

Prescrição ou *Performance*: Quando? Porquê? Como? Quem?

Prof. José L. Torero¹

Resumo

Durante varias decadas a Segurança Contra Incêndio em edifícios foi projectada somente com base em normas prescritivas. As normas foram desenvolvidas de forma a garantir uma solução robusta, muitas vezes conservadora, com um considerável factor de segurança. No entanto, as passadas duas decadas evidenciaram um acentuado nível de inovação no sector da construção, redefinindo vários conceitos que consistiam parte integral da actual estratégia de segurança contra incêndio prescritiva. A nível arquitectónico o conceito de espaço hoje varia consideravelmente da compartimentação sistemática utilizada durante varias decadas. A criação de espaços amplos é muitas vezes facilitada pelo desenvolvimento de novos materiais de construção, que por sua vez possibilitam também soluções estruturais não convencionais. Infelizmente, no sector da segurança contra incêndio, o desenvolvimento do conhecimento generalizado, aplicável a normas prescritivas, necessário para garantir a segurança de estruturas inovadoras, não tem acompanhado o actual ritmo de inovação na área da construção. Consequentemente, tornou-se perigosa a confiança *generalizada* nas normas e metodologias prescritivas e, por sua vez, tornou-se essencial saber identificar casos em que as normas prescritivas não são aplicáveis. Nos casos não abrangidos pelas normas prescritivas (que são cada vez mais) é necessário recorrer a uma abordagem com *base no desempenho*, para a qual é essencial um conhecimento profundados objectivos da estratégia de segurança contra incêndio e das ferramentas disponíveis para a elaborar adequadamente.

Palavras-chave: Protecção contra incêndio. Normas prescritivas. Projecto baseado no desempenho. Inovação.

¹ BRE Centre for Fire Safety Engineering, Universidade de Edimburgo (Reino Unido)

O projecto e a protecção de estruturas para garantir um comportamento adequado em caso de incêndio é um dos temas que carece de uma maior compreensão no âmbito do projecto de construção. Há décadas que se utilizam normas, regulamentações e ensaios padronizados para projectar estruturas de modo prescritivo sem uma compreensão profunda dos objectivos, das vantagens e das limitações destas mesmas normas, regulamentos e ensaios. É devido aos grandes factores de segurança, como à robustez da estratégia de protecção contra incêndio, utilizados em edificações *convencionais*, que o número de estruturas em risco por causa de incêndios tem vindo a reduzir. No entanto, existe uma perigosa confiança *generalizada* nas metodologias prescritivas existentes. As últimas duas décadas foram marcadas por uma grande inovação na indústria da construção que conduziu o projecto estrutural para além do âmbito de confiança justificável, dentro do qual as metodologias tradicionais da segurança contra incêndio foram desenvolvidas. Para assegurar o comportamento adequado de tais estruturas em caso de incêndio, voltou-se ao projecto estrutural explícito, que pode ou não ser acompanhado por uma (ou parte de uma) estratégia de protecção contra incêndio explícita, onde ambos são elaborados com base no desempenho. O projecto estrutural explícito tem, por sua vez, dado origem a alguma evolução das normas e regulamentações, tanto como ao desenvolvimento de novos métodos de cálculo para estabelecer o desempenho de estruturas sob a acção de um incêndio. No entanto, o actual ritmo da inovação na área de construção excede a nossa capacidade de investigar os potenciais efeitos de tais inovações de forma a manter as normas a par.

Portanto, enquanto se operou num sector em que as normas prescritivas abrangiam e eram adequadas à estratégia de protecção contra incêndio necessária para garantir a segurança da maioria dos edifícios, deixou de haver a necessidade de se raciocinar e entender os *objectivos globais* da estratégia de protecção contra incêndio que se aplicava. Porém, com a inovação que temos testemunhado na indústria da construção, torna-se cada vez mais essencial entender os *objectivos globais* da estratégia da protecção contra incêndio de maneira a poder julgar, caso a caso, se uma norma prescritiva se adequa, se se adequa somente em parte, ou se será mais adequado recorrer a métodos de projecto baseado no desempenho.

A estratégia da protecção contra incêndio

Antes de um projectista poder estabelecer o método de cálculo a utilizar é necessário estabelecer o contexto da estratégia de protecção contra incêndio. O incêndio é um evento ímpar, no sentido em que segue uma evolução temporal que afecta a estrutura do edifício e os seus ocupantes durante um período suficientemente prolongado para permitir a intervenção, ao contrário da maioria de outros eventos de risco, tais como os terremotos ou as explosões, que ocorrem num período de tempo tão curto que não permite a intervenção. No caso da protecção contra incêndio, a intervenção adequada costuma ser definida pelos engenheiros de segurança contra incêndio e a estratégia tem como finalidade principal garantir a segurança dos ocupantes, mas pode também incluir a protecção do edifício e do seu conteúdo.

A estratégia da protecção contra incêndio analisa três eventos principais: o crescimento do incêndio; o processo de evacuação de todos os ocupantes do edifício; e o impacto que o incêndio tem na estrutura. Estes eventos são analisados de maneira independente para estabelecer diferentes *tempos característicos* que servem para representar a evolução relativa de cada um dos três eventos.

O processo do incêndio

O crescimento do incêndio é um processo gradual que inicia com a ignição de um material combustível, que pode tanto ser um móvel, como um material de revestimento, ou mesmo um elemento estrutural que faça parte integral do edifício. Assim que um primeiro objecto comece a arder, inicia-se um processo de combustão auto-sustentado que, por consequência, gera calor e outros produtos de combustão. Na etapa inicial da propagação da chama a quantidade de oxigénio disponível excede a quantidade necessária para consumir o combustível gerado, portanto a geração de calor e o aumento de temperatura resultante são controlados pela quantidade de combustível existente na fase gasosa, e os produtos da combustão tendem a ser principalmente dióxido de carbono e água.

O crescimento de um incêndio é analisado tendo como referência um compartimento, dado que a maioria dos edifícios é compartimentada – uma característica que faz parte integral da estratégia da protecção contra incêndio em edifícios. A Figura 1 mostra a evolução dos diferentes parâmetros associados a um incêndio dentro de um compartimento, o que é comumente conhecido como a "*Timeline*" do incêndio. No período inicial do crescimento

as dimensões do compartimento são muito maiores do que as dimensões da chama localizada, portanto a temperatura média e a concentração de oxigênio permanecem praticamente iguais às das condições ambiente. Neste período a transferência(ou fluxo) de calor entre a chama e a estrutura é muito pequeno e pode, geralmente, ser ignorado.

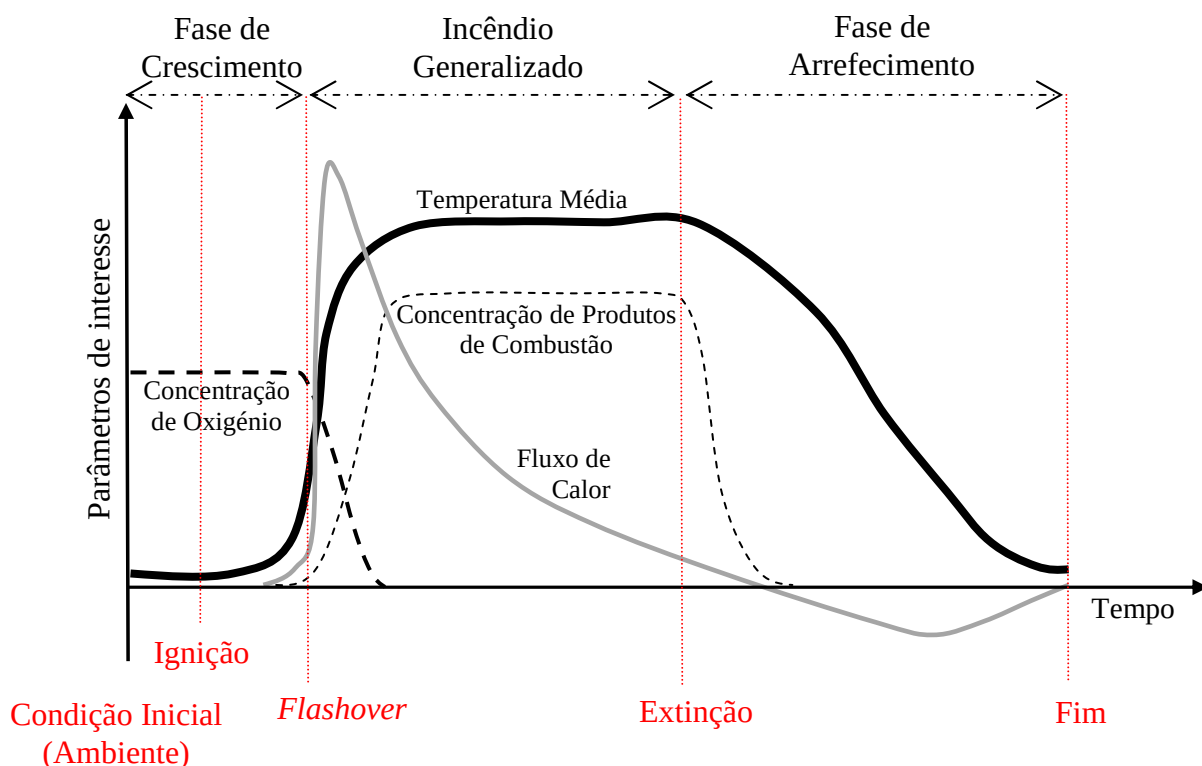


Figura 1:A "Timeline" de um incêndio, representando a evolução dos diferentes parâmetros associados a um incêndio num compartimento.

À medida que as dimensões da chama aumentam é gerado mais calor e mais produtos de combustão. Estes vão acumulando na parte superior do compartimento, criando uma camada de fumo acima da chama. Esta camada evolui com o tempo: ao princípio é praticamente só ar, mas à medida que a chama cresce a sua temperatura aumenta, a concentração de oxigênio diminui e aumenta a dos produtos de combustão (a fuligem inclusive). O fluxo de calor entre a camada de fumo e os materiais combustíveis aumenta até ao ponto de ser capaz de incendiar a superfície dos restantes materiais combustíveis de uma forma generalizada. Esta fase de transição é conhecida como "*Flashover*", o fenómeno que marca a transição entre a fase de crescimento e a fase de incêndio generalizado (ver Figura 1).

Durante o incêndio generalizado há um excesso de combustível (já em fase gasosa) relativamente à quantidade de oxigénio existente no compartimento, portanto a totalidade do oxigénio existente no compartimento é consumida e o restante excesso de combustível quente tende a ser transportado até às aberturas do compartimento onde encontra oxigénio e arde. A temperatura média dentro do compartimento aumenta radicalmente, o que dá origem a um acentuado aumento do fluxo de calor para a estrutura. Este é o período em que a estrutura mais aquece. O processo de transferência de calor entre o fumo, as chamas e a estrutura é bastante complexo, envolvendo a transferência de calor por meio de radiação e convecção. O cálculo detalhado desta transferência de calor requer a utilização de modelos computacionais de fluidodinâmica (comumente conhecidos por "*CFD*") que permitem estabelecer os campos de temperatura, a velocidade dos gases e a concentração de fuligem, que são os elementos necessários para calcular a transferência de calor. Enquanto o fluxo de calor para a estrutura aumenta muito rapidamente depois do "*Flashover*", à medida que a temperatura dos elementos estruturais aumenta, este fluxo de calor diminui proporcionalmente à diferença de temperatura entre os gases e a estrutura.

Quando todo o combustível for consumido (ou se houver intervenção por parte dos Bombeiros) dá-se a extinção do incêndio e a temperatura da fase gasosa diminui rapidamente. Dada a baixa inércia térmica dos gases, a temperatura média do compartimento reduz muito mais rapidamente do que a temperatura da estrutura, portanto a estrutura entra numa fase de arrefecimento em que o fluxo de calor para a estrutura se torna negativo e a temperatura da estrutura vai reduzindo com o tempo.

É importante salientar que o tempo de crescimento do incêndio tende a ser muito mais curto do que o do incêndio generalizado ou do que o da fase de arrefecimento. Num compartimento pequeno (de aproximadamente 5m de largura, por 5m comprimento e 5m de altura) o período de crescimento dura, geralmente, cerca de 5 minutos enquanto o incêndio generalizado pode durar mais de meia hora (dependendo da carga de combustível e das condições de ventilação) e a fase de arrefecimento bastante mais de uma hora.

O processo de evacuação

O tempo necessário para a evacuação total de um edifício, conhecido como o "*Required Safe Egress Time*" ou "*RSET*", costuma definir a estratégia de protecção contra incêndio. O projecto de vias de evacuação é estabelecido de maneira a que o *RSET* seja o menor possível. Tendo em conta a velocidade natural com que as pessoas tipicamente se deslocam (V), o *RSET* pode ser reduzido tomando medidas tão simples como a selecção de valores adequados face aos requisitos normativos de distâncias máximas de evacuação (d_{max}), já que:

$$d_{max} = V \cdot RSET$$

As velocidades médias de deslocamento dos ocupantes de um edifício foram avaliadas de forma experimental, podendo-se encontrar valores estatísticos na literatura existente. A velocidade de deslocamento depende da densidade de pessoas (número de pessoas por área de superfície) no entanto para manter uma velocidade de deslocamento ideal é necessário dimensionar as vias de evacuação de maneira a que a densidade de pessoas se mantenha constante. As normas estabelecem critérios prescritivos para o dimensionamento que optimizam a velocidade de deslocamento e critérios para estabelecer o d_{max} de maneira a assegurar valores de "*RSET*" aceitáveis. Porém, mesmo que os requisitos normativos permitam obter, de uma forma implícita, um valor aceitável, é importante compreender o que significa ser *aceitável* para entender o propósito de cada componente da estratégia de protecção contra incêndio.

A Figura 1 demonstra a evolução das condições de um compartimento numa situação de incêndio. É evidente que as condições se deterioram à medida que o incêndio cresce e que, a certo ponto, estas condições vão representar um risco inaceitável para os ocupantes - risco que é geralmente conhecido como *condições insustentáveis*. Tendo em conta diferentes parâmetros, as tais condições insustentáveis podem ser definidas de várias formas num compartimento, nomeadamente: como o momento em que um sector do compartimento atinge temperaturas que podem gerar queimaduras; como o momento em que a camada de fumo alcança concentrações nocivas de gases tóxicos; ou mesmo, sendo-se mais conservador, o momento em que a altura da camada de fumo é tal que começa a interagir com os ocupantes ou a afectar a visibilidade da sinalização. Qualquer que seja a definição escolhida, isto representa o período de tempo disponível para a evacuação, conhecido como o "*Available*

Safe Egress Time/" ou "ASET". O objectivo principal do projecto para a estratégia de protecção contra incêndio é garantir que:

$$ASET \gg \gg \gg RSET$$

Este objectivo deve contribuir com critérios para a selecção dos materiais do mobiliário, revestimentos e outros elementos da construção. A selecção de materiais adequados é feita mediante ensaios de *reação ao fogo*, o que supõe que se os materiais cumprirem com certos requisitos (com ignição retardada, velocidade de propagação da chama retardada, baixa taxa de liberação de calor, *etc.*) estes podem ser usados para aumentar o ASET significativamente. Um aumento do ASET pode assegurar que o objectivo do projecto durante a fase de crescimento do incêndio seja cumprido. Caso contrário, por exemplo caso haja uma árvore de natal muito seca dentro de um compartimento pequeno, a fase de crescimento de um possível incêndio irá ser tão rápida que é provável que para tal compartimento o ASET seja *inferior* ao RSET.

O que é essencial evitar é confundir os objectivos das diferentes medidas de protecção contra incêndio, o que acaba por ser um erro relativamente comum na prática actual. Por exemplo, considerando os objectivos da evacuação, um sistema de detecção e alarme de incêndio tem como finalidade informar os ocupantes da situação de incêndio, reduzindo assim directamente o RSET. Por outro lado, quando se trata de um compartimento, um sistema de *sprinklers* não vai ter qualquer efeito útil sobre o ASET ou o RSET perante o objectivo da evacuação, uma vez que o tempo de activação de um *sprinkler* é geralmente maior que o próprio RSET. Se eventualmente o uso de *sprinklers* tiver algum efeito no ASET será somente após o período de RSET, depois de todos os ocupantes já terem evacuado o compartimento, portanto não terá qualquer efeito benéfico perante o objectivo da evacuação. No caso de um compartimento, as características da estrutura também não vão afectar nem o ASET nem o RSET, excepto no caso de revestimentos combustíveis, já que mesmo no caso de estruturas de madeira serão atingidas condições insustentáveis no compartimento (os valores típicos da temperatura que definem as queimaduras de segundo grau não excedem os 60°C) antes da ignição da madeira (que na literatura, comumente equivale a temperaturas que excedem os 300°C). Portanto, conclui-se que num compartimento, enquanto o incêndio se encontra confinado ao compartimento de origem, só os sistemas de detecção e alarme de incêndio e a selecção dos materiais vão afectar a relação entre o ASET e o RSET, ajudando assim a cumprir os objectivos da evacuação.

Considerando somente o compartimento, as *condições insustentáveis* são definidas directamente com base no efeito que o incêndio tem sobre os ocupantes. No entanto, ao considerar um edifício com mais de um compartimento é necessário ter em conta o movimento de pessoas em todo o edifício, tornando-se necessário estabelecer a influência do incêndio sobre a integridade do edifício durante todo o período de evacuação. À medida que um edifício aumenta em complexidade é evidente que a evolução local do incêndio não permitirá obter o *ASET* necessário para avaliar a evolução de diferentes sectores do edifício. É esta necessidade que define o processo de compartimentação como um elemento integral da estratégia de protecção contra incêndio.

A compartimentação separa sectores do edifício, confinando potenciais incêndios para reduzir o seu crescimento para além do compartimento, prevenindo a migração de fumo para além do sector de origem e criando zonas seguras que permitem separar o *RSET* em diferentes componentes. A compartimentação garante que o incêndio não vai ultrapassar os limites do compartimento durante um determinado período de tempo. Este período é conhecido como o tempo de *resistência ao fogo* do compartimento e também é definido com base em ensaios padronizados. Todos os componentes estruturais que representam as fronteiras do compartimento devem cumprir com a mesma *resistência ao fogo* e o *ASET* pode ser redefinido como o período de *resistência ao fogo*. A estratégia de protecção contra incêndio pode exigir um *ASET* >>>>>*RSET* local, definido em função da relação entre o incêndio e os ocupantes desse local; e um *ASET* >>>>>*RSET* geral, onde o *RSET* é definido pelo deslocamento ao longo dum sector do edifício separado do incêndio pela dita compartimentação e o *ASET* definido como a *resistência ao fogo* desta mesma. É assim que surgem conceitos como as vias de evacuação seguras e zonas protegidas que permitem manter os ocupantes dentro de um edifício por períodos maiores do que a fase de crescimento do incêndio. Neste caso, há um compartimento onde pode existir um incêndio generalizado separado do resto do edifício por um compartimento «corta-fogo», cujos elementos têm uma *resistência ao fogo* predefinida por meio de ensaios padronizados.

O impacto do incêndio na estrutura

O ensaio padrão para estabelecer a resistência ao fogo permite testar: portas, janelas, selagens, e paredes, lajes, vigas, pilares, ou qualquer outro elemento estrutural. Este ensaio submete os elementos estruturais (ou de construção) individuais a um ‘incêndio’ padrão

gerado por um forno em que se controla a temperatura de maneira a seguir a evolução ilustrada na Figura 2. O objectivo do ensaio é comparar a resistência ao fogo de diferentes elementos estruturais, o que é necessário dado o nível de complexidade do comportamento dos elementos durante o aquecimento que torna difícil prever o seu desempenho. Hoje em dia são usados modelos de elementos finitos («FEM») para calcular a transferência de calor e a evolução estrutural destes elementos mas, para muitos dos elementos, a tecnologia e conhecimento de ponta está muito longe de ser capaz de nos dar previsões de confiança, sobretudo no que diz respeito a elementos que requerem montagem, tais como paredes ou portas. Portanto, quando se quer estabelecer o desempenho de um elemento estrutural (a sua simplicidade não importa) é necessário referir-se a resultados obtidos a partir de ensaios padrão. A Figura 2 exemplifica o desempenho de um elemento estrutural genérico, cuja resistência ao fogo é obtida tendo em conta que uma temperatura crítica de 550°C leva à perda da sua capacidade de resistência estrutural. Este valor é típico de elementos estruturais em aço, representando a temperatura à qual se considera que o material perde as suas propriedades mecânicas. Existem outros critérios para diferentes elementos que também são definidos em relação à incapacidade do elemento cumprir a sua função.

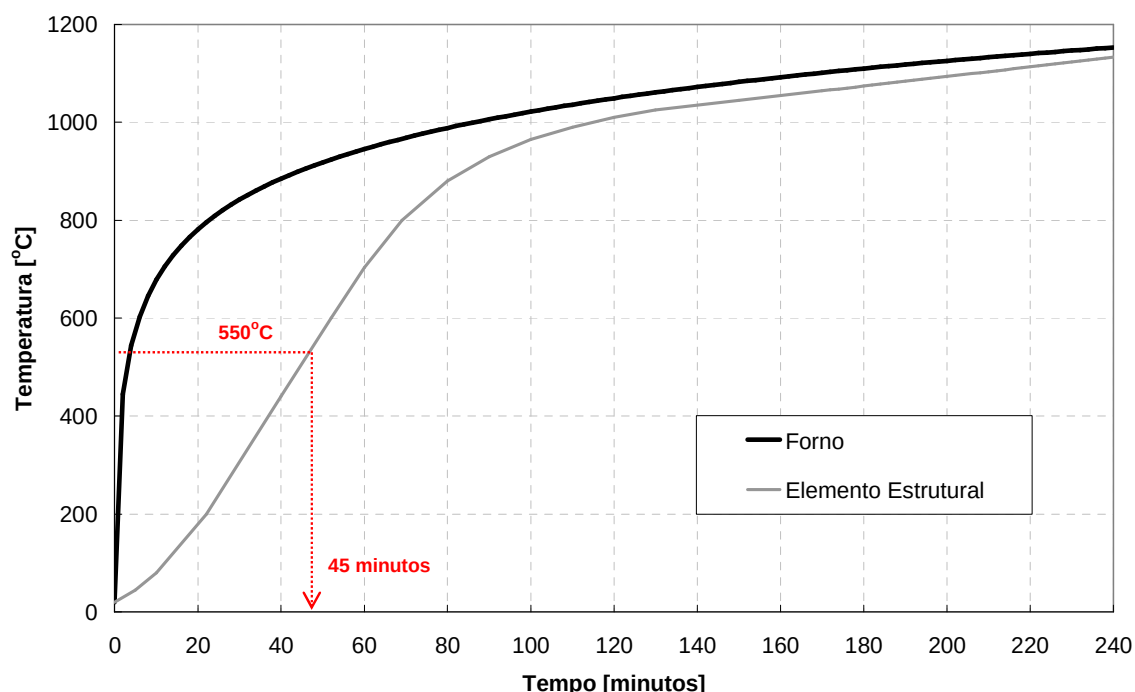


Figura 2: Evolução da temperatura durante um ensaio padrão de *resistência ao fogo* (ISO 834), mostrando o aquecimento de um elemento estrutural genérico. Neste caso é assumida uma temperatura crítica de perda de funções aos 550°C, o que equivale a uma resistência do elemento ao fogo de aproximadamente 45 minutos.

É importante realçar que o ensaio padrão não representa um incêndio real, mas sim a evolução da temperatura de um compartimento tendo em conta condições que excedem, na maioria dos casos, as temperaturas de um incêndio convencional. No entanto existem condições em que um incêndio pode chegar a temperaturas relativamente elevadas. Com base numa série de ensaios foram desenvolvidos conjuntos de curvas que representam a evolução temporal da temperatura de um compartimento pequeno (de 5 m x 5 m x 5 m) em determinados cenários com variadas condições de ventilação e de carga de combustível. Estes conjuntos de curvas permitem refinar a representação de um incêndio num compartimento. A primeira curva foi obtida num estudo realizado pelo *Conseille Internationale du Bâtiment* ("CIB") e apresenta uma temperatura máxima constante num compartimento em função da ventilação disponível, independentemente do tempo. A duração do incêndio é estabelecida pelo consumo total do combustível disponível dado um consumo por unidade de tempo empírico, simplesmente em função da temperatura máxima, portanto a curva ignora a fase de crescimento e de arrefecimento do incêndio. Uma série subsequente de experiências em compartimentos similares deu origem às *curvas paramétricas*, que hoje em dia estão incorporadas nos Eurocódigos. As *curvas paramétricas* representam a evolução temporal da temperatura dos gases num compartimento, inclusive das fases de aquecimento e de arrefecimento, e em função da ventilação e da carga de combustível disponível. É possível utilizar várias destas curvas em conjunto, fazendo a comparação entre curvas para traduzir a tempo equivalente *deresistência ao fogo* dado pelo ensaio padrão a tempo real, durante o qual se pode garantir a integridade estrutural de elementos de compartimentação. Estes métodos de interpretação são conhecidos como *Métodos de Equivalência* e permitem calcular o valor do *ASET* quando o objectivo é assegurar a integridade da compartimentação. Os métodos de equivalência baseiam-se em estabelecer o tempo necessário para a libertação de uma quantidade de energia num incêndio real (ou paramétrico) equivalente à energia libertada num ensaio padrão durante o período de tempo estabelecido para a *resistência ao fogo* do elemento de interesse.

Embora estes métodos prescritivos sejam úteis para produzir valores adequados do *ASET* têm também limitações significativas. As limitações mais importantes estão associadas à definição da carga térmica por meio de uma curva de evolução temporal da temperatura do elemento. Um incêndio transfere calor a uma estrutura portanto é impossível prescindir das equações de transferência de calor para obter uma descrição real da carga térmica – a evolução temporal da temperatura constitui somente uma parte da informação necessária. Para

obter a informação completa (de forma a poder fazer uma análise baseada no desempenho, por exemplo) é necessário modelar o incêndio de maneira a estabelecer: as distribuições espaciais da temperatura e da fuligem, para calcular a componente de transferência de calor por meio de radiação; e a distribuição espacial da temperatura em conjunto com o campo de velocidades da fase gasosa, para calcular a transferência por meio da convecção.

Do ponto de vista estrutural, o ensaio padrão, independentemente de requerer carga ou não, analisa o comportamento térmico de um componente estrutural, sem poder estabelecer o efeito que vários elementos estruturais podem ter no comportamento conjunto e integral do compartimento. Portanto o critério de perda da capacidade resistente definido para o componente não é necessariamente o mesmo que o critério de perda de resistência estrutural do conjunto. Este problema pode ser resolvido em casos simples como no caso de portas, em que se pode testar a porta e o seu aro numa secção de parede para obter o comportamento do conjunto. Os ensaios de *Cardington* demonstraram que isto não é o caso quando se trata do comportamento de lajes, vigas e pilares, em que a geometria, as ligações e a relação entre os diferentes elementos estruturais acabam por ser bastante mais importantes para o comportamento térmico do conjunto do que o desempenho térmico de cada um dos componentes por si só. Dito isto, é interessante notar que a crítica mais comum ao ensaio padrão refere-se à sua falta de realismo na descrição do incêndio. No entanto, embora seja verdade que o ensaio padrão não descreve um incêndio real, as diferenças podem ser aproximadas, ou mesmo, dado o extremo representado pelo ensaio padrão, no caso do incêndio as diferenças podem ser utilizadas como um factor de segurança. Por outro lado, as diferenças notadas na transferência de calor e no comportamento global da estrutura raramente são mencionadas, contudo não podem ser resolvidas de forma simples e não representam necessariamente um factor de segurança maior do que um. Porém, este tipo de análise detalhada torna-se essencial em muitos dos casos em que é necessária uma avaliação baseada no desempenho.

A estratégia em vários tipos de edifícios diferentes

Em edifícios pouco complexos, tais como moradias, prédios baixos e edifícios com uma planta pequena, que têm um número aceitável de ocupantes (típicos) e uma carga de combustível que não seja excepcional, o *RSET* tende a ser de poucos minutos. Nestes casos a evacuação total do edifício pode ser feita durante o período de crescimento do incêndio e uma

resistência ao fogo mínima permite garantir a segurança dos ocupantes. Se a planta do edifício ou a quantidade de ocupantes for significativa, o projectista tem várias opções: pode manter o *RSET* aumentando as vias de evacuação (garantindo distâncias máximas de evacuação e velocidades de deslocamento) ou pode aumentar o *ASET* ao fornecer uma maior *resistência ao fogo* (garantindo compartimentação prolongada). Em todos estes casos, dada a pequena dimensão do *RSET*, o conceito de *resistência ao fogo* é um conceito robusto, que permite não só assegurar os objectivos de projecto, mas permite também dar um factor de segurança que compensa as incertezas pertencentes à metodologia.

No caso de edifícios de grande planta, ou com um elevado número de ocupantes, existe uma outra opção que é aumentar o valor do *ASET* ao intervir no incêndio e nos produtos de combustão. Em casos em que a arquitectura ou a utilização do edifício não permita a compartimentação eficiente (por exemplo escritórios de planta aberta, átrios, centros comerciais, teatros, estádios, etc.), podem ser instalados extractores para o fumo ou *sprinklers* para reduzir a taxa de crescimento do incêndio. Além disso também se podem impor restrições na carga de combustível permissível ou mesmo introduzir barreiras automáticas para reduzir o crescimento do incêndio. É importante salientar que neste caso a estratégia não se baseia na compartimentação, portanto qualquer provisão de *resistência ao fogo* está destinada a manter a integridade estrutural do edifício. A integridade estrutural não deve ser posta em causa em qualquer circunstância sendo que uma falha estrutural pode ter um efeito destrutivo sobre os outros componentes da estratégia. Um exemplo comum é o colapso do sistema de *sprinklers* devido a uma falha estrutural do tecto em que o sistema se encontrava fixo.

O último grupo de edifícios são os edifícios altos. Um edifício é definido como sendo «alto» se tiver uma altura maior do que o alcance da escada do Serviço de Bombeiros e que, por isso, requer que a intervenção seja feita através do seu interior. Em geral, isto corresponde a uma altura acima dos 30 metros. Num edifício alto, o *RSET* é muito maior, portanto há tempo para a estrutura aquecer de forma significativa durante o período de interesse, em termos de evacuação. Estes edifícios requerem uma estratégia de protecção contra incêndio mais complexa.

Num edifício alto, a compartimentação tem vários propósitos. Em primeiro lugar, a compartimentação está relacionada com a restrição da propagação de um incêndio ao longo de um piso definido. Neste caso a compartimentação está destinada a aumentar o *ASET* correspondente ao andar de origem do incêndio até poder evacuar todas as pessoas desse mesmo piso. Este tipo de compartimentação tem as mesmas características que os casos

descritos acima. De seguida, as pessoas que evacuaram o piso vão permanecer nas escadas por um período considerável, portanto a caixa das escadas representa uma outra barreira para o incêndio. Dada a sua importância, este sector deve ser devidamente protegido com uma *resistência ao fogo* que tenha em conta um grande factor de segurança. Além disso, há elementos de redundância, como a pressurização da caixa das escadas, que formam parte da estratégia para assegurar que a via de evacuação se mantenha livre de fumo.

Por fim, a estratégia de protecção contra incêndio é baseada num incêndio num só andar, portanto as lajes, as paredes-cortina, os elementos da fachada, e a protecção de condutas verticais deve assegurar que a propagação vertical do incêndio seja muito lenta, se não impedida. Este ponto é de grande importância porque toda a estratégia de evacuação e de pressurização da caixa de escadas é pensada assumindo o controlo da propagação vertical. Além do mais, a compartimentação do incêndio consegue aproximar a metodologia padronizada da avaliação de *resistência ao fogo*, minimizando portanto a complexidade da interacção possível entre os vários componentes estruturais quando um incêndio abrange vários andares e aquece grandes áreas. Dada a magnitude do *RSET* num edifício alto, o *ASET* é fundamentalmente definido pelo comportamento da estrutura, tanto em termos da compartimentação como da integridade estrutural. Os elementos principais da estrutura têm tempo para aquecer, portanto, a probabilidade de um colapso generalizado aumenta. No caso de edifícios altos, a *resistência ao fogo* definida de forma normativa fornece os factores de segurança mínimos, e é neste caso em que é mais justificável uma análise detalhada do comportamento estrutural para assegurar que a estrutura cumpre a sua função como elemento essencial da estratégia de protecção contra incêndio. Este tipo de análise detalhada, com base no desempenho, supera uma análise prescritiva de carga térmica *equivalente*, e muitas vezes requer uma avaliação quantitativa do comportamento do incêndio, da transferência de calor para a estrutura e do desempenho estrutural durante todas as fases do incêndio.

O facto de num edifício alto o *ASET* ser fundamentalmente definido pelo comportamento estrutural, quer dizer que a *resistência ao fogo* calculada de forma detalhada, com base nos objectivos da evacuação, é o pilar principal da estratégia de protecção contra incêndio. A introdução de *sprinklers* neste tipo de edifício representa uma tentativa de redução de perdas materiais e uma redundância para a protecção da estrutura, porém a presença de *sprinklers* não pode ser utilizada como alternativa à *resistência ao fogo*.

A Figura 3 retrata o incêndio da Torre Windsor, que ocorreu em Madrid, em 2005. Neste caso a compartimentação falhou permitindo uma propagação muito rápida do incêndio

na vertical. Um incêndio de grandes proporções não está definido nas metodologias de *resistência ao fogo* normativas utilizadas em edifícios dessa época. Além disso, neste caso a resistência estrutural dos elementos de aço não correspondia aos requisitos típicos para edifícios desta altura. O resultado é um edifício totalmente fragilizado onde a estratégia de protecção contra incêndio acabou por ser completamente inutilizada, resultando, por fim, num colapso generalizado.



Figura 3: Fotografia do incêndio e consequente colapso generalizado da Torre Windsor em Madrid, em 2005.

Conclusões

O acentuado ritmo de inovação evidenciado no sector da construção, a nível global, nas passadas duas décadas, sobretudo no que diz respeito ao projecto estrutural, resultou em vários edifícios e sistemas de construção que não se enquadram no âmbito abrangido pelas normas prescritivas da protecção contra incêndio. No entanto, nem sempre é evidente quais são os casos a que as normas não se adequam. Tornou-se portanto essencial estarmos cientes das limitações das normas, das regulamentações e dos ensaios padronizados de maneira a podermos discernir entre: os casos em que é adequado recorrer somente a métodos prescritivos; os casos em que é necessário realizar uma análise completa com base no desempenho; e os casos em que se pode utilizar os métodos prescritivos como ferramentas

para pôr em prática uma estratégia baseada no desempenho. É portanto imperativo, nos dias de hoje, voltarmos a conhecer e a ponderar sobre os objectivos da estratégia da segurança contra incêndio de maneira a que possamos garantir a segurança das estruturas actuais.

Prescription or Performance: When? Why? How? Who?

Abstract

For several decades, the provision of Fire Safety Engineering in buildings was based solely on prescriptive codes and standards. The standards were developed to guarantee a robust, often conservative solution, with a considerable factor of safety. Nevertheless, the past two decades have witnessed a marked level of innovation in the construction industry. Several concepts that are an integral part of the prescriptive fire safety engineering strategy have been redefined. Architects have considerably redefined the concept of space which is no longer the systematic use of compartmentation seen for decades. The creation of large, open spaces is often facilitated by the development of novel construction materials, which in turn also enable non-conventional structural solutions. Unfortunately, the development of generalized knowledge applicable to prescriptive fire safety engineering standards, necessary to guarantee the safety of novel structures, has not been able to accompany the current level of development in the construction industry. Consequently, *generalized* confidence in the prescriptive standards and methodologies has become dangerous, such that it is now essential to know how to identify cases in which the prescriptive standards do not apply. In cases where prescriptive codes are not applicable (on the rise) it is necessary to employ a performance-based design approach, for which a thorough understanding of the available tools and fire safety engineering strategy objectives is essential.

Keywords: Fire Safety Engineering. Prescriptive codes and standards. Performance-based design. Innovation.

Fire safety engineering strategy

A fire safety engineering strategy analyses three main events: fire growth; the process of evacuation of all building occupants; and the impact of the fire on the structure. Fire growth is normally analysed based on compartment fire dynamics as compartmentation is an integral part of the fire safety strategy in buildings. If compartments are proposed that fall out with the size limitations set out by the prescriptive standards, a more comprehensive, performance-based study has to be conducted in order to enable an adequate analytical solution. Similarly the evacuation process for generic buildings can be established by applying prescriptive codes and standards but for more complex buildings or those that fall out with the prescriptive requirements, a performance-based design solution can be developed based on an understanding of the objectives of an evacuation strategy, the principal objective of which is to minimise the Required Safety Egress Time (RSET). With the main objective in mind and a knowledge of the applicability and limitations of the evacuation theories and tools available, a performance-based solution can be employed that guarantee at least an equivalent

level of safety for a unique building as that provided by prescriptive standards for generic buildings.

The process of guaranteeing structural fire safety is addressed in prescriptive standards by attributing fire resistance ratings to individual structural elements by means of standard fire testing and is mainly based on passive fire protection. Often the ratings are attributed based on equivalent levels of resistance where a parametric fire curve is established for a given compartment of interest. Contrary to the standard fire curve which does not represent a real fire (no decay period, etc.), the parametric curves enable a description of the gas-phase temperature-time evolution of a compartment based on fuel load, compartment size and available ventilation, allowing for a more tailored representation of the potential fire that can develop in a given compartment. A resistance rating is then defined from an equivalent level of exposure to the standard fire curve, against which the element is physically tested. Such methodologies are however built upon the assumption that an average gas-phase temperature evolution is the governing factor for heat transfer to the structure, when in fact, a myriad of other factors define how much energy is actually transferred from a fire to a structure. Furthermore the performance of individual elements in standard fire tests does not take into account important aspects of element size (*e.g.* only floor slab samples are tested), end restraints which would be present in a building, and the potential for localised heating as well as the effects of cooling. Such aspects have been found to have a significant influence on the behaviour of structural elements during a fire. Hence, while prescriptive methodologies have proved robust for generic buildings, the prescriptive standards are only applicable to structures that fall within a strict realm of applicability, for which the adopted methodology has an inherent factor of safety. This delimitation is however not always clearly stipulated in the standards. For cases where the structure falls out with the scope of the prescriptive standards, as is often the case with unique buildings, a holistic analysis should be conducted based on the potential behaviour of the building structure to a fire in order to develop a performance-based structural fire safety solution.

The different aspects of the fire safety engineering strategy may have varying levels of importance depending on the nature of the building of interest and its occupancy. Thus a thorough understanding of the strategy objectives and the available tools is essential in order to guarantee the provision of a safe solution.

Conclusions

The marked pace of innovation witnessed in the construction industry worldwide over the past two decades, particularly with regard to structural design, has resulted in several buildings and construction systems that do not fall within the scope covered by fire safety engineering prescriptive standards. Nevertheless the cases for which the standards are or are not adequate are not always evident. It has therefore become essential to be aware of the limitations inherent in the prescriptive standards, the regulations and in the standard tests used, in order to be able to discern between: cases in which it is adequate to apply only prescriptive solutions; cases in which it is adequate to conduct a comprehensive performance-based analysis; and cases in which prescriptive methodologies can be used as part of the tools employed to attain the objectives of the fire safety engineering strategy. Today, it has therefore become imperative to be acquainted with, and to reflect upon, the objectives of the fire safety engineering strategy in order to rationalize a tailored solution that guarantees the safety of a modern building.