2.3 Parâmetros do método de Gretener relacionados às estruturas das edificações

Classificado na letra E, o método de Gretener descreve os seguintes parâmetros relacionados às estruturas das edificações:

- e1 - é um fator associado à resistência ao fogo das estruturas e determinado por meio da tabela 1.

- e2 - é um fator associado à resistência ao fogo das fachadas e determinado por meio da tabela 2.
- e3 - é um fator associado à resistência ao fogo da vedação horizontal e determinado por meio da tabela 3.
- e4 - é um fator associado às dimensões das células corta-fogo e determinado por meio da tabela 4.

Tabela 1 – Subfator e1

| Resistência ao fogo das estruturas | Valores de $e_1$ |
|---|---|
| < 30 min | 1,00 |
| Entre 30 e 60 min | 1,20 |
| ≥ 60 min | 1,30 |

Fonte: E SILVA, Valdir Pignatta. Índice de segurança contra incêndio para edificações. Ambiente Construído. Porto Alegre, v.7, n.4, p.103-121, out./dez. 2007.

Tabela 2 – Subfator e2

| Resistência ao fogo da fachada* | Valores de $e_2$ |
|---|---|
| < 30 min | 1,00 |
| Entre 30 e 60 min | 1,10 |
| ≥60 min | 1,15 |
| * Altura das janelas ≤ 2/3 da altura do andar | |

Fonte: E SILVA, Valdir Pignatta. Índice de segurança contra incêndio para edificações. Ambiente Construído. Porto Alegre, v.7, n.4, p.103-121, out./dez. 2007.

Com a chegada de novas tecnologias na construção civil, novos materiais foram desenvolvidos e utilizados como elementos de fachada das edificações.

Em uma situação de incêndio, tanto a geometria da fachada quanto os materiais empregados influenciam diretamente o comportamento do fogo e sua propagação.

Tabela 3 – Subfator e3

| Resistência ao fogo dos elementos de vedação horizontal | Número de Andares | Valores de $e_3$ | | |
|---|---|---|---|---|
| | | Circulação vertical | | |
| | | Fechada | Protegida (abertas com chuveiros) | Sem proteção |
| < 30 min | ≤ 2 | 1,05 | 1,00 | 1,00 |
| | >2 | 1,10 | 1,05 | 1,00 |
| Entre 30 e 60 min | ≤ 2 | 1,15 | 1,05 | 1,00 |
| | >2 | 1,20 | 1,10 | 1,00 |
| ≥ 60 min | ≤ 2 | 1,20 | 1,10 | 1,00 |
| | >2 | 1,30 | 1,15 | 1,00 |

Fonte: E SILVA, Valdir Pignatta. Índice de segurança contra incêndio para edificações. Ambiente Construído. Porto Alegre, v.7, n.4, p.103-121, out./dez. 2007.

Tabela 4 – Subfator e4

| Área de piso da célula* | Número de Andares | Valores de $e_4$ | | |
|---|---|---|---|---|
| | | Área de ventilação/área de compartimento | | |
| | | ≥ 10 % | < 10 % | < 5 % |
| < 50 m² | ≤ 2 | 1,40 | 1,30 | 1,20 |
| | >2 | 1,30 | 1,20 | 1,10 |
| < 100 m² | ≤ 2 | 1,30 | 1,20 | 1,10 |
| | >2 | 1,20 | 1,10 | 1,00 |
| ≤ 200 m² | ≤ 2 | 1,20 | 1,10 | 1,00 |
| | >2 | 1,10 | 1,00 | 1,00 |
| * Células são subdivisões de um compartimento, com no máximo 200 m² e resistência ao fogo dos elementos de vedação de no mínimo 30 min. | | | | |

Fonte: E SILVA, Valdir Pignatta. Índice de segurança contra incêndio para edificações. Ambiente Construído. Porto Alegre, v.7, n.4, p.103-121, out./dez. 2007.

O método de Gretener contempla um item relativo aos elementos de fachada, que são afixados na estrutura da edificação.

Dessa forma, pode-se considerar esse fator (i), que é associado à carga de incêndio dos elementos de fachada, como um item relativo aos elementos estruturais, já que estão interligados.

Esse item no método de Gretener está associado ao risco de incêndio e é descrito na tabela a seguir:

Tabela 5 – Subfator i

| Estrutura | Valores de i | | |
|---|---|---|---|
| | Elementos da fachada e telhado | | |
| | Incombustível (1) | Combustível protegido (2) | Combustível (3) |
| Incombustível (1) | 1,00 | 1,05 | 1,10 |
| Combustível protegido (4) | 1,10 | 1,15 | 1,20 |
| Combustível (5) | 1,20 | 1,25 | 1,30 |
| O fator de carga de incêndio imobiliária i, está associado a parte combustível contida nas partes da construção do edifício e sua influência na propagação do incêndio.<br>(1) – aço, concreto, alvenaria<br>(2) – em camadas, sendo a externa incombustível<br>(3) – madeira, materiais sintéticos<br>(4) – madeira revestida, laminada colada, maciça<br>(5) – madeira leve | | | |

Fonte: E SILVA, Valdir Pignatta. Índice de segurança contra incêndio para edificações. Ambiente Construído. Porto Alegre, v.7, n.4, p.103-121, out./dez. 2007.

## 2.4 Utilização do método no Brasil

Além do desenvolvimento teórico e adaptação a realidade brasileira feita por Valdir Pignatta e Silva, o método de Gretener foi utilizado na cidade de Ouro Preto, para avaliação do risco de edificações históricas.

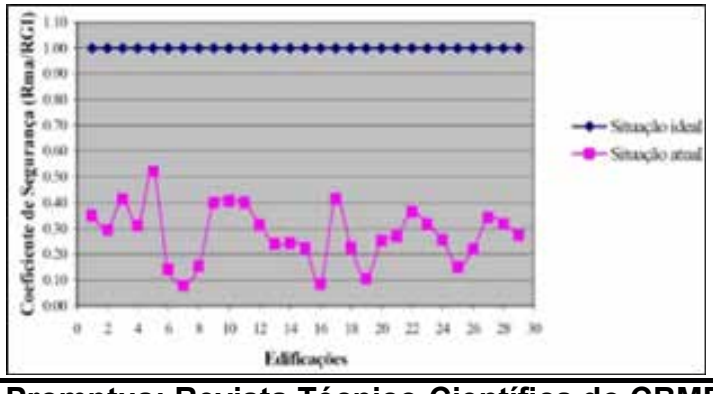
Segundo Araújo (2005), a análise de risco global de incêndio baseada no método de Gretener, cuja adaptação para cidades históricas foi realizada por Antônio Maria Claret de Gouvêia, foi aplicada na primeira etapa do diagnóstico de risco de incêndio para a cidade de Ouro Preto, Minas Gerais, concentrando o levantamento na rua São José, com edificações em sua maioria de uso comercial. Foi realizada também uma segunda etapa no bairro Antônio Dias, tipicamente residencial, sendo composto tanto pelos fatores de risco das edificações como pelas medidas de segurança que existem e as que são propostas a fim de se reduzir o risco global de incêndio.

> O levantamento no bairro Antônio Dias foi realizado pela autora durante aproximadamente um mês e, em cada edificação, a sua duração variou entre três e seis horas. Os dados colhidos preencheram uma planilha elaborada especificamente para este fim, seguindo as diretrizes aplicadas no primeiro estudo, realizado em novembro de 2003, na rua São José, Ouro Preto, Minas Gerais. O levantamento foi realizado com o apoio do laboratório de Análise de Risco de Incêndio – LARIn, grupo interdisciplinar informal de pesquisadores em Engenharia de Incêndio, atuantes em ensino e pesquisa na Universidade Federal de Ouro Preto (ARAÚJO, 2005)

Este estudo surgiu a partir do incêndio no hotel Pilão, em abril de 2003, que fez ser cogitado em Ouro Preto a perda do título de Patrimônio Mundial, pela UNESCO.

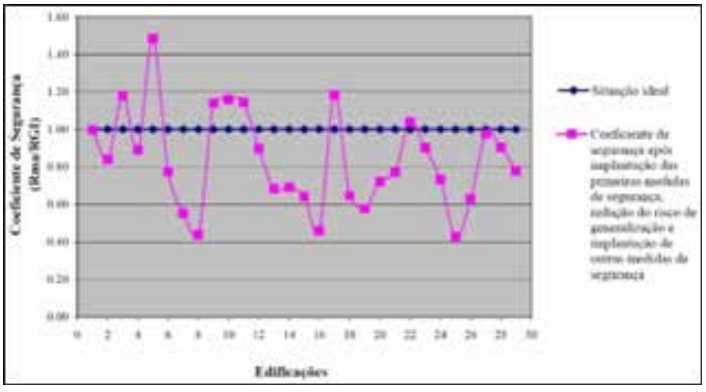
Por meio deste levantamento percebeu-se a necessidade de intervenção efetiva para salvar as edificações do local, que se apresentaram extremamente precárias.

Figura 1: Coeficientes de segurança no bairro Antônio Dias fase I




Fonte: ARAÚJO, Silva M. Soares (2005)

Figura 2: Coeficientes de segurança no bairro Antônio Dias fase II




Segundo Araújo (2005), esse trabalho permitiu que outras cidades pudessem adotar o método a fim de se evitar ou diminuir os casos de incêndio que provocam perdas incalculáveis para o patrimônio e para a história do país.

## 2.5 Segurança contra incêndio no DF

Os incêndios em edificações têm sido preocupação constante em diversos países, justamente pelos custosos danos ao patrimônio e pelas imensuráveis perdas de vidas.

Cabe destacar a função do Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal (CBMDF), quanto à prevenção de incêndios no âmbito do Distrito Federal, em especial a prevenção ao colapso estrutural em situação de incêndio.

Para a situação de incêndio, o CBMDF deve verificar as condições mínimas de Segurança Contra Incêndio e Pânico (SCIP), fiscalizando o cumprimento dessas normalizações.

As atribuições definidas em lei para o CBMDF constam na Lei de Organização Básica (LOB), de 20 de novembro de 1994. No que se refere a competência do CBMDF, a LOB preceitua em seu artigo 2º o seguinte:

> Art. 2° Compete ao Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal:
> I - realizar serviços de prevenção e extinção de incêndios;
> II - realizar serviços de busca e salvamento;
> III - realizar perícias de incêndio relacionadas com sua competência;
> IV - prestar socorros nos casos de sinistros, sempre que houver ameaça de destruição de haveres, vítimas ou pessoas em iminente perigo de vida;
> V - realizar pesquisas técnico-

> científicas, com vistas à obtenção de produtos e processos, que permitam o desenvolvimento de sistemas de segurança contra incêndio e pânico;
> VI - realizar atividades de segurança contra incêndio e pânico, com vistas à proteção das pessoas e dos bens públicos e privados;
> VII - executar atividades de prevenção aos incêndios florestais, com vistas à proteção ambiental;
> VIII - executar as atividades de defesa civil;
> IX - executar as ações de segurança pública que lhe forem cometidas por ato do Presidente da República, em caso de grave comprometimento da ordem pública e durante a vigência do estado de defesa, do estado de sítio e de intervenção no Distrito Federal (LOB, 1994, grifo nosso).

O Decreto n.º 21.361, de 20 de julho de 2000, que aprova o Regulamento de Segurança Contra Incêndio e Pânico (RSIP-DF) do Distrito Federal, alterado pelo Decreto nº 23.015, de 11 de junho de 2002, é a principal legislação pertinente à Segurança Contra Incêndio dentro do Distrito Federal e detalha ainda mais as competências do CBMDF:

> Art.4°- Ao Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal, por intermédio de seu órgão próprio, compete estudar, elaborar normas técnicas, analisar, planejar, fiscalizar e fazer cumprir as atividades atinentes à segurança contra incêndio e pânico, bem como, realizar vistorias e emitir pareceres técnicos com possíveis consequências de penalidades por infração ao Regulamento, na forma da legislação específica.
> Art.5°- A execução do disposto neste decreto e regulamento é de competência do Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal. (DISTRITO FEDERAL, 2000).

Os requisitos mínimos de segurança exigidos nas edificações do Distrito Federal estão estabelecidos no Regulamento de Segurança Contra Incêndio e Pânico do Distrito Federal (RSIP), aprovado pelo Decreto nº 21.361, de 20 de julho de 2000, conforme se segue:

> f) Meios de proteção contra colapso estrutural:
> - Correto dimensionamento das estruturas;
> - Resistência ao fogo dos elementos estruturais;
> - Revestimento de estruturas metálicas. (RSIP, 2000).

A Lei nº 2.105, de 08 de outubro de 1998, que dispõe sobre o Código de Edificações do Distrito Federal, trata sobre os elementos construtivos utilizados na construção civil:

> Art. 79. Os materiais e elementos construtivos, com função estrutural ou não, corresponderão, no mínimo, ao que dispõem as normas e índices técnicos relativos à resistência ao fogo, isolamento térmico, isolamento e condicionamento acústico, resistência estrutural e impermeabilidade. (LEI Nº 2.105,1998)

### 2.6 Exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações no Brasil

A NBR 14432 (2001) trata das exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações, estabelecendo 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. Para os elementos de compartimentação, devem ser atendidos requisitos de estanqueidade e isolamento por um tempo suficiente para possibilitar:

a) fuga dos ocupantes da edificação em condições de segurança;
b) segurança das operações de combate ao incêndio;
c) minimização de danos a edificações adjacentes e à infraestrutura pública.

Além disso, a norma define o tempo requerido de resistência ao fogo (TRRF) como sendo o tempo mínimo de resistência ao fogo de um elemento construtivo quando sujeito ao incêndio-padrão.

Dessa forma, para atingir os objetivos da norma e considerando a análise relativa ao incêndio-padrão, foi elaborada a seguinte tabela de tempo requerido de resistência ao fogo (TRRF) para os elementos estruturais, de acordo com a ocupação da edificação:

TABELA 6 - Exigências de resistência ao fogo de elementos estruturais

| Grupo | Ocupação/uso | Divisão | Profundidade do solo | | Altura da edificação | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Classe S2hs > 10 m | Classe S1 hs ≤ 10 m | Classe P1 hs ≤ 6 m | Classe P2 6 m < h ≤ 12 m | Classe P3 12 m < h ≤ 23 m | Classe P4 23 m < h ≤ 30 m | Classe P5 23 m < h ≤ 30 m |
| A | Residencial Serviços | A-1 a A-3 | 90 | 60 | 30 | 30 | 60 | 90 | 120 |
| B | | B-1 a B-2 | 90 | 60 | 30 | 30 | 60 | 90 | 120 |
| C | Comercial varejista | C-1 a C-3 | 90 | 60 | 60 (30) | 60 (30) | 60 | 90 | 120 |
| D | Serviços profissionais, pessoais e técnicos | D-1 a D-3 | 90 | 60 (30) | 30 | 60 (30) | 60 | 90 | 120 |
| E | Educacional e cultura física | E-1 a E-6 | 90 | 60 | 30 | 30 | 60 | 90 | 120 |
| F | Locais de reunião de público | F-1, F-2, F-5, F-6 e F-8 | 90 | 60 | 60 (30) | 60 | 60 | 90 | 120 |
| G | Serviços automotivos | G-1 e G-2 não abertos lateralmente e G-3 a G-5 | 90<br>90 | 60<br>60 | 30<br>30 | 60<br>30 | 60<br>30 | 90<br>30 | 120<br>60 |
| H | Serviços de saude e institucionais | H-1 a H-5 | 90 | 60 | 30 | 60 | 60 | 90 | 120 |
| I | Industrial | I-1 | 90 | 60 (30) | 30 | 30 | 60 | 90 | 120 |
| | | I-2 | 120 | 90 | 60 (30) | 60 (30) | 60 | 90 | 120 |
| J | Depósitos | J-1 | 90 | 60 (30) | 30 | 30 | 30 | 30 | 60 |
| | | J-2 | 120 | 90 | 60 | 60 | 90 (30) | 120 | 120 |

Fonte: NBR 14432 - Exigências de resistência ao fogo de elementos, anexo B (2000)

## 2.7 Incêndio-padrão

De acordo com Silva (2004), com o objetivo de prevenir e minimizar perdas e vidas na ocorrência de sinistros, foi verificado que a curva temperatura-tempo do incêndio se altera para as diversas situações ensaiadas, dificultando sua análise. Dessa forma, foi estabelecido um modelo para a análise experimental das diversas estruturas e materiais em situação de incêndio. Esse modelo foi consolidado com o nome de modelo de Incêndio-Padrão.

Nesse modelo, admite-se que a temperatura dos gases do ambiente em chamas respeite as curvas-padronizadas para o ensaio e a curva temperatura-tempo dos gases.

O incêndio-padrão é a elevação padronizada de temperatura em função do tempo dada pela expressão:

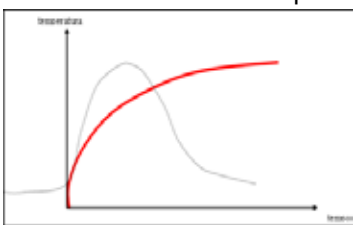
$$\theta_g = \theta_0 + 345\log(8t + 1) \qquad (2)$$

em que "t" é expresso em minutos, θ0 é a temperatura inicial (antes do aquecimento, valor padronizado geralmente em 20ºC) e θg é a temperatura em ºC no instante "t".

Silva (2004) pondera que este modelo, quando aplicado a compartimentos com áreas maiores e com ocupações cuja distribuição uniforme da carga de incêndio não possa ser assegurada, deve ser adaptado, utilizando-se a carga de incêndio específica em relação à área efetivamente ocupada pelo material combustível, ou majorar com coeficientes de segurança que levem em conta a incerteza referida.

Embora as curvas-padrão não permitam prognosticar o desempenho de elementos construtivos em incêndios reais, longe do controle laboratorial das condições de ensaio, elas permitem uma análise comparativa de resistência ao fogo entre elementos similares, servindo como indicadores qualitativos de resistência em função da temperatura (COSTA e SILVA, 2006).

Figura 5. Modelo de incêndio-padrão



Fonte: SILVA, 2004

## 2.8 Análise da importância dos elementos estruturais no método de Gretener

Analisando os fatores do método de Gretener relativos aos elementos estruturais, de modo a abordar suas influências no fator global de segurança ($\gamma_{fi}$), chega-se à seguinte tabela:

Tabela 7 – Variação dos fatores de acordo com o método de Gretener

| Subfator | Valor Mínimo | Valor Máximo | Amplitude |
|---|---|---|---|
| e1 | 1 | 1,3 | 0,3 |
| e2 | 1 | 1,15 | 0,15 |
| e3 | 1 | 1,2 | 0,2 |
| e4 | 1 | 1,4 | 0,4 |
| i | 0,77 | 1 | 0,23 |

Fonte: O autor

Cabe destacar que o subfator i, que faz parte do fator R, apresenta-se no denominador no método de Gretener, sendo que para comparação com o fator E, foi utilizado o seu valor inverso ($i^{-1}$).

Desenvolvendo o método de Gretener para esses subfatores analisados, multiplicando-se todos os subfatores ($e_1$ x $e_2$ x e 3 x $e_4$ x i), resulta no grau de influência mínimos e máximos com relação ao fator global de segurança $\gamma_{fi}$:

TABELA 8 – Influência dos subfatores relativos a estruturas no fator global $\gamma_{fi}$

| Grau de Influência (%) | |
|---|---|
| Mínimo | Máximo |
| 77,00% | 251,16% |

Fonte: O autor

Para obter um nível de comparação com edificações que seguem as normas brasileiras, foi realizado o levantamento dos valores desses subfatores em uma residência unifamiliar típica sem subsolo com um pavimento (R1) e em um comércio varejista típico de porte médio com 1 subsolo (C1) dotado de sistema de chuveiros automáticos, utilizando os valores mínimos aceitos pela norma. Para o cálculo do grau de influência foram multiplicados os subfatores ($e_1$ x $e_2$ x $e_3$ x $e_4$ x i):

Tabela 9 – Grau de influência das edificações analisadas

| Fator | R1 | C1 |
|---|---|---|
| e1 | 1,2 | 1,2 |
| e2 | 1,1 | 1,1 |
| e3 | 1 | 1,05 |
| e4 | 1,2 | 1,2 |
| i | 0,95 | 0,95 |
| Grau de Influência (%) | 150,48% | 158% |

Fonte: O autor

Confrontando os dados analisados, pode-se inferir que há possibilidade de aumentar a segurança das edificações no Brasil, caso se adotem, nos projetos das estruturas, parâmetros maiores de TRRF e estudos de fachadas que contenham geometria e materiais que dificultem a ignição e propagação do incêndio.

Por exemplo, caso a exigência de resistência ao fogo das estruturas (e1) das duas edificações fosse maior (≥ 60 min), em conjunto com um aumento da resistência ao fogo das fachadas (e2) da mesma forma (≥ 60 min), teríamos $e_1$=1,3 e $e_2$=1,15 para as duas edificações, resultando na seguinte tabela:

Tabela 10 – Grau de influência das edificações analisadas alterada

| Fator | R1 | C1 |
|---|---|---|
| e1 | 1,3 | 1,3 |
| e2 | 1,15 | 1,15 |
| e3 | 1 | 1,05 |
| e4 | 1,2 | 1,2 |
| i | 0,95 | 0,95 |
| Grau de Influência (%) | 170,43% | 178,95% |

Fonte: O autor

Essas alterações resultariam em um aumento de aproximadamente 20 pontos percentuais no grau de influência dos fatores estruturais no fator global de segurança nas duas edificações.

## 2.9 Metodologia

Para se alcançar os objetivos estabelecidos, a metodologia aplicada foi a pesquisa exploratória, com utilização de material bibliográfico e documental, além da legislação correspondente em vigor.

Utilizando o método de Gretener, foram selecionados os fatores de caráter estrutural, estudando sua importância e grau de influência no modelo.

A pesquisa bibliográfica abrangeu literatura específica sobre o tema, além de outras fontes correlatas.

De acordo com Marconi e Lakatos (2007, p. 190) a pesquisa exploratória é uma investigação empírica que tem por objetivo formular questões ou um problema, com a finalidade de desenvolver hipóteses, familiarizar o pesquisador com o ambiente e esclarecer conceitos.

## 3 Conclusão

No Brasil, a análise dos engenheiros calculistas para estruturas em situações de incêndio ainda é muito incipiente.

Devido aos avanços tecnológicos, principalmente na parte de materiais, existem diversas possibilidades para que, no projeto, sejam desenvolvidas técnicas que aumentem os subfatores do método de Gretener, tornando as edificações mais seguras e com menos risco de incêndio.

Verificou-se, nesta pesquisa, que é possível obter um valor até, aproximadamente, 2,5 vezes maior no fator global de segurança γfi quando se maximiza todos os fatores relacionados ao risco de incêndio nos elementos estruturais, em comparação a quando ele resulta em 1 (sem influência).

Também foi possível observar que, seguindo os tempos mínimos requeridos de resistência ao fogo para os elementos estruturais constantes na NBR 14432 (2001), os tipos de edificações analisadas tiveram acréscimo no fator global de segurança, porém esses acréscimos poderiam ser maiores, caso fossem adotadas práticas que maximizassem os subfatores relacionados aos elementos estruturais.

Além das práticas preventivas, a resistência dos elementos estruturais em situações de incêndio é fundamental para a preservação da vida, dando tempo e oportunidade para a completa evacuação das edificações, além de garantir a possibilidade do combate e extinção do fogo, salvaguardando também o patrimônio.

## 4 Referências


ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14432: Exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações - Procedimento. Rio de Janeiro, 2001.

ARAUJO, Silvia M. Soares; DE SOUZA, Vicente C. Moreira; GOUVÊIA, Antônio Maria. Análise de Risco de Incêndio em Cidades Históricas Brasileiras – A Metodologia Aplicada à Cidade de Ouro Preto. Revista Int. de Desastres Naturales, Accidentes e Infraestructura Civil. Vol 5(1), 55, 2006.

BERNSTEIN, Peter. L. Desafio aos deuses: a fascinante história do risco. Tradução de Ivo Korylowski. Elsevier Editora. 15a reimpressão. Rio de Janeiro, 1997.

BRAGA, George C B.; LANDIM, Helen R. de Oliveira. Investigação de Incêndio: a segurança contra incêndio no Brasil. pp 333 a 345 1.ed. Barueri: Projeto Editora, 2008.

BRASIL. Constituição da República Federativa do Brasil. Texto constitucional promulgado em 05 de outubro de 1988, com as alterações adotadas pelas Emendas Constitucionais n. 1/92 a 44/2004 e pelas Emendas Constitucionais de revisão n. 1 a 6/94. Senado Federal. Subsecretaria de Edições Técnicas. Brasília, 2004.

CBMDF. Regimento Interno do EMG. Aprovado pela Portaria no 054, de 20 de setembro de 1999. Publicado no Boletim Geral no 178, de 20 de setembro de 1999. Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal. Brasília, 1999.

CBMDF. Diretoria de Ensino e Instrução. Manual para normalização de trabalhos acadêmicos. Brasília, DF: jan 2007.

COSTA, C. N; SILVA, V. P. Recomendações para o dimensionamento de elementos de concreto à flexão simples em situação de incêndio. In: VI Simpósio EPUSP sobre estruturas de concreto. Anais. EPUSP, São Paulo, 2006.

DISTRITO FEDERAL. Lei n.º 2.105, de 8 de outubro de 1998. Dispõe sobre o Código de Edificações do Distrito Federal.

DISTRITO FEDERAL. Lei no 8.225, de 20 de novembro de 1991. Dispõe sobre a organização básica do Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal e dá outras providências. Publicado no DOU no 226, Seção I, de 21 de novembro de 1991. páginas 26.393 a 26.395. Brasília, 1991.

DISTRITO FEDERAL. Decreto n.º 16.036, de 4 de novembro de 1994. Dispõe sobre o Regulamento da Organização Básica do Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal e dá outras providências. Publicado no DODF n.º 213, de 7 de novembro de 1994 (Suplemento).

DISTRITO FEDERAL. Decreto n.º 21.361, de 20 de julho de 2000. Aprova o Regulamento de Segurança Contra Incêndio e Pânico do Distrito Federal e dá outras providências.

DISTRITO FEDERAL. Decreto nº 23.015, de 11 de junho de 2002. Altera os artigos 16, 17 e 23, do Anexo I, do Decreto nº 21.361, de 20 de julho de 2000, que aprova o Regulamento de Segurança Contra Incêndio e Pânico do Distrito Federal e dá outras providências.

E SILVA, Valdir Pignatta. Estruturas de aço em situação de incêndio. 1. ed. São Paulo: 2004.

E SILVA, Valdir Pignatta. Índice de segurança contra incêndio para edificações. Ambiente Construído. Porto Alegre, v.7, n.4, p.103-121, out./dez. 2007.

MARCONI, Marina de Andrade; LAKATOS, Eva Maria. Fundamentos da metodologia científica. 6. ed. São Paulo: Editora Atlas, 2007.

RAJÃO, Alan José Natal. O Estudo Qualitativo de Riscos no Planejamento Operacional: Uma Proposta Metodológica de Atualização do Plano de emprego do Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal. Monografia apresentada ao Centro de Altos Estudos de Comando, Direção e Estado-Maior no Curso de Aperfeiçoamento de Oficiais do Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal, 2005.

RICHARDSON, Roberto J. Pesquisa social: métodos e técnicas. 3. ed. São Paulo: Atlas, 1999.

ROQUE-SPECHT, Vânia Ferreira. Desenvolvimento de um modelo de gerenciamento de riscos para o aumento da segurança alimentar: estudo de caso em indústria de laticínios. Tese de doutorado. Programa de pós-graduação em engenharia de produção da Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2002.