

SEGURANÇA 4.0

Simulação Informática de Incêndio

Manual de Boas
Práticas



Cofinanciado por:



UNIÃO EUROPEIA
Fundo Europeu
de Desenvolvimento Regional

ficha técnica.

Autor

Paulo Ramos – ETU Fire Safety Consultants

Revisão

Bruno Lopes – ETU Fire Safety Consultants

Editor

APSEI

Índice.

	3
1 introdução.	7
1.1 Âmbito	7
1.2 O que é a simulação informática de incêndio	7
1.3 Para que serve a simulação informática de incêndio	8
2 metodologia.	10
3 objetivos da simulação.	13
4 programas de simulação.	17
4.1 Tipos de programas	17
4.2 Validação	19
4.3 Limites de aplicação	19
4.4 Critérios de escolha	19
4.5 Interação com outros tipos de software	20
5 cenário de incêndio.	23
5.1 O que é um cenário e para que serve	23
5.2 Localização do incêndio	23
5.3 Duração	24
5.4 Fogo tipo	24
5.5 Meios ativos que serão atuados	25
5.6 Especificidades decorrentes da exploração do edifício	25
5.7 Abertura de vãos	26
5.8 Alteração do cenário	27
6 critérios exigenciais.	30
6.1 Comportamento ao fogo de sistemas passivos	30
6.2 Sustentabilidade dos caminhos de evacuação	31
6.3 Combate ao incêndio	31

6.4	Simulações sem critérios definidos	32
7	simulação.	35
7.1	GIGO	35
7.2	Construção do modelo	35
7.3	Implementação do cenário de incêndio	37
7.4	Processamento	37
8	análise de resultados.	40
8.1	Tratamento prévio	40
8.2	Integração de informação de outros programas de simulação	40
8.3	Verificação do cumprimento dos critérios	41
8.4	Coeficiente de segurança	42
9	relatório.	45
10	revisão por pares.	48
11	quem pode fazer	50
12	bibliografia.	52
13	glossário.	54



01.
introdução

1 introdução.

1.1 Âmbito

O presente manual pretende dar uma visão abrangente e acessível do uso de programas de simulação de incêndio em edifícios. Não se trata (nem pretende que seja) um manual técnico da utilização deste tipo de ferramentas, mas antes um documento que ajude o leitor a saber para que servem este tipo de programas, conhecer as suas vantagens e limitações e ajudar a tomar decisões de qual o melhor modelo de cálculo para cada situação. Pretende-se ainda estabelecer metodologias e padrões de qualidade, daí chamar-se um manual de boas práticas.

Nota: a expressão de “*simulação informática de incêndio*” foi adotada neste documento como equivalente à expressão em inglês “*fire modeling*”. Optou-se pelo uso da palavra “*simulação*” e não “*modelação*” por referência à língua francesa, em que se usam as expressões como “*simulation d’incendie*” e “*simulateur de feu*”. A opção por uma palavra mais próxima do francês do que do inglês deveu-se ao facto de a legislação portuguesa de SCIE ser fortemente inspirada na francesa, parecendo assim mais coerente esse referencial linguístico.

1.2 O que é a simulação informática de incêndio

Um incêndio é um fenómeno complexo, cujo desenvolvimento depende de vários fatores, nomeadamente:

- Natureza da carga de incêndio (tipo de material, se está encapsulado ou não, etc.)
- Geometria da carga de incêndio
- Condições ambientais (temperatura, humidade, pressão)
- Envolvente (se está confinado ou não, geometria do espaço, absorção térmica da envolvente, etc.)
- Termodinâmica (fluxos de convecção gerados pelo incêndio)
- Dinâmica de fluídos da envolvente (sistemas de controlo de fumo, vento, etc.)
- Meios de combate ao incêndio

A complexidade deste fenómeno e as variáveis são tantas, que dificilmente se pode prever o desenvolvimento de um incêndio sem recurso a ferramentas informáticas que consigam lidar com toda esta informação. Assim um programa de simulação informática de incêndio processa, através de fórmulas complexas, o seguinte tipo de informação:

- Química do fogo
- Dinâmica de fluídos
- Termodinâmica
- Transferência térmica

Do conjunto de cálculos realizado, resulta informação numérica (tabelas) e visualizações gráficas (imagens 2D e 3D) do desenvolvimento do incêndio no tempo, permitindo saber, entre outras, a seguinte informação:

- Altura da camada de fumo
- Temperatura da camada de fumo e da camada livre de fumo

- Densidade ótica e visibilidade na camada de fumo
- Natureza química dos gases no compartimento (teor de oxigénio, teor de monóxido de carbono, dióxido de carbono e outros produtos da reação), quer na camada de fumo quer na camada livre de fumo
- Fluxos de gases nos vãos (entrada de ar e saída de fumo)
- Gradientes de pressão nos diferentes compartimentos
- Temperatura nas superfícies envolventes (paredes, teto, pavimento)
- Radiação recebida num determinado ponto ou superfície

1.3 Para que serve a simulação informática de incêndio

De uma forma genérica pode-se dizer que as simulações de incêndio são necessárias sempre que for útil conseguir prever como é que um incêndio se irá desenvolver num determinado espaço. As suas aplicações são múltiplas:

- **Dimensionamento da resistência ao fogo dos elementos estruturais**, permitindo prever a temperatura a que ficarão expostos, permitindo aferir se necessitam de proteção passiva e quais os requisitos para esta
- **Verificar as condições de sustentabilidade das vias de evacuação** ao longo do tempo (altura do fumo, temperatura, toxicidade, visibilidade, etc.); isto é particularmente útil em circunstâncias em que por algum motivo as vias de evacuação sejam deficitárias
- **Validar a eficácia dos sistemas de controlo de fumo**; isto torna-se relevante sempre que os sistemas de controlo de fumo não sejam totalmente regulamentares ou em que as características do espaço possam fazer com que o controlo de fumo possa ser menos eficaz, como sendo o caso de espaços com grande desenvolvimento em planta ou em alimetria
- **Análise de projetos de segurança contra incêndio**, sempre que por algum motivo este não cumpra na íntegra os requisitos regulamentares
- **Desenvolvimento de legislação**, permitindo ao legislador validar se os requisitos que está a prever são eficazes ou excessivos
- **Investigação pós-incêndio**, permitindo modelar e compreender o que ocorreu
- **Investigação académica**, podendo ser usado como contributo para interpretação de resultados de trabalho experimental ou para reduzir a quantidade de trabalho experimental necessário

No âmbito empresarial, as simulações informáticas de incêndio podem ser usadas nos seguintes contextos:

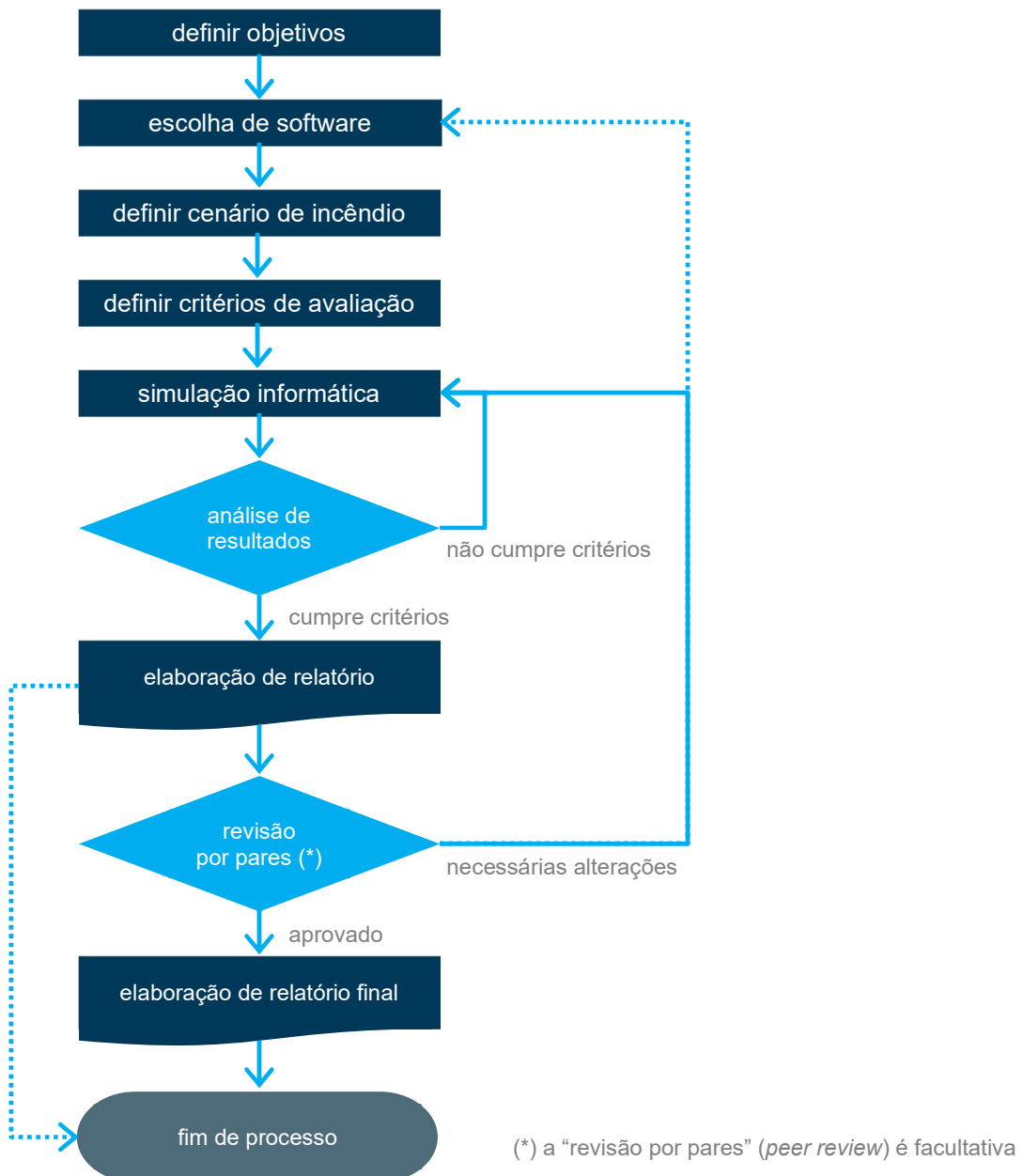
- Projeto de segurança contra incêndio
- Análise de risco de incêndio
- Auditorias de segurança
- Medidas de Autoproteção



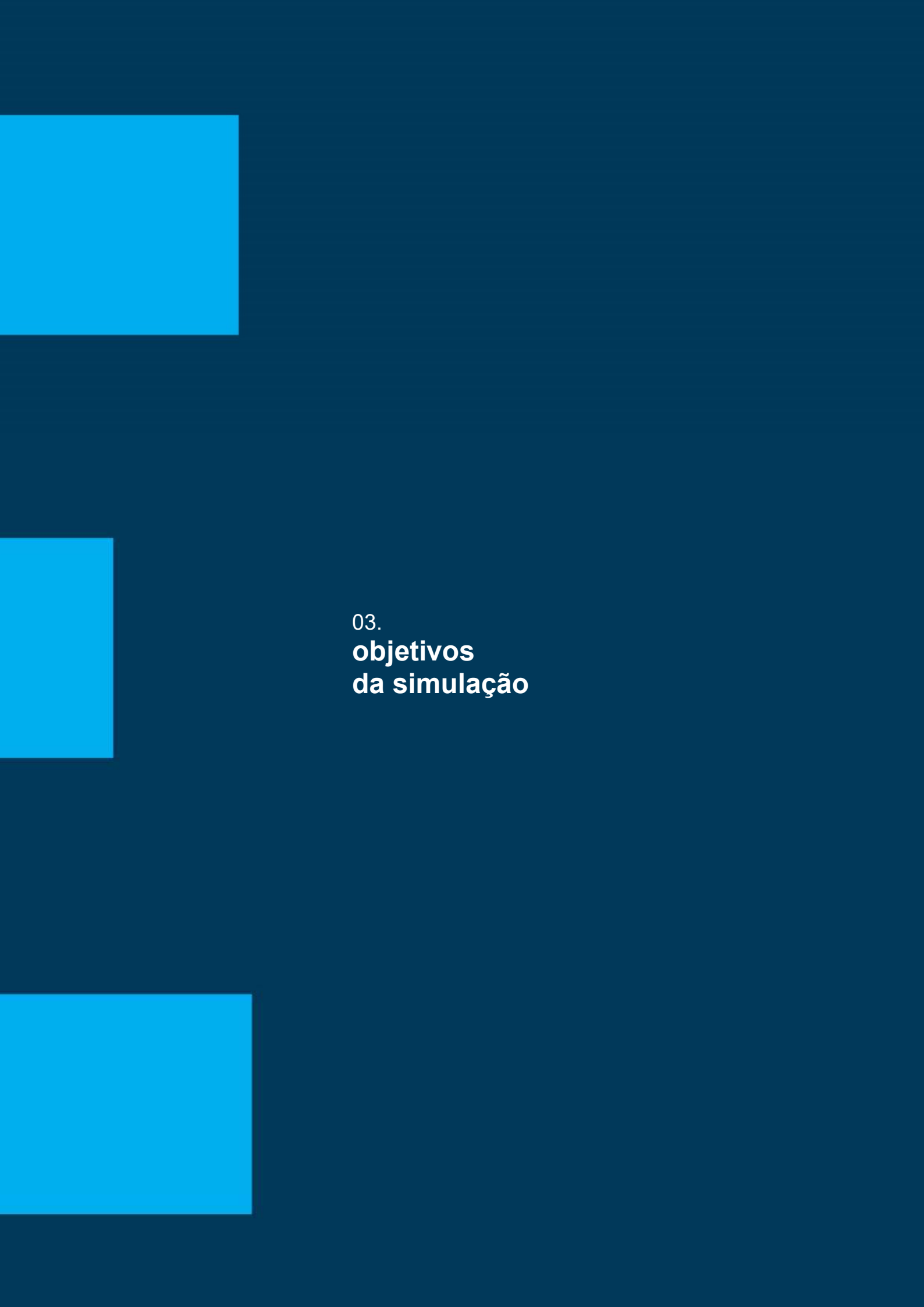
02.
metodologia

2 metodologia.

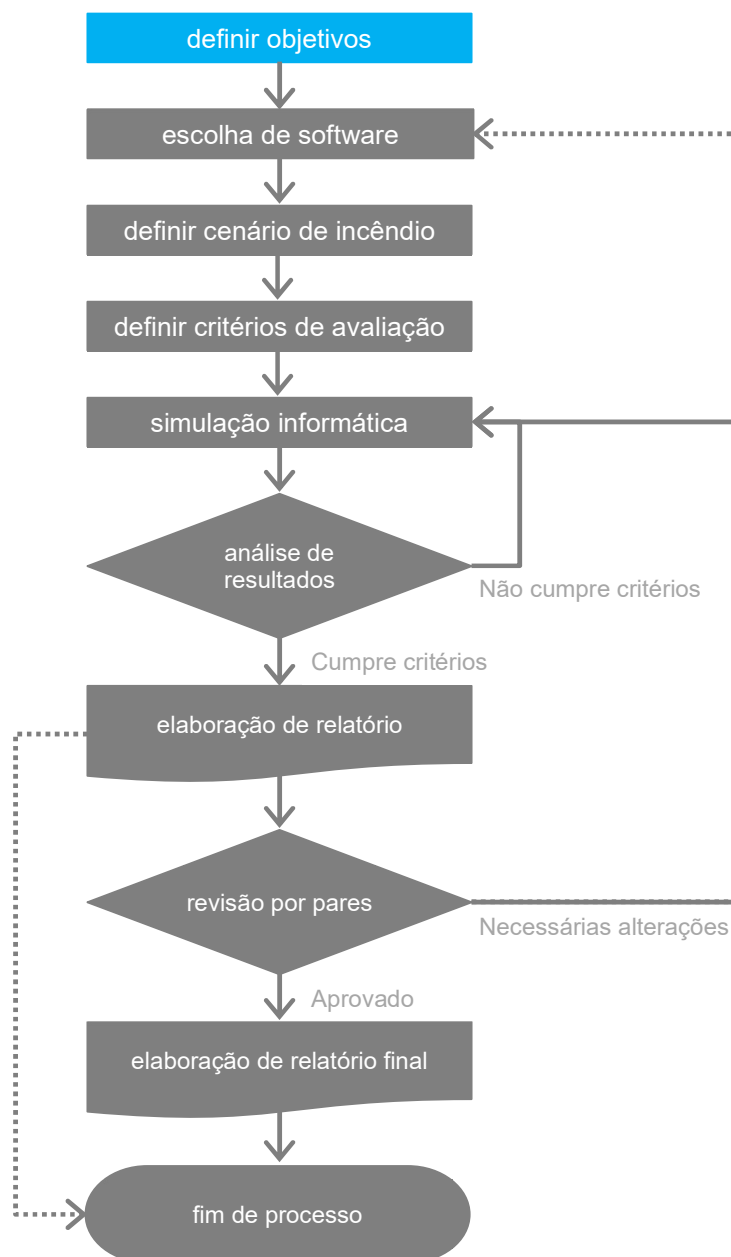
A utilização da simulação informática de incêndio, como qualquer outro processo, deve obedecer a um determinado procedimento, composto por vários passos e tarefas. No fluxograma abaixo mostramos o procedimento usual, que deve ser adaptado caso a caso. Cada um destes passos é detalhado num capítulo próprio nas páginas seguintes.



A metodologia proposta acima seguiu genericamente a estrutura e lógica da norma internacional *ISO 23932:2009 Fire safety engineering - General principles*.



03.
**objetivos
da simulação**



3 objetivos da simulação.

A definição do objetivo é o primeiro passo do processo de simulação de incêndio. Como se referiu, uma simulação de incêndio pode servir vários propósitos. Consoante o objetivo, haverá diferentes opções quanto ao programa a adotar, cenário de incêndio e critérios exigenciais.

A Clara definição de objetivos é essencial para se avaliar os recursos que serão necessários, independentemente de se fazer a simulação com os recursos internos da empresa ou recorrendo a prestadores de serviço externos. Nas tabelas abaixo sintetizamos os fatores que deverá ter em consideração e damos alguns exemplos.

Critério	Exemplo
Propósito	Dimensionamento de resistência ao fogo de elementos estruturais
Dados pretendidos	Temperaturas nos elementos estruturais
Abrangência	Elementos estruturais de uma zona específica
Destinatário	Entidade licenciadora / Empreiteiro / Seguradora
Revisão por pares	Não / Universidade

Critério	Exemplo
Propósito	Verificar as condições de sustentabilidade das vias de evacuação
Dados pretendidos	Altura e temperatura da camada de fumo, toxicidade dos gases, visibilidade
Abrangência	Tipificação das vias de evacuação pretendidas
Destinatário	Entidade licenciadora / Entidade exploradora
Revisão por pares	Não

Critério	Exemplo
Propósito	Validar a eficácia dos sistemas de controlo de fumo de um estacionamento
Dados pretendidos	Temperatura dos gases em várias alturas, fluxo de gases (<i>stream lines</i>), visibilidade
Abrangência	Todo o parque, apenas um piso ou apenas um compartimento de fogo
Destinatário	Entidade licenciadora / Dono de Obra
Revisão por pares	Não / LNEC

Critério	Exemplo
Propósito	Investigação pós-incêndio com vítimas mortais
Dados pretendidos	Geometria da pluma, temperaturas em pontos específicos (<i>target</i>), toxicidade de gases
Abrangência	Espaços afetados pelo incêndio e espaços adjacentes que possam ter influência
Destinatário	Seguradora / Entidades judiciais
Revisão por pares	Não

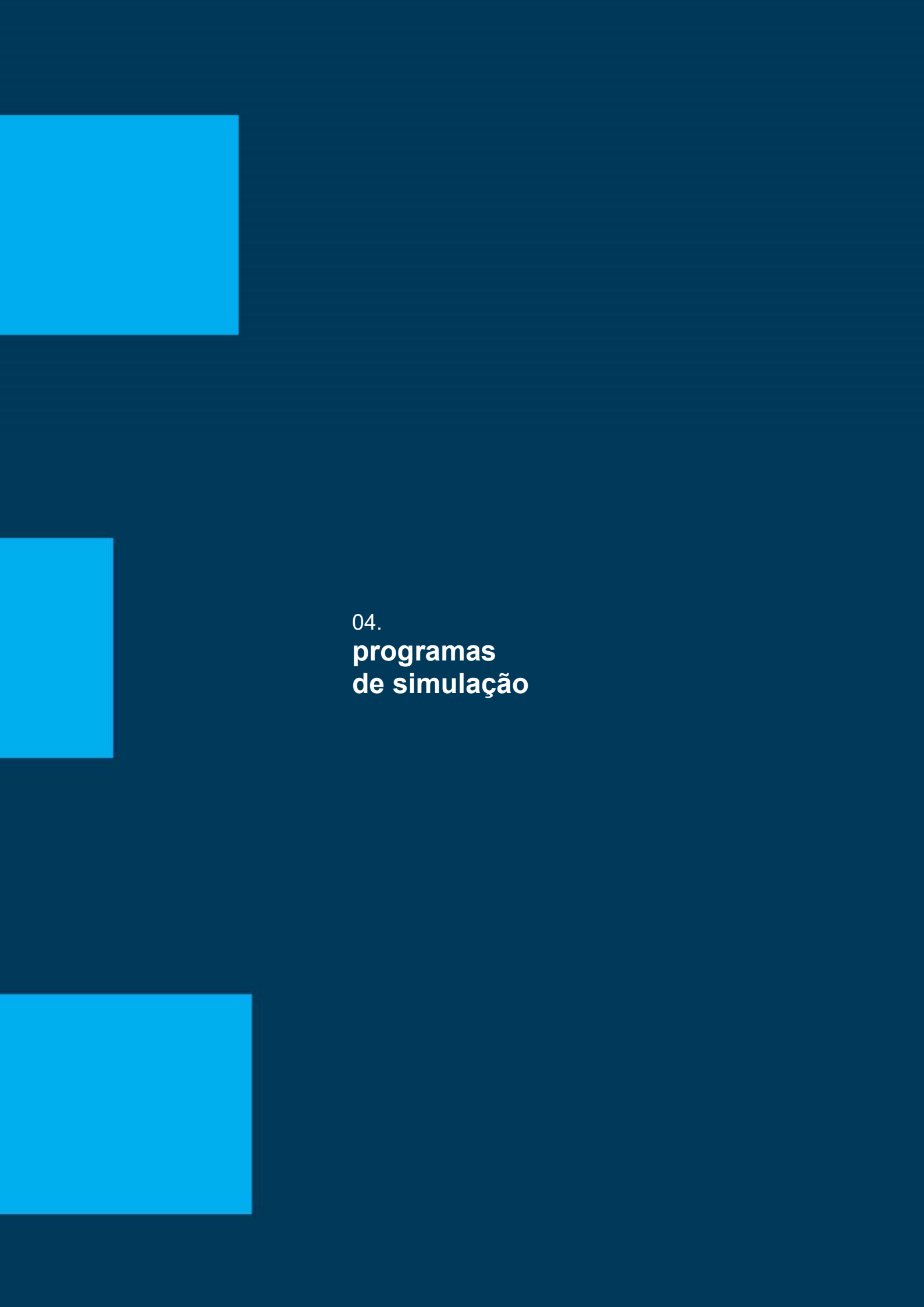
O propósito, dados pretendidos e abrangência são importantes na escolha do modelo de cálculo a usar, na definição do cenário de incêndio, na escolha dos critérios exigenciais e na definição do tempo de simulação. Saber quem é o destinatário é útil para definir a forma de apresentação (relatório, apresentação de slides, animações 3D) e o tipo de linguagem (corrente, acessível a todos, ou técnica, podendo tornar-se mais hermética). Por fim, saber se haverá uma revisão por pares permite que se antevêja o tempo necessário à interação com a entidade revisora e eventuais alterações à simulação caso se revele necessário.

Naturalmente que caso a simulação venha a ser desenvolvida por um prestador de serviço externo terá de ser dada informação complementar que permita a avaliação da complexidade do trabalho, nomeadamente:

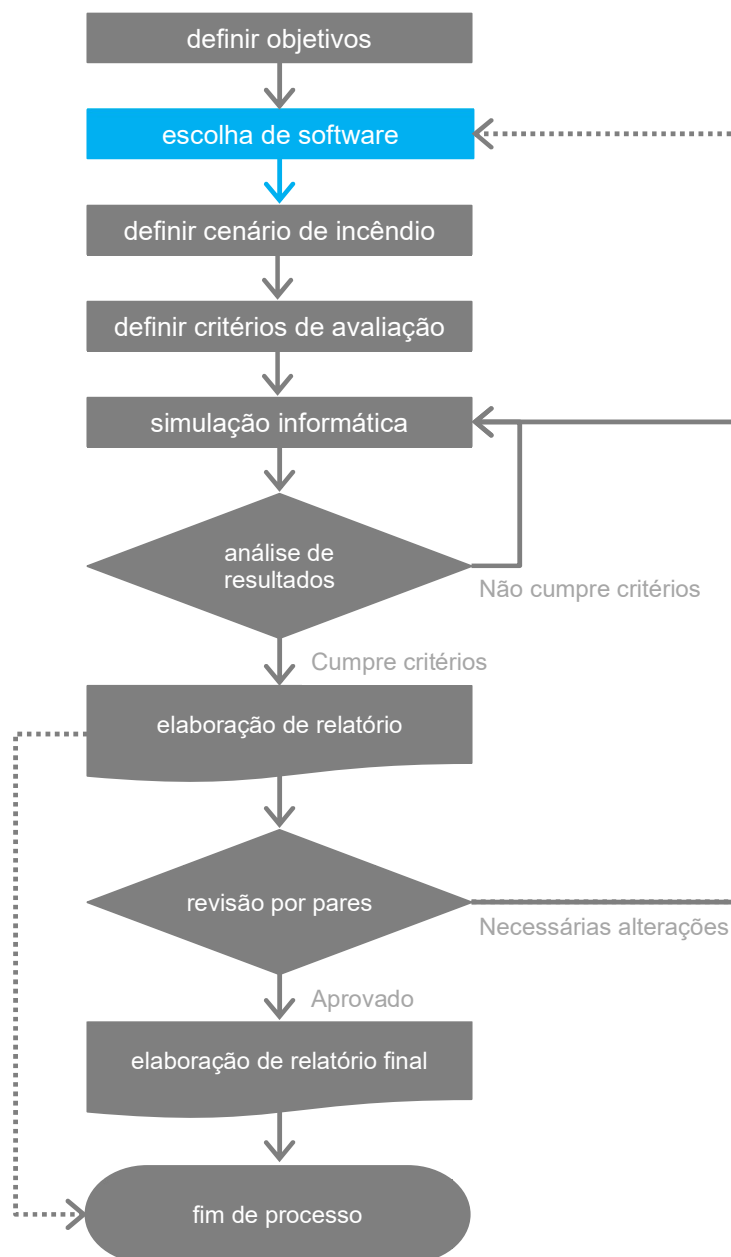
- Utilização tipo do edifício
- Caso se trate de um armazém, a natureza da carga de incêndio
- Caso se trate de uma fábrica, especificidades do processo industrial que possam ser relevantes para o desenvolvimento de um incêndio
- Plantas

Idealmente a definição dos objetivos deverá ser feita em diálogo, mesmo que informal, com todas as partes interessadas (*stakeholders*), nomeadamente:

- Quem vai desenvolver a simulação
- Destinatário, sobretudo se for uma entidade oficial (entidade licenciadora, seguradora, entidade judicial)
- Quem vai fazer a revisão, caso exista



04.
**programas
de simulação**



4 programas de simulação.

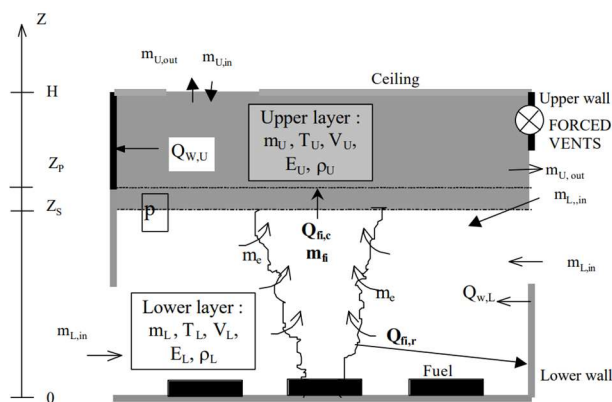
4.1 Tipos de programas

Existem atualmente vários programas de simulação de incêndio em edifícios disponíveis no mercado. Apesar da diversidade, estes podem ser divididos em dois grandes grupos:

- Modelos de zona
- Modelos de dinâmica de fluidos

Modelos de zona

O modelo de zona faz uma interpretação simplificada da fenomenologia da combustão, considerando que durante um incêndio os gases se estratificam em duas camadas (ou duas zonas), sendo a superior a camada de fumo (gases de combustão) e a inferior a camada livre de fumo (sobretudo ar, mas com outros gases resultantes da combustão). Apesar de ser uma abordagem dita “simplificada”, é demasiado complexa para cálculos feitos à mão ou com folhas de cálculo. De facto, estes modelos normalmente processam onze variáveis físicas, correlacionadas por sete restrições e quatro equações diferenciais, de forma contínua no tempo para ambas as camadas. Estes programas permitem considerar a troca de gases através de vãos para o exterior ou para outros compartimentos interiores, sejam verticais (portas, janelas), sejam horizontais (aberturas em lajes entre pisos ou claraboias). Permitem ainda considerar meios de ventilação mecânicos, de insuflação e extração, pelo que permitem a simulação de sistemas de controlo de fumo.



Corte esquemático de um modelo de duas zonas e os vários submodelos associados. *Ozone, Université de Liège*

Importa referir que existem modelos de zona mais simples, com apenas uma zona para o volume total do compartimento, que por serem demasiado rudimentares são cada vez menos usados, motivo pelo qual não são abordados neste documento.

Os programas baseados em duas zonas permitem conjugar vários volumes, horizontal e verticalmente, podendo formar edifícios complexos, com várias centenas de compartimentos e ligações entre si. Normalmente é possível a visualização 3D animada do modelo, vendo a evolução do incêndio ao longo do tempo. Essa visualização permite ver, por exemplo, a altura das várias camadas e a respetiva temperatura e o fluxo de gases nos vãos. É ainda possível considerar vários focos de incêndio e colocar no modelo detetores de incêndio, sistemas de

controlo de fumo e, em alguns dos programas, sprinklers. É possível criar matrizes de comando desencadeando uma sucessão de eventos, nomeadamente da atuação dos sistemas de controlo de fumo ou a abertura e fecho de portas e janelas.

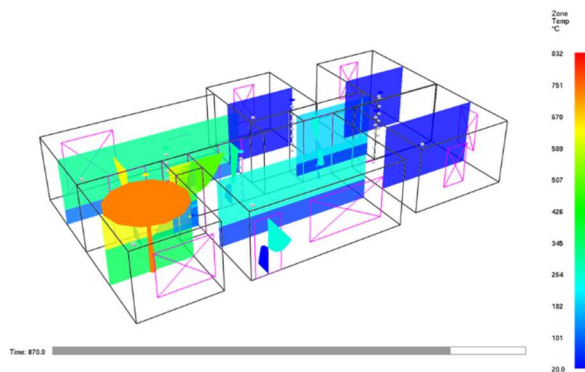


Imagem 3D de um apartamento T3. CFAST, Nist

Além da visualização 3D estes programas permitem exportar diversos tipos de dados físicos e químicos, como temperaturas, pressão, radiação, caudais dos gases nos vãos, composição química dos gases, densidade ótica, combustível consumido, entre outros. Estes dados podem ser extraídos compartimento a compartimento, vão a vão, sendo ainda possível colocar diversas sondas (*targets*) nos compartimentos para aquisição de dados como temperatura, radiação e pressão. São exemplos de programas que recorrem a modelos de zona o CFAST, desenvolvido pelo NIST, e o OZone, desenvolvido pela Universidade de Liège.

Modelos de dinâmica de fluídos

Os modelos de dinâmica de fluídos, por vezes referidos no acrónimo inglês CFD (*Computational Fluid Dynamics*), são extraordinariamente complexos do ponto de vista matemático e computacional. Os compartimentos de fogo são subdivididos em pequenos volumes (modelos de elementos finitos), criando uma malha fina. O programa processa as interações de gases entre estes vários volumes ao longo do tempo, permitindo uma leitura muito mais detalhada do que se passa no compartimento, nomeadamente da turbulência dos gases. Assim, a camada de fumo ao invés de ser plana e perfeitamente estratificada como no modelo de zona, tem uma geometria tridimensional variável no tempo e no espaço.

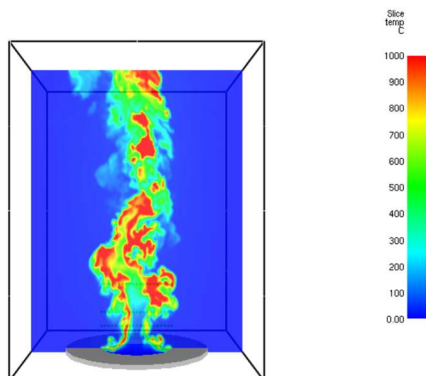


Imagem 3D de uma chama de metano, permitindo ver a variação da temperatura ao longo da chama. FDS, NIST

Estes programas permitem extrair o mesmo tipo de dados que os modelos de zona, mas com muito mais detalhe. Adicionalmente, apresentam ainda informação sobre a turbulência dos gases, sendo por exemplo possível visualizar o transporte de partículas nos gases (*streamlines*).

São exemplos de programas que recorrem a modelos de dinâmica de fluídos o FDS (*Fire Dynamic Simulator*), desenvolvido pelo NIST e o FLUENT criado pela Ansys. A interface do FDS é muito pouco *user-friendly* (os dados são introduzidos numericamente), havendo programas de interface gráfico que facilitam a introdução de dados, como sendo o PyroSim, da Thunderhead Engineering.

4.2 Validação

É de máxima importância que o software a adotar, independente de ser de modelo de zona ou de dinâmica de fluídos, esteja devidamente validado por entidades terceiras. Essa validação normalmente é feita através de ensaios em tamanho real, que permitem a continua calibração e aperfeiçoamento dos programas. Assim, quando escolher um programa de modelação deve ler bibliografia de referência para verificar se o programa está devidamente validado para o cenário a modelar. Todos os programas referidos no presente documento cumprem esses critérios.

4.3 Limites de aplicação

Todos os programas têm um limite de aplicação. Seja de número máximo de compartimentos, dimensões máximas do edifício ou número de fogos. Assim, é importante ler o manual de referência do software para conhecer estes limites. Por exemplo, na simulação da atuação dos sistemas de extinção automática, alguns programas fazem um cálculo mais rigoroso e complexo, considerando todos fatores, e outros recorrem a simplificações, daí resultando normalmente resultados mais conservadores.

4.4 Critérios de escolha

A escolha do programa a usar para uma dada simulação depende dos objetivos que foram definidos. Na tabela abaixo sintetizamos os prós e contras dos diferentes tipos de programa.

Tipo	Vantagens	Desvantagens
Modelos de zona	Modelação simples e rápida Processamento rápido Permite simular vários cenários de incêndio em curto espaço de tempo Eficaz e fiável para incêndio em regime laminar	Não importa geometria 3D de outros programas Não permite criar geometrias complexas Não adequado para incêndio em regime turbulento Limitado na capacidade de modelar a ação do vento
Modelos de dinâmica de fluídos	Permite criar geometrias complexas Maior detalhe de dados, nomeadamente da geometria da chama e camada de fumo Simula incêndio em regime turbulento Permite simular fenómenos diferentes de fogo, como sendo fugas de gás ou poluição	Modelação muito complexa Exige grandes recursos computacionais, sendo recomendado <i>cloud computing</i> Uma simulação pode levar vários dias a ser realizada

Com base nestes parâmetros, damos abaixo alguns exemplos de escolha de software em função do objetivo.

Tipo de compartimento	Objetivo	Tipo de programa a usar
Arrumo ou pequeno armazém, ligado a um corredor	Aferir se um incêndio neste armazém pode pôr em causa a evacuação dos compartimentos que confinam com o corredor	Modelo de zona
Edifício cuja planta tem vários compartimentos de pequena ou media dimensão, como um hotel, hospital ou escola	Simulação de vários cenários de incêndio, para efeito de verificação das condições de sustentabilidade na via	Modelo de zona
Átrio com vários níveis de geometria não demasiado complexa	Simulação para verificação expedita da eficácia de diferentes tipos de controlo de fumo	Modelo de zona
Átrio de geometria muito complexa, com formas orgânicas e superfícies inclinadas, de muito grande volume	Simulação de sistemas de controlo de fumo por diluição, sendo necessário verificar a toxicidade de fumo em vários pontos de alturas diferentes	Modelo de dinâmica de fluidos
Parque de estacionamento coberto aberto de grande desenvolvimento em planta	Perceber se apenas a ação do vento é suficiente para fazer um adequado varrimento do monóxido de carbono	Modelo de dinâmica de fluidos
Parque de estacionamento com ventiladores de impulso	Verificar a eficácia do sistema de controlo de fumo e a localização de possíveis vórtices onde o fumo se possa acumular	Modelo de dinâmica de fluidos

4.5 Interação com outros tipos de software

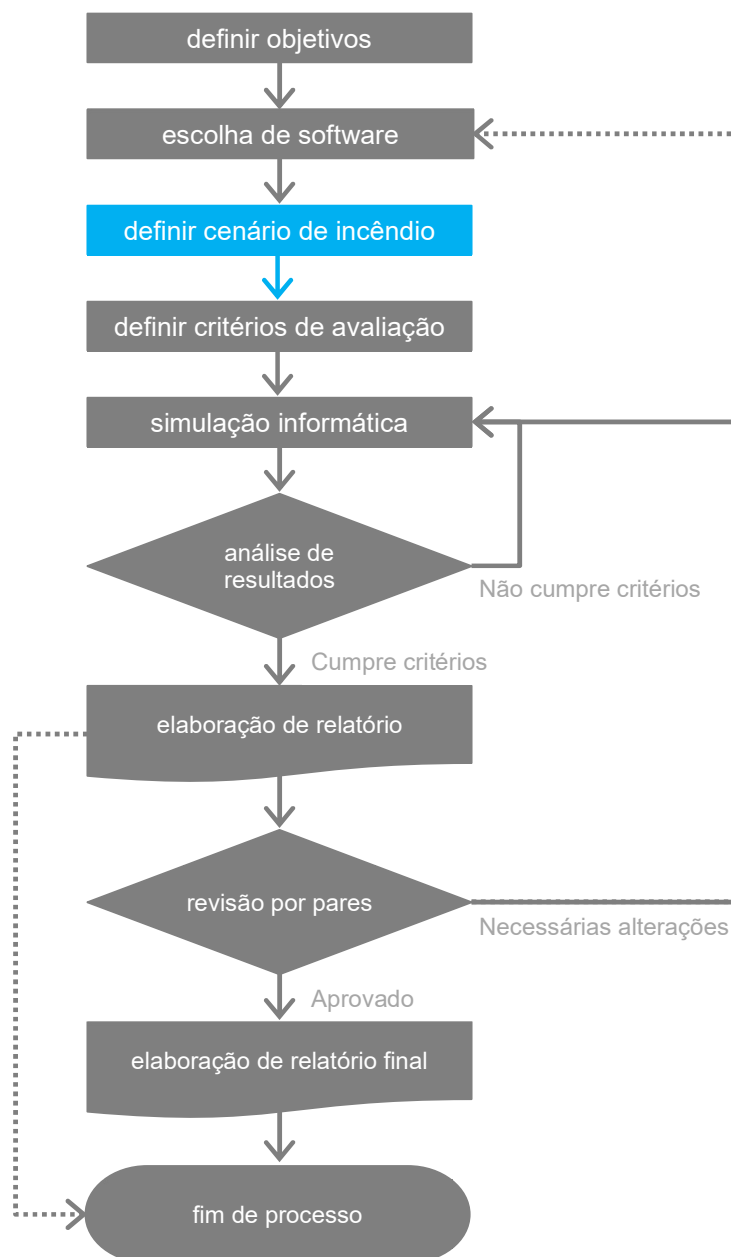
Outro aspeto que deve ser tido em consideração na escolha do programa, é a eventual necessidade de interação com outro tipo de programas, seja para importação ou exportação de dados, seja para integração de dados em tempo real.

Por exemplo, se tivermos de fazer a simulação de um edifício complexo que saibamos que já existe um modelo tridimensional em BIM (*Building Information Modeling*), convém escolher um programa que consiga importar essa geometria 3D através de um formato compatível, sendo o mais usual o IFC (*International Foundation Class*).

Por outro lado, se para o edifício em estudo se antever que será necessário fazer simulações de incêndio e de evacuação para perceber como é que o incêndio poderá afetar os ocupantes, é útil escolher um programa que consiga integrar uma simulação na outra. É disso exemplo PathFinder, da Thunderhead Engineering, que permite integrar simulações de incêndios feitas pelo programa FDS.



05.
cenário de incêndio



5 cenário de incêndio.

5.1 O que é um cenário de incêndio e para que serve

O cenário de incêndio é o conjunto de pressupostos que vamos ter em consideração numa simulação de incêndio, que pode compreender entre outras as seguintes definições:

- Localização do incêndio
- Duração da simulação
- Fogo tipo
- Meios ativos que serão atuados
- Especificidades decorrentes da exploração do edifício

As simulações de incêndio por meios informáticos podem ser processos morosos, sobretudo se forem utilizados modelos de dinâmica de fluídos. O processamento de um incêndio, conforme o tipo de programa utilizado e a complexidade do edifício pode levar horas ou semanas. Assim, pode não ser viável simular vários cenários diferentes, sendo necessário identificar os cenários que podem ser mais desafiantes para o edifício em causa.

5.2 Localização do incêndio

A localização do incendio compreende duas vertentes:

- Compartimento em que este ocorre
- Localização específica do incêndio dentro do compartimento

A escolha do compartimento depende muito do objetivo estabelecido para a simulação. Dão-se alguns exemplos de cenários usuais:

- A. Espaço com maior efetivo do edifício (por exemplo um auditório)
- B. Circulação que constitua um ponto nevrálgico para a evacuação do edifício (por exemplo um átrio de entrada)
- C. Espaço de grande pé direito e volume, em que devido às suas dimensões o controlo de fumo possa ser menos eficaz
- D. Compartimento num piso muito elevado, acima do alcance das autoescadas
- E. Compartimento com maior carga de incêndio

Uma vez determinado qual o compartimento onde será o incêndio, há que definir a sua localização nesse espaço. Tendo presente que o cenário deve ser desafiante, listam-se abaixo localizações possíveis para os exemplos do ponto anterior:

- A. Próximo da porta principal do auditório
- B. Numa zona de estrangulamento que bloqueie significativamente a saída
- C. Próximo de uma grelha de insuflação
- D. Afastado de janelas, para que estas não partam pela ação térmica e não ventilem o espaço
- E. A meio do compartimento, de forma a maximizar a progressão

5.3 Duração

Quando se faz uma simulação de incêndio, define-se a duração em que se quer simular o incêndio. Quanto maior for essa duração, mais horas (ou dias!) serão necessários para o processamento informático da simulação. De forma a agilizar o processo, deve adotar-se a menor duração possível que sirva o objetivo da simulação. Dão-se alguns exemplos:

- Para analisar as condições de sustentabilidade da evacuação – 15 minutos (na presunção que a evacuação termina antes disso; o tempo de simulação de incêndio deve sempre ser maior que o tempo estimado para a evacuação)
- Caso se pretenda estimar as condições ambientais aquando da chegada dos bombeiros – 30 minutos (caso seja expectável que a chegada seja antes bastante antes)
- Para avaliar o impacto nos elementos estruturais – 60 minutos ou mais, dependendo do desenvolvimento da curva de incêndio e das exigências regulamentares para o compartimento em análise

5.4 Fogo tipo

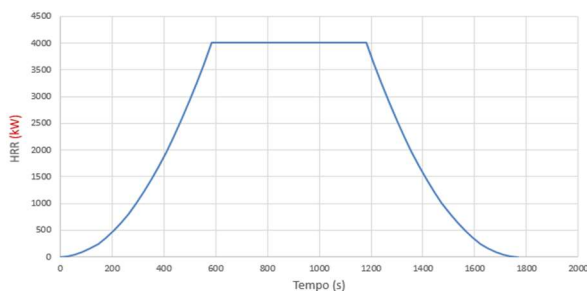
Existem duas metodologias que podemos adotar para a definição do fogo tipo:

- Caso se pretenda seguir um determinado referencial normativo, usar o fogo tipo previsto nessa norma
- Definir um fogo que tenha enquadramento com a realidade do edifício

As normas tendem a tipificar situações, pelo que pode dar-se o caso de um fogo tipo não ser realista, por defeito ou excesso, para o espaço em questão. Todavia, é uma abordagem que potencialmente é mais facilmente aceite pelas entidades licenciadoras.

A escolha de um fogo específico para o edifício pode ser uma solução mais adequada, mas deve ser devidamente fundamentada, com base em bibliografia de referência, e ser razoavelmente conservadora.

No gráfico abaixo mostra-se um exemplo que uma curva de incêndio, em que a fase de crescimento um quadrático (αt^2) de crescimento médio atingindo 1 MW aos 300 segundos, conforme Eurocódigo 1 – “Ações em estruturas”, parte 1-2 “Ações gerais e ações em estruturas expostas ao fogo” (NP EN 1991-1-2), seguindo-se uma fase de temperatura de pico constante (*steady burning*) de 4 MW, e por fim uma fase de decaimento quadrático.



Curva de incêndio de crescimento e decaimento quadrático, com pico constante de 4 MW. Bruno Lopes

A definição do fogo tipo deve compreender vários aspetos. Referem-se os mais relevantes:

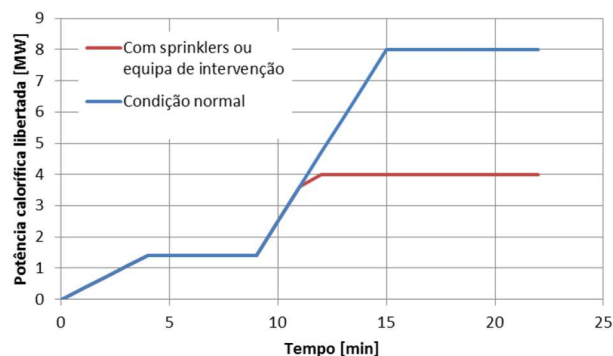
- Área do fogo
- Potência calorífica libertada
- Curva de incêndio (desenvolvimento ao longo do tempo)
- Duração (que pode ser o resultado da conjugação da energia total libertada com a curva de incêndio)
- Composição química da carga de incêndio
- Subprodutos que possam ser relevantes, como a fuligem

Os dois últimos aspetos só são verdadeiramente relevantes se na simulação se pretender avaliar a toxicidade dos gases e a visibilidade.

5.5 Meios ativos que serão atuados

Os meios ativos como o controlo de fumo e os sistemas de extinção automática têm um impacto significativo no incêndio que deve ser considerado na simulação. A generalidade dos programas permite colocar no modelo grelhas de ventilação, exutores e meios mecânicos de insuflação ou extração. Adicionalmente, nos modelos de dinâmica de fluídos, consegue ainda usar-se ventiladores de impulso, o que não é possível nos modelos de zona.

No que concerne aos meios de extinção automática, a situação é um pouco mais diversa, sendo naturalmente os modelos de zona mais limitados. Todavia, mesmo que o modelo não tenha ferramentas específicas para processar sistemas de extinção, o efeito destes pode ser considerado usando curvas de incêndio que já incorporem a redução de temperatura resultante da sua atuação. No gráfico abaixo mostra-se o exemplo da curva de incêndio para automóveis, com e sem efeito de sprinklers, previsto na norma portuguesa NP 4540:2015 “Sistemas de ventilação de impulso em parques de estacionamento cobertos não compartimentados”.



Curva de incêndio da combustão de um carro, com ou sem atuação de sprinklers. NP 4540:2015

5.6 Especificidades decorrentes da exploração do edifício

A simulação para ser realista deve considerar no seu cenário qualquer situação que possa tornar o incêndio mais gravoso e que se considere que existe uma forte probabilidade de ocorrência.

Por exemplo, se estivermos a fazer uma simulação de um incêndio num quarto de hotel, não é muito lógico fazê-lo com a porta do quarto fechada, porque isso não irá afetar de forma significativa o corredor. Mesmo que o quarto tenha porta para-chamas com mola, podemos considerar que o incêndio ocorre no momento em que o quarto está a ser limpo, em que a porta é mantida na posição aberta.

Outro exemplo possível é o de um incêndio numa creche. O momento mais crítico para a evacuação será porventura durante a sesta das crianças, em que estas estão nas camas e normalmente os auxiliares não estão na sala, mas deixam a porta entreaberta. Fazendo a simulação para este caso, podemos ver como é que o incêndio pode afetar a sala onde estão a dormir, caso o fumo no corredor seja suficiente para se propagar para a sala pela abertura da porta.

5.7 Abertura de vãos

A abertura de vãos, sobretudo para o exterior, poderá ter grande influência no desenvolvimento do incêndio dado que muda de forma significativa as condições de evacuação. Assim o cenário de incêndio deverá ter em consideração, nomeadamente:

- A abertura de portas pelos ocupantes durante a evacuação; se as portas forem dotadas de mola deverá ser considerada a abertura e o seu posterior fecho; caso seja feita uma simulação de evacuação deverá ser tido em consideração os dados desta (quais portas são abertas/fechadas e quando) e devidamente incorporadas na simulação de incêndio
- As janelas que eventualmente possam estar abertas no início do incêndio
- A quebra de vidros das janelas decorrentes da ação térmica do incêndio

Estimar o momento em que há quebra de vidros poderá não ser fácil. Essa quebra depende de vários fatores, entre os quais:

- Diferencial térmico entre o interior e o exterior
- Diferencial térmico entre partes diferentes do vidro, caso o plano neutro esteja à altura da janela, ficando a parte superior do vidro exposta aos gases quentes da camada de fumo e a parte inferior à temperatura ambiente
- Diferencial térmico entre o bordo do vidro, que está inserido na caixilharia, e a parte do vidro que está à vista e exposta às condições ambientais; tendencialmente quanto mais eficaz for a transmissão térmica da caixilharia para o vidro (é o caso de caixilharias em ferro mais antigas) mais facilmente o vidro se irá fragmentar
- Características do vidro nomeadamente a sua espessura, o seu tipo (por exemplo se é temperado ou não) e se se trata de vidro simples, duplo ou laminado; a título de exemplo um vidro simples de 3 mm (hoje em desuso, mas comum em construções mais antigas) pode partir com diferenciais térmicos na ordem de 150°C, sendo que vidros duplos ou laminados, com espessuras de 6 mm ou superiores, necessitarão de diferenciais térmicos de 650°C ou mais para partirem

Existem alguns programas específicos para cálculo da quebra de vidros. A maior parte deles irá indicar apenas em que momento se produzem as primeiras fendas, mas não quando o vidro colapsa ou qual a área de abertura

com que a janela irá ficar, dado que o colapso pode ser parcial. O colapso do vidro após a sua quebra depende também de vários fatores:

- A forma de fixação do vidro à caixilharia; vidros inseridos em caixilhariarias que tenham sido fixados com silicone em ambos os lados mais dificilmente irão colapsar ou pelo menos colapsar na íntegra
- Dimensão do vidro; quanto maior for, maior a probabilidade que haja partes do vidro que caiam, sobretudo na parte central
- Tipo de vidro; se for um vidro temperado pode levar mais tempo a quebrar, mas quando houver a quebra o colapso poderá ser total
- Se se trata de vidro simples, duplo ou laminado; naturalmente o vidro duplo é pouco propenso a um colapso com abertura total do vão, dado que a parte colapsada do vidro interior dificilmente coincidirá na íntegra com a parte colapsada do vidro exterior
- Diferencial de pressão do interior para o exterior; os incêndios geram pressões positivas pelo que a pressão exercida sobre o vidro poderá facilitar o seu colapso após a sua fendilhação; isso pode por exemplo acontecer com o vidro laminado; chama-se a atenção que o efeito da pressão só é relevante para o colapso da primeira janela do compartimento, uma vez que depois dá-se um alívio de pressão do compartimento

Dado o grau de incerteza quanto à quebra e colapso do vidro, poderá ser prudente fazer-se várias simulações, considerando os vãos fechados e abertos e verificar qual o cenário que é o mais adequado para o objetivo da simulação. Dá-se um exemplo dessa correlação entre objetivos e cenário de abertura de vãos:

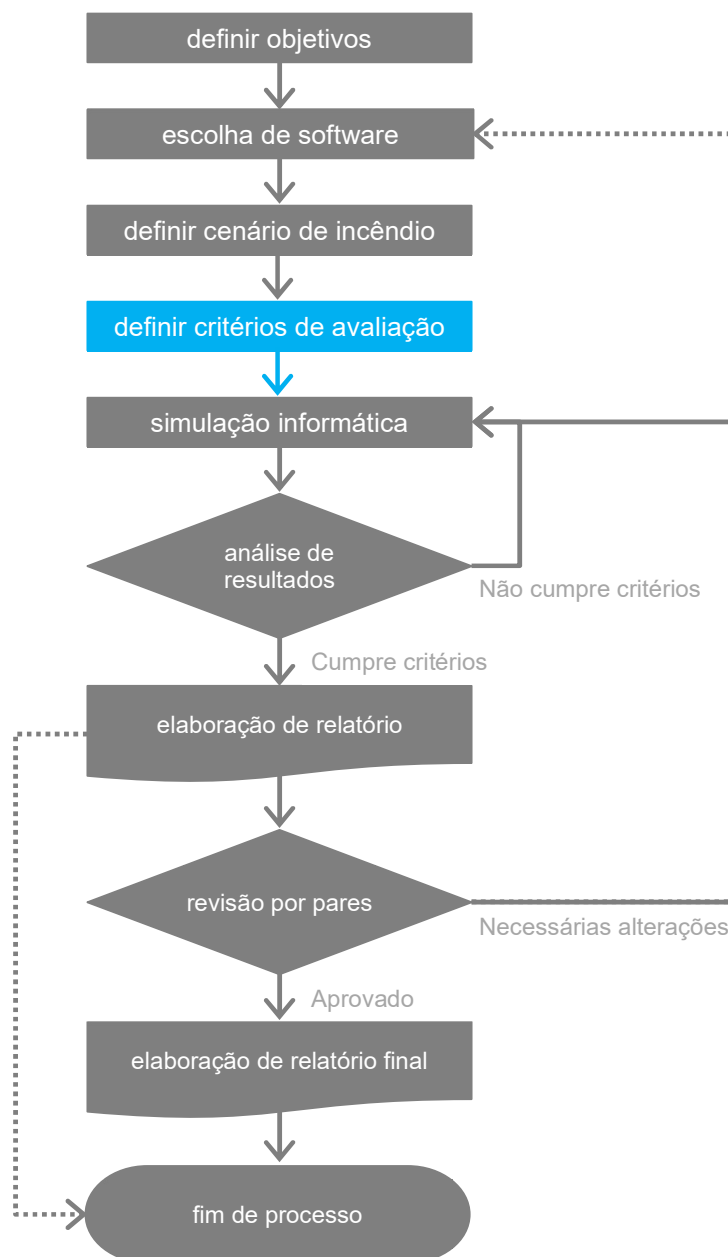
- Caso o objetivo seja verificação das condições de resistência ao fogo dos elementos estruturais, uma simulação considerando todos os vãos abertos pode ser mais desafiante, dado que a oxigenação do fogo irá dar origem a temperaturas de pico bastante mais elevadas
- Se o objetivo for verificar as condições de evacuação, uma simulação considerando todas as janelas para o exterior fechada e as portas interiores abertas (por exemplo para o corredor) pode ser mais interessante, uma vez que numa fase de desenvolvimento pleno do incêndio haverá carência de oxigénio no compartimento de fogo mas a temperatura será tão elevada que continuará a haver pirólise, pelo que parte significativa da combustão se dará quando os gases chegam ao corredor e não dentro do compartimento em que houve a eclosão; nesta circunstância pode dar-se o caso de a temperatura de incêndio ser mais elevada no corredor (mesmo que não tenha qualquer carga de incêndio) do que no compartimento onde eclodiu o fogo e onde está a carga de incêndio

5.8 Alteração do cenário

A escolha de um cenário de incêndio é feita *a priori*, com base naquilo que estimamos ser o caso mais desafiante dentro do objetivo estabelecido. Todavia durante o processo de simulação e em função dos resultados preliminares, podemos concluir que afinal o cenário não é tão crítico como julgávamos e que há outras situações que podem ser interessantes estudar. Assim poderá ser necessário ajustar ou alterar o cenário escolhido, devendo isto ser considerado como um processo normal. As alterações de cenário de incêndio ao longo do processo deverão ser referidas e devidamente justificadas no relatório de simulação.



06.
critérios exigenciais



6 critérios exigenciais.

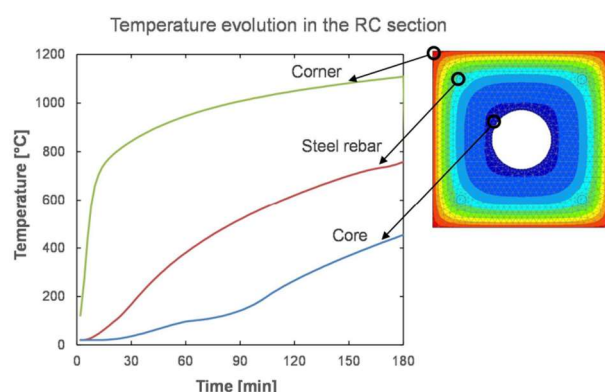
A determinação dos critérios exigenciais é um passo importante no processo de simulação de incêndio por meios informáticos. A escolha destes critérios deve ser feita em função dos objetivos definidos para a simulação e irá determinar posteriormente os dados que queremos extrair e analisar.

6.1 Comportamento ao fogo de sistemas passivos

Caso o objetivo seja a verificação do desempenho de um determinado sistema passivo, o fator crítico será a temperatura. Assim, importa saber qual a temperatura que o elemento estrutural suporta sem colapsar.

No caso dos elementos metálicos, em que a distribuição de temperatura é razoavelmente uniforme, não havendo gradientes de temperatura significativos ao longo da secção, pode-se falar do conceito de “*temperatura crítica*”, dado que se assume por simplificação homogeneidade de temperatura na secção. Todavia, para elementos estruturais compostos de vários materiais e de grande secção, como é o caso das estruturas de betão, o campo de temperaturas ao longo da secção é muito variável, sendo mais elevada nas arestas e bastante inferior na zona central do elemento, não sendo possível definir uma temperatura crítica. Neste caso o colapso poderá ser ditado pela temperatura alcançada nas armaduras e ainda pela quantidade de varões que chegaram a uma temperatura em que perdem de forma significativa a sua capacidade resistente.

Importa referir que a temperatura do gás à superfície dos elementos estruturais até ao pico de temperatura do incêndio será sempre consideravelmente superior à temperatura dos elementos estruturais em si, havendo por assim dizer um “atraso” na temperatura do elemento estrutural face à temperatura envolvente. (Nota: numa fase adiantada do decaimento de temperatura do incêndio, a temperatura do elemento estrutural será maior que a temperatura dos gases à volta desse elemento.) O atraso atrás referido deve-se à ineficiência da transferência de calor entre os gases e os sólidos, à maior ou menor condutividade do material do elemento estrutural e à inércia térmica dos elementos. Assim assumir a verificação do critério apenas considerando a temperatura dos gases quentes junto ao elemento estrutural representa uma abordagem bastante conservadora.



Gradiente de temperaturas num pilar de betão e sua evolução no tempo. *SAFIR Capabilities and examples of applications*

Por fim, importa referir que na verificação da resistência estrutural ao fogo, uma das abordagens possíveis é usar um programa terceiro de modelação estrutural em situação de incêndio como o SAFIR, desenvolvido pela Universidade de Liège. Nesse caso a simulação de incêndio serve apenas para gerar dados de temperatura e radiação que serão importados para o programa de verificação estrutural.

6.2 Sustentabilidade dos caminhos de evacuação

Caso o objetivo da simulação seja a verificar sustentabilidade dos caminhos de evacuação, importa analisar as condições a que os ocupantes serão expostos durante a evacuação. Essas condições são influenciadas por diversos fatores nomeadamente:

- Temperatura dos gases
- Composição dos gases, nomeadamente o teor de oxigénio e os gases que sejam tóxicos
- Quantidade de fuligem (para determinar a visibilidade)
- Radiação

Estes critérios deverão basear-se em legislação (em Portugal estes critérios não estão definidos), em normativa de referência ou em bibliografia especializada. Dá-se abaixo o exemplo dos critérios de sustentabilidade aplicáveis a pessoas com condições de saúde normais constantes na regulamentação italiana (*Norme tecniche di prevenzione incendi, 2011*).

Critério de sustentabilidade	Valor a considerar para os ocupantes
Altura da camada de fumo	≥ 2 m
Temperatura da camada de fumo	$\leq 200^{\circ}\text{C}$
Temperatura na camada livre de fumo	$\leq 60^{\circ}\text{C}$
Fluxo radiante sobre os ocupantes	≤ 2.500 W/m ²
Visibilidade dentro do local de ignição	≥ 5 m (verificado a 1,8 m de altura)
Visibilidade nas vias de evacuação	≥ 10 m (verificado a 1,8 m de altura)

Conforme referido, os valores acima são aplicáveis a pessoas com condições de saúde normais. Caso o edifício em causa acolha um número significativo de pessoas com algum tipo de fragilidade, nomeadamente pessoas com saúde debilitada (hospitais e lares de idosos) ou para as quais não haja dados consolidados (por exemplo crianças com menos de três anos), deverão ser adotados valores mais conservadores.

6.3 Combate ao incêndio

Os critérios referidos acima são aplicáveis a pessoas sem qualquer tipo de equipamento de proteção. Se um dos objetivos da simulação for verificar as condições operacionais para combate ao incêndio, deverá ter-se em conta que os bombeiros têm vestuário de proteção térmica e equipamento respiratório do tipo ARICA (Aparelho

Respiratório Isolante de Circuito Aberto). Os critérios de sustentabilidade a aplicar neste caso deverão ter em consideração o efeito protetor destes sistemas. Na tabela abaixo apresentam-se os critérios de sustentabilidade para bombeiros, recorrendo-se mais uma vez ao exemplo da regulamentação italiana.

Critério de sustentabilidade	Valor a considerar para os bombeiros
Altura da camada de fumo	$\geq 1,5$ m
Temperatura da camada de fumo	$\leq 250^{\circ}\text{C}$
Temperatura na camada livre de fumo	$\leq 80^{\circ}\text{C}$
Fluxo radiante sobre os ocupantes	≤ 3.000 W/m ²
Visibilidade dentro do local de ignição	$\geq 2,5$ m (verificado a 1,8 m de altura)
Visibilidade nas vias de evacuação	≥ 5 m (verificado a 1,8 m de altura)

Não quer dizer naturalmente que não seja possível o combate ao incêndio com condições menos favoráveis ou que os bombeiros estejam em risco de vida se esses valores forem ultrapassados. Estes valores correspondem a condições adequadas ao combate, podendo os bombeiros devidamente equipados estar expostas a elas por períodos na ordem dos 30 minutos.

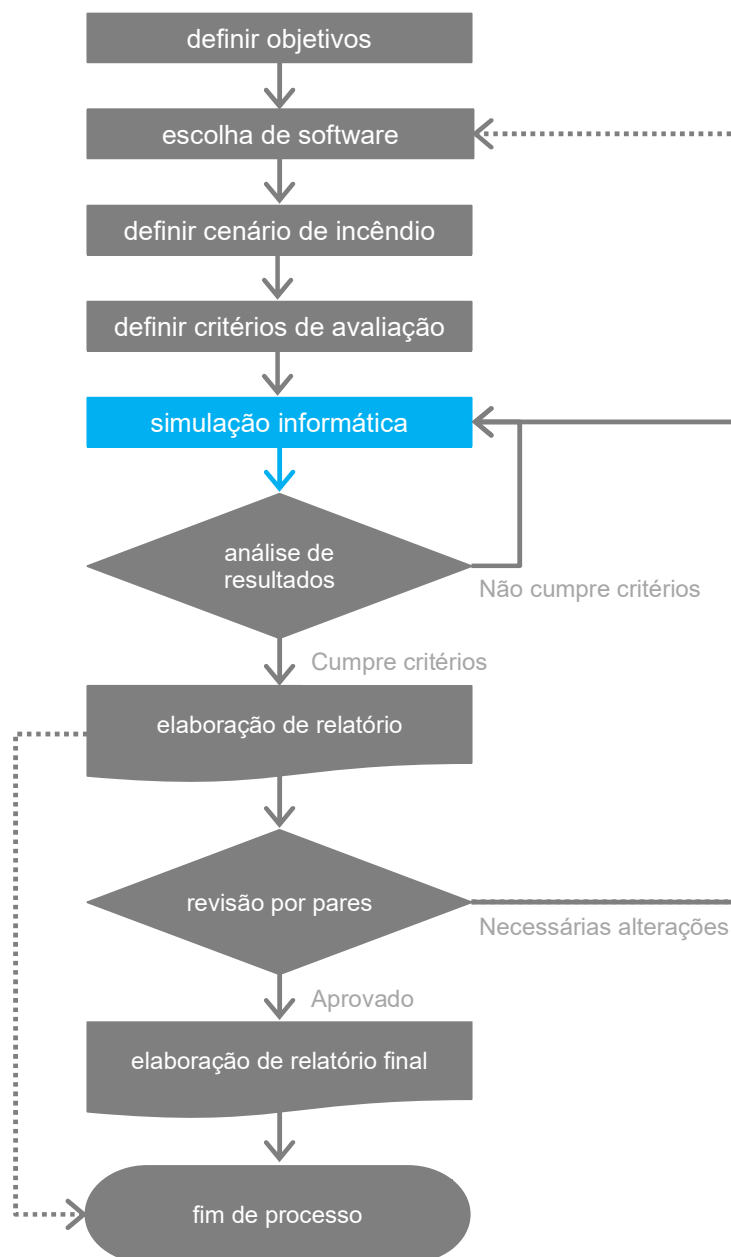
6.4 Simulações sem critérios definidos

Em alguns casos particulares, poderá não ser necessário definir critérios exigenciais. São disso exemplo:

- Simulações de incêndio que se destinem a fornecer dados a programas terceiros, como referido anteriormente para o programa de verificação do comportamento das estruturas em situação de incêndio SAFIR
- Simulação realizada como suporte a investigação pós-incêndio



07.
simulação



7 simulação.

7.1 GIGO

GIGO é o acrónimo inglês de *Garbage In, Garbage Out*, ou, tentando traduzir para português, *se entra lixo, sai lixo*. Esta expressão é muito usada na área computacional para alertar para o risco de que se os dados introduzidos não são fiáveis ou corretos, o resultado do processamento também não estará correto. Este conceito é particularmente válido para as simulações de incêndio. O utilizador deverá ter um conhecimento aprofundado do programa com que está a trabalhar, de forma a não cometer erros. Um erro comum será não verificar previamente quais as unidades usadas pelo programa, nomeadamente se são unidades métricas ou imperiais. Outro, eventualmente não tão grave, é o de não configurar as condições ambientais da simulação (temperatura ambiente, humidade relativa do ar, altitude) de forma a corresponderem com o edifício em estudo. Outros aspetos em que se deve ter grande rigor, são, nomeadamente:

- Caso não se esteja a usar uma curva de incêndio tipo do próprio programa, a definição do novo fogo, quer no que concerne à potencia calorífica libertada ao longo do tempo, quer no que diz respeito às características da carga de incêndio (composição química, produção de fuligem)
- A constituição da envolvente do espaço (paredes e lajes)
- Caso não se esteja a usar um material de parede ou laje da biblioteca do programa, a definição das propriedades térmicas do novo material

7.2 Construção do modelo

A metodologia e cuidados a ter na construção do modelo variam muito em função do tipo de programa que está a ser utilizado. Todavia há recomendações que são comuns para qualquer tipo de programa:

- O desenvolvimento volumétrico dos espaços deve ser o mais próximo da realidade possível, sendo, no entanto, negligenciáveis elementos arquitetónicos que não interfiram no comportamento do incêndio, nomeadamente pilares, guardas e mobiliário
- Os vãos entre os vários compartimentos e entre estes e o exterior deverão ser modelados com rigor, evitando simplificações, dado que são de grande relevância para a simulação; a título de exemplo, num teto com quatro exutores de 1 por 1 metro, não deverá nunca simplificar-se como um único exutor de 2 por 2 metros; apesar da área se exatamente a mesma, do ponto de vista aerodinâmico um e outro caso têm comportamentos muito diferentes e um exutor de maior área poderá perder eficácia devido ao efeito de *plug-holing* (redemoinho invertido na camada de fumo, levando a que a na parte central do exutor em vez de sair fumo saia ar proveniente da camada livre de fumo)
- Deverá ter-se grande cuidado na caracterização da envolvente, em particular as paredes e tetos, dado que podem ter influência nas temperaturas atingidas

Modelos de zona

Nos modelos de zona os vários compartimentos são simplificados em volumes paralelepípedicos. Um compartimento cujo desenvolvimento em planta seja trapezoidal poderá ser simplificado através de um único volume com área igual e a mesma altura (logo o mesmo volume) ou pela justaposição de vários volumes ligados

entre si, que no conjunto tenham uma forma volumetricamente aproximada. Neste caso é crítico que a soma dos volumes seja idêntica ao volume do compartimento original.

Se um determinado espaço possuir vigas com alguma expressão, formando cantões, deverão ser criados vários volumes, um por cada cantão, de forma a ter em consideração na simulação o efeito das vigas na propagação do fumo ao longo do teto. De igual forma, caso o compartimento tenha diferentes alturas em diferentes partes, deverá ser criado um volume para cada uma dessas zonas, ligando os vários volumes entre si.

Caso haja compartimentos cujo teto de alguma forma “afunile”, tendo uma secção na parte superior menor que na sua base (por exemplo cúpulas ou abóbodas), na maior parte dos programas de modelo de zona isso pode ser tido em consideração, sendo possível definir uma secção variável ao longo da sua altura.

Modelos de dinâmica de fluidos

Nos programas de dinâmica de fluidos, não são necessárias simplificações volumétricas significativas, mesmo em programas em que os espaços são construídos segundo uma malha de paralelepípedos. Um dos fatores críticos na construção do modelo é a definição da dimensão da malha (em inglês, *mesh*). Valores típicos do tamanho da malha variam entre 3 cm e 30 cm. Uma malha demasiado fina dará resultados mais rigorosos, mas o tempo de processamento será muito maior, dado que os cálculos são efetuados volume a volume da malha. Num cubo de 30 por 30 cm cabem 1.000 cubos de 3 por 3 cm, pelo que uma malha de 3 por 3 cm tem mil vezes mais cálculo que uma malha de 30 cm. Poderá criar-se malhas variáveis, sendo mais fina na zona do fogo e ir aumentando à medida que se afasta deste, sendo aqui relevante que diferentes malhas sejam múltiplas umas das outras.

A generalidade dos programas de simulação de incêndio baseada na dinâmica de fluidos pode importar modelos 3D de outros programas, nomeadamente de plataformas BIM (*Building Information Modeling*) como o Autodesk Revit ou outra. Essa importação normalmente faz-se através de ficheiros de exportação IFC (*Industry Foundation Classes*), que é um formato interoperável, compatível com a generalidade dos programas que de alguma forma necessitam de modelos 3D. O formato IFC, além da geometria, pode ainda exportar, se configurado nesse sentido, as características físicas dos materiais (paredes, lajes, vãos), o que pode ser também importado para os programas de simulação de incêndio.

A importação do modelo 3D de outros programas pode poupar muitas horas de modelação, mas normalmente não é totalmente direta, sendo necessário fazer alguns ajustes. Por exemplo, em edifícios com geometrias complexas, com superfícies curvas e muitos planos inclinados, a conversão para programas que trabalham com uma malha paralelepipedica pode dar origem a edifícios com falhas nas paredes, por onde há perdas de ar (*leaks*). Assim um bom procedimento para encontrar esse tipo de falhas é pressurizar o edifício e analisar os fluxos de ar, identificando assim os buracos na geometria. Outro problema corrente é o programa de simulação não reconhecer o que são vãos, podendo ser necessário algum trabalho de modelação no programa de simulação de incêndio.

Uma vez que a exportação e posterior importação podem ser lentos e ter erros, sobretudo em modelos complexos, sugere-se que haja uma simplificação do modelo 3D antes da exportação. Em modelos BIM será boa ideia exportar apenas a geometria de arquitetura e eventualmente de estruturas, não exportando o mobiliário, a hidráulica, eletrotecnia, AVAC ou outras especialidades. Caso o cenário de incêndio seja numa zona localizada do edifício (que é o que acontece na maior parte das vezes), deverá importar-se apenas a parte da geometria que irá ser usada no programa de simulação.

7.3 Implementação do cenário de incêndio

Uma vez criada a geometria do edifício ou da parte do edifício em estudo, podemos passar para os passos seguintes de implementação do cenário de incêndio no modelo. Isso compreende nomeadamente:

- Definição das condições ambientais (temperatura ambiente, humidade relativa, altitude, vento no exterior, etc.), caso não se queira usar as condições que vêm por defeito no programa
- Inserção no modelo do fogo ou fogos a serem utilizados, conforme o cenário definido
- Inserção no modelo dos vários sistemas ativos e passivos previstos no cenário, definindo não só as suas características (áreas, caudais, pressões, etc.) mas também as suas condições de ativação (temperatura, tempo, etc.)
- Inserção no modelo de pontos de aquisição de dados (*targets*) caso haja informação específica que necessitemos tendo em conta o objetivo da simulação; por exemplo se o objetivo é verificar a resistência estrutural em situação de incêndio, será necessário recolher dados de temperatura na superfície dos elementos estruturais

7.4 Processamento

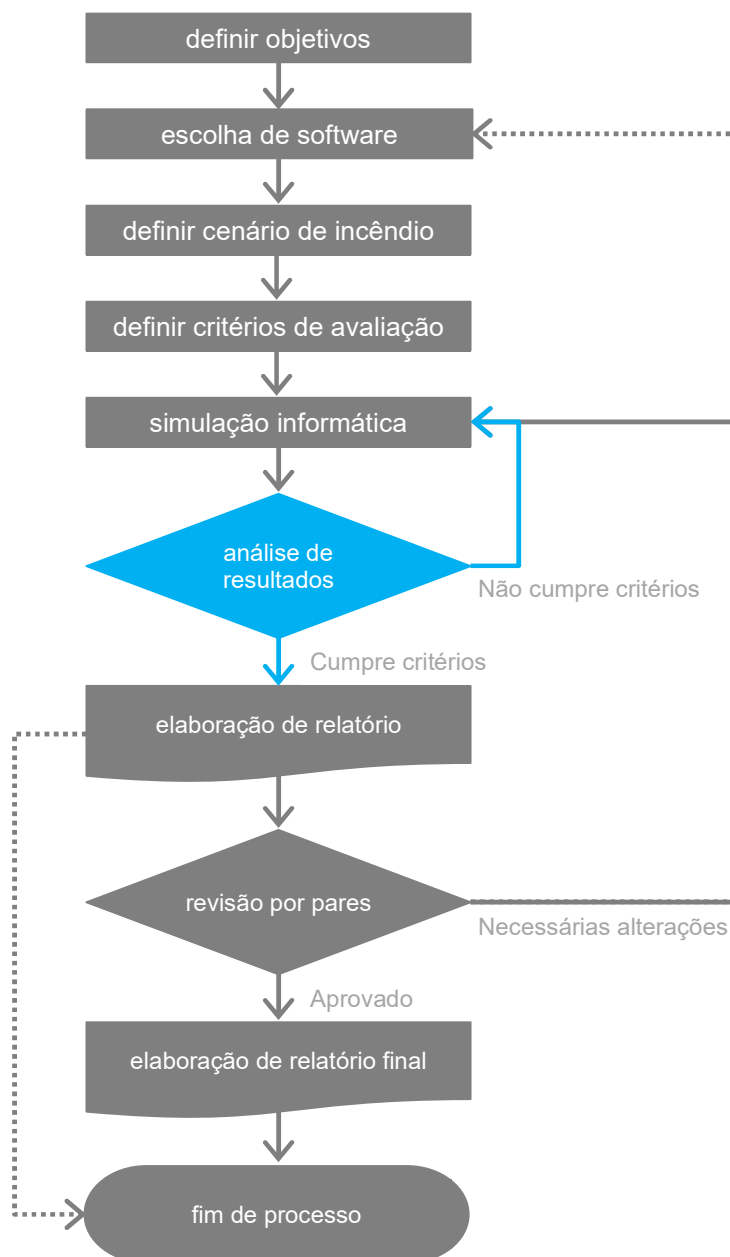
Uma vez completadas as tarefas anteriores, vamos finalmente dar indicação ao programa para fazer a simulação. Nos programas de modelos de zona o processamento é razoavelmente célere, na ordem de minutos, mas nos programas baseados em dinâmica de fluídos, consoante a complexidade do modelo, poderá levar horas ou mesmo vários dias.

Para encurtar o tempo de simulação a maior parte dos programas baseados em dinâmica de fluídos permite fazer o processamento usando vários computadores em rede, existindo empresas que prestam serviço de processamento externo (*cloud computing*), alugando processadores à hora. O modelo de simulação pode aliás ser preparado para ser dividido por vários processadores (*cores*), devendo haver o cuidado, nessa divisão, que cada parte do modelo tenha mais ou menos o mesmo número de elementos finitos. Se houver uma parte com muitos elementos e outra com poucos, a velocidade de processamento da parte maior será mais lenta e irá condicionar o processamento das demais, uma vez que o processamento tem de ser feito ao mesmo tempo para todas as partes.

Outro fator crítico no tempo de processamento, é o tempo de simulação. Assim, quando se vai fazer a simulação, deverá definir-se o menor tempo possível que nos permita alcançar o objetivo da simulação. Para verificar a sustentabilidade da evacuação poderá bastar 15 minutos, mas para analisar o comportamento dos elementos estruturais em situação de incêndio poderá ser necessário uma hora ou mais.



08.
análise de resultados



8 análise de resultados.

8.1 Tratamento prévio

Os programas de simulação geram uma quantidade bastante apreciável de dados. Para cada compartimento é normal gerar-se diversos tipos de dados (altura da camada de fumo, temperatura na camada de fumo e abaixo desta, pressão, fluxo radiante sobre o pavimento, etc.) o mesmo se passando para os vãos (caudal acima e abaixo do plano neutro, velocidade acima e abaixo do plano neutro, diferenciais de pressão, etc.). Todas estas informações são dadas ao longo do tempo, em intervalos curtos (por exemplo de 5 em 5 segundos). Os dados tipicamente são disponibilizados em ficheiro de texto separado por vírgulas, de extensão CSV (*Comma-separated values*).

Normalmente os dados são tratados e analisados em programas de folhas de cálculo como o Excel, que conseguem importar ficheiros CSV e posteriormente organizar a informação em tabelas de leitura mais fácil e gráficos. A maior parte dos programas de simulação separa os dados em vários ficheiros (por exemplo um com dados dos compartimentos, outro com dados dos fogos e outro para fluxos de gases), e dentro de cada ficheiro a informação está dividida em grupos (por exemplo exutores, ventiladores, etc.). Há que selecionar a informação pretendida tendo em conta o objetivo da simulação e os critérios exigenciais definidos, importando apenas aquela que for necessária para esse objetivo, e apagando os dados que não se preveja virem a ser necessários. Tipicamente os dados analisados serão uma pequena percentagem (1% ou menos) dos dados gerados pelo programa.

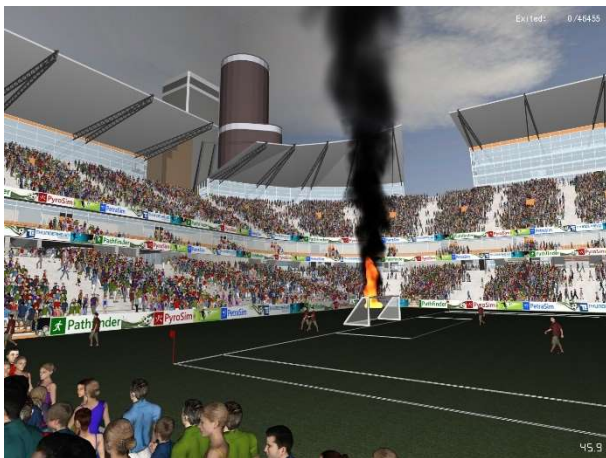
As folhas de cálculos permitem a análise da informação numérica. Todavia a visualização animada em 3D dos resultados só pode ser feita em programas próprios para o efeito, como sendo o programa Smokeview, do NIST, que permite visualizar simulações feitas quer pelo CFAST (modelo de zona), quer pelo FDS (modelo de dinâmica de fluídos). Como se disse os programas de simulação geram uma enorme quantidade de dados, pelo que nos programas de visualização 3D podemos exibir diferentes resultados, como sendo densidade ótica do fumo, visibilidade, temperatura dos gases, fluxos de gases (indicando direção e velocidade), etc.. Estes programas permitem uma visão rápida e intuitiva dos resultados, sendo possível exportar a visualização para formatos de filme, seja diretamente (formato MOV ou similar), seja por compilação de imagens sequenciais (formato JPG ou similar), sendo essa compilação feita num programa terceiro de processamento de vídeo.

8.2 Integração de informação de outros programas de simulação

Em função do objetivo da simulação, poderá ser interessante ou útil analisar conjuntamente dados de outros programas de simulação. Será esse o caso quando se pretende verificar a sustentabilidade da evacuação, cruzando os dados da simulação de incêndio com dados gerados por programas de simulação de evacuação. Quer um quer outro tipo de programas gera dados em CSV e organizados da mesma forma temporal, sendo apenas necessário haver o cuidado de, em ambos os programas (incêndio e evacuação), definir o mesmo intervalo de tempo para a exportação de dados (por exemplo de 5 em 5 segundos).

Os dados de ambos os programas podem ser integrados na mesma folha de cálculo, o que permitirá, por exemplo, mostrar lado a lado ou no mesmo gráfico a evolução das condições ambientais num compartimento e o número de pessoas que lá estão.

Por fim, no que concerne à visualização, também é possível em alguns programas conjugar resultados de diferentes programas. Por exemplo, caso se faça a simulação da evacuação com o programa Pathfinder, é possível visualizar em animação 3D as pessoas a evacuar, conjugando com a informação da simulação de incêndio feita no programa FDS.



Visualização 3D da evacuação conjugadamente com o incêndio. *Pathfinder Features*

8.3 Verificação do cumprimento dos critérios

Os resultados da simulação deverão ser comparados com os critérios exigenciais inicialmente definidos. Caso os critérios não estejam a ser cumpridos deverá ser analisado o desvio, definindo estratégias possíveis para a sua correção, nomeadamente de alteração dos meios passivos e ativos previstos. As soluções encontradas deverão ser validadas através de novas simulações até se alcançarem resultados que vão de encontro aos critérios estabelecidos.

Em algumas situações poderá dar-se o caso de não se encontrar nenhuma solução viável que cumpra os critérios exigenciais. Nessas circunstâncias existem vários caminhos possíveis:

- Reavaliar se o cenário de incêndio, nomeadamente o seu fogo tipo, não é demasiado conservador, pecando por excesso
- Reavaliar os critérios exigenciais, avaliando se não são de igual forma demasiado conservadores, pecando por excesso; a título de exemplo, no que concerne à altura da camada de fumo, há referenciais normativos que referem 2,5 m de altura (ISO TR 16738, regulamento de Singapura), outros 2,0 m (regulamento italiano, regulamento australiano), outros 1,5 m (NFPA 101) e outros ainda uma altura indexada a altura do espaço, expressado por uma fórmula como $1,6 + 0,1 \times h$, sendo h o pé direito (norma INSTA TS 950, dos países nórdicos); em todo o caso o referencial escolhido deve ser integral, não escolhendo critérios “avulso” de várias fontes diferente

- Reconhecer que não há uma solução satisfatória, pelo que o edifício não tem as condições de segurança adequadas, equacionando medidas que não passivas e passivas, como sendo uma restrição parcial de uso

Qualquer alteração de cenário ou critérios exigenciais deverá ser devidamente documentada e justificada no relatório, com total transparência.

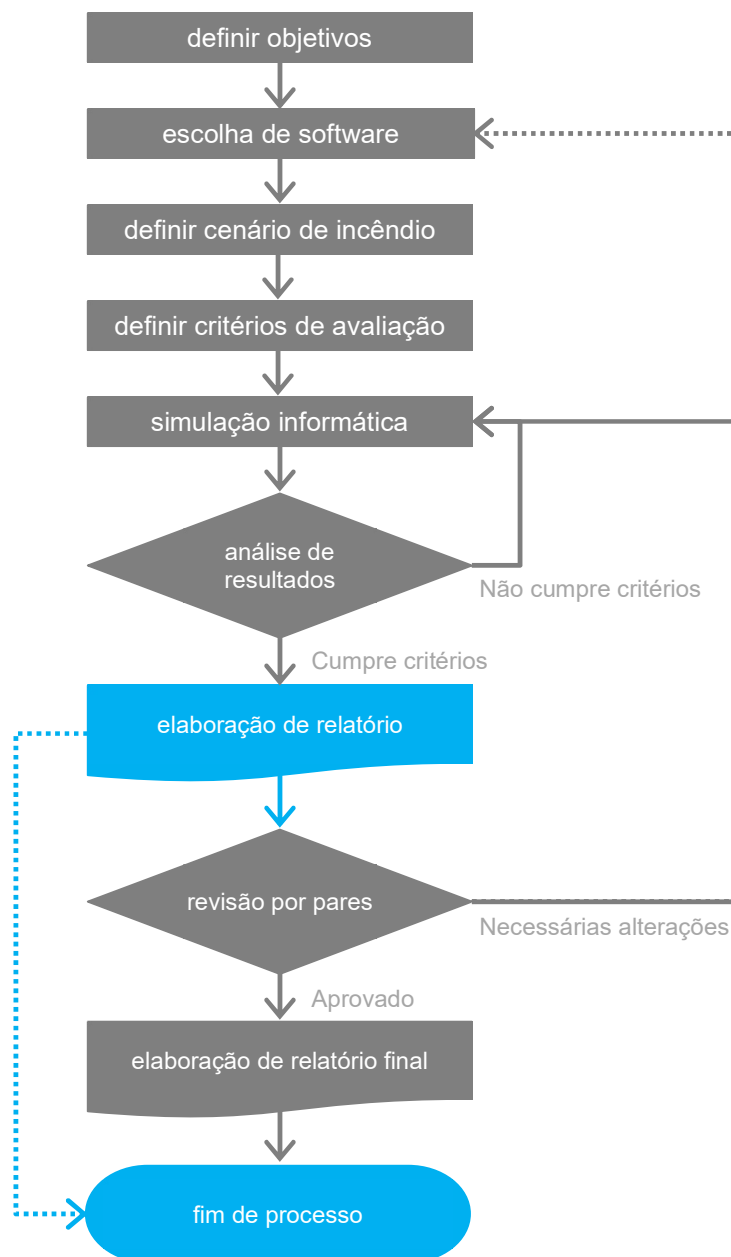
8.4 Coeficiente de segurança

Em todas as análises deve ser considerado um coeficiente de segurança, que possa de alguma forma absorver o risco inerente às incertezas. Este coeficiente por vezes é definido na legislação (a regulamentação portuguesa não faz qualquer referência a este aspeto), variando esse coeficiente tipicamente entre 1,2 e 2,0, que é aplicado ao tempo. Ou seja, por exemplo, se estamos a verificar as condições de sustentabilidade da evacuação, o tempo durante o qual há boas condições para evacuação (segundo os critérios definidos) deve ser pelo menos 1,2 vezes maior que o tempo efetivamente necessário à evacuação, sendo o tempo necessário à evacuação determinado por cálculo ou simulação de evacuação.

A definição de qual o coeficiente de segurança adotado, dentro do intervalo acima referido, deve ser feito em função do grau de incerteza existente. Tipicamente em edifícios totalmente regulamentares ou com cobertura total por sprinklers (quer seja obrigatória, quer não) podem adotar-se o valor de 1,2. Se houver grandes desconformidades ou fragilidades no edifício, ou se se estiver a lidar com circunstâncias para as quais não haja um conhecimento técnico e científico devidamente consolidado (por exemplo critérios de sustentabilidade para idosos), esse valor deverá ser mais alto, podendo chegar a 2,0. O coeficiente adotado deve ser devidamente justificado no relatório.



09.
relatório



9 relatório.

O relatório é uma parte importante do processo de simulação, sempre que esta tenha algum nível de formalidade. É disso exemplo a simulação de incêndio de um parque de estacionamento com ventiladores de impulso, que servirá para se anexar ao projeto de SCIE ou ao projeto específico de controlo de fumo.

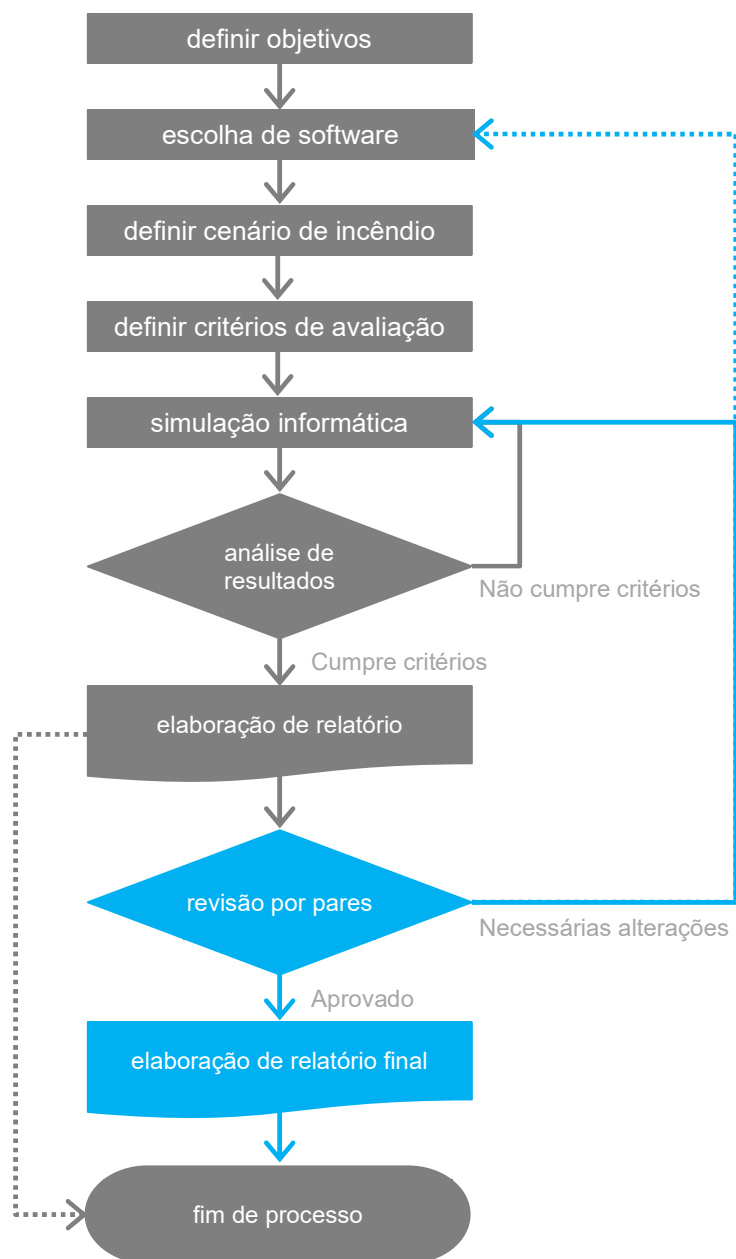
O relatório deve ser desenvolvido ao longo do processo, registando os vários pressupostos, decisões, resultados e conclusões. Assim, o relatório deverá referir os seguintes aspetos:

- Entidade que solicitou o estudo
- Âmbito do estudo
- Nome do(s) autor(es) do estudo, referindo a sua formação específica na área, de forma a deixar claro a competência técnica para realizar a simulação em causa
- Caso o estudo tenha revisão por pares (*peer review*), referir o nome do(s) revisor(es) e informação que permita validar a sua competência técnica para a revisão do trabalho em causa
- Caso para a realização da simulação tenham sido auscultadas as opiniões de entidades terceiras (dono de obra, projetistas, entidades licenciadoras, seguradora, instaladores, etc.) referir essas entidades e qual o âmbito da sua intervenção no processo
- Objetivo da simulação
- Descrição do edifício
- Descrição pormenorizada do cenário de incêndio, nomeadamente condições ambientais iniciais, localização do fogo e suas características e meios passivos e ativos que serão acionados; deverá ser devidamente justificada a escolha daquele cenário em detrimento de outros possíveis
- Critérios exigenciais selecionados, indicando as fontes e fazendo a fundamentação da escolha desses critérios e não outros
- Programa utilizado e respetiva versão
- Apresentação de resultados de forma sintética (apenas os mais relevantes) e analítica (gráficos, comparando os resultados com os critérios exigenciais)
- Caso os resultados não tenham sido satisfatórios face aos critérios estabelecidos, descrever eventuais alterações de cenário ou critérios, devidamente fundamentadas
- Conclusões
- Comentários do revisor (se necessário)
- Bibliografia que tenha sido usada como suporte, caso aplicável
- Anexos que se revelem úteis, como sendo imagens 3D ao longo do tempo e tabelas com resultados mais alargados

O relatório final deverá ser assinado pelo(s) seu(s) autor(es) e pelo(s) revisor(es).



10.
revisão por pares



10 revisão por pares.

Consoante a complexidade ou o objetivo da simulação, pode ser interessante haver uma revisão por pares (*peer review*, usando o termo em inglês). Tal como a expressão indica, um par é alguém que tem pelo menos o mesmo nível de conhecimento técnico da pessoa que fez a simulação.

O processo de desenvolvimento de uma simulação pode ser complexo e absorvente, havendo algum risco de “visão de túnel”, em que podemos estar demasiado focados num aspeto e inadvertidamente negligenciar outros. Assim é útil haver uma visão de certa forma externa, que consiga fazer uma análise crítica do processo.

Para uma simulação simples poderá não ser necessária revisão por pares. Numa simulação mais complexa essa revisão é desejável, podendo eventualmente ser feita por um colega de trabalho que tenha as competências técnicas necessárias. Todavia, para simulações de grande complexidade e responsabilidade, é recomendável que o revisor pertença a uma entidade terceira, diferente da dos autores da simulação.

É importante diferenciar de forma clara o papel do autor da simulação e o do revisor. Não se pretende de todo que o revisor se sobreponha ao autor. O papel do revisor é encontrar erros ou omissões no processo e não opinar sobre o mesmo. É um trabalho técnico, racional e imparcial. O autor da simulação e o revisor são membros da mesma equipa (alargada) que trabalham para um fim comum desempenhando funções distintas e complementares.

O revisor deve ser envolvido tão cedo quanto possível no processo, permitindo que faça o seu trabalho a par e passo do seu desenvolvimento. A sua análise não se deve limitar apenas ao relatório, devendo também ter acesso aos ficheiros do modelo da simulação, de forma a validar a sua correção e rigor face ao pretendido.

O revisor deverá validar, nomeadamente:

- Se o cenário de incêndio é o mais adequado para o objetivo definido
- Se os critérios exigenciais estão corretos face aos objetivos
- Se o programa de modelação escolhido é o mais adequado para o efeito
- Se o modelo está corretamente construído, quer do ponto de vista geométrico, quer do ponto de vista da implementação do cenário em toda as suas vertentes (condições ambientais, fogo, meios passivos e ativos acionados)
- Se os resultados foram devidamente selecionados e interpretados ou se faltam dados adicionais

O processo de revisão deve ser interativo. O revisor deve analisar o modelo e o relatório e fazer os seus comentários, dando oportunidade ao autor da simulação para fazer as correções. No entanto o autor da simulação não tem necessariamente de concordar com o revisor ou vice-versa, podendo haver opiniões divergentes sobre a mesma matéria. Se for esse o caso, tal deverá ser referido no relatório final, com cordialidade e transparência.



11.
quem pode fazer

11 quem pode fazer

Não existe qualquer requisito legal que defina quem pode fazer este tipo de simulações ou a sua revisão.

Todavia há considerações que são de senso comum que deverão ser tidas em consideração:

- O autor da simulação deverá ter um conhecimento de base sólido, nomeadamente de termodinâmica, fenomenologia da combustão e dinâmica do fogo
- O autor deve ter um conhecimento sólido do programa selecionado, preferencialmente suportado por formação específica
- Caso o estudo seja para anexar a um projeto de SCIE, idealmente o autor da simulação deverá ter o mesmo nível de certificação profissional que a requerida para o projetista de SCIE

Convém ainda ter presente que uma simulação poderá ser um trabalho coletivo envolvendo vários profissionais, com diferentes funções. Assim, as considerações feitas acima deverão ser adaptadas, caso a caso, à função que cada um desempenha no processo. Naturalmente que a exigência terá que ser maior para quem assina o relatório do que para alguém que tenha colaborado na modelação 3D. Todavia, para todos eles exige-se um conhecimento profundo dentro da função que estão a desempenhar.



12 bibliografia.

CFAST - Consolidated Fire And Smoke Transport

Richard D. Peacock, Kevin B. McGrattan, Glenn P. Forney, Paul A. Reneke. *CFAST – Consolidated Fire and Smoke Transport (Version 7) - Volume 1: Technical Reference Guide*, 2023, National Institute of Standards and Technology

Richard D. Peacock, Glenn P. Forney, Paul A. Reneke. *CFAST – Consolidated Fire and Smoke Transport (Version 7) - Volume 1: Verification and Validation Guide*, 2023, National Institute of Standards and Technology

FDS - Fire Dynamics Simulator

Kevin McGrattan, Simo Hostikka, Jason Floyd, Randall McDermott, Marcos Vanella. *Fire Dynamics Simulator Technical Reference Guide - Volume 1: Mathematical Model*, 2022, National Institute of Standards and Technology

Kevin McGrattan, Simo Hostikka, Jason Floyd, Randall McDermott, Marcos Vanella. *Fire Dynamics Simulator Technical Reference Guide - Volume 3: Validation*, 2022, National Institute of Standards and Technology

OZONE

JF Cadorin, D. Pintea, JM Franssen. *The Design Fire Tool OZone V2.0 - Theoretical Description and Validation On Experimental Fire Tests*, 2001, University of Liege

Normativa de referência

NP EN 1991-1-2 - Eurocódigo 1 – *Ações em estruturas*, parte 1-2 *Ações gerais e ações em estruturas expostas ao fogo*

NP 4540:2015 *Sistemas de ventilação de impulso em parques de estacionamento cobertos não compartimentados*

ISO 23932:2009 *Fire safety engineering - General principles*

ISO/TS 13447:2013 *Fire safety engineering - Guidance for use of fire zone models*

ISO 16733-1:2015 *Fire safety engineering – Selection of design fire scenarios and design fires - Part 1: Selection of design fire scenarios*

Bibliografia de referência

SFPE Handbook of Fire Protection Engineering - Fifth Edition, 2016, Springer

Design methodologies for Smoke and heat exhaust ventilation, 1999, BRE

Vytenis Babrauskas. *Glass breakage in fires*; 2016, Fire Science and Technology Inc.

Wojciech Węgrzyńska et al. *Experimental investigation into fire behaviour of glazed façades with pendant type sprinklers*; 2020, Fire Safety Journal

13 glossário.

Camada de fumo

Em situações de incêndio em regime laminar, camada de gases quentes de combustão que se acumulam na parte superior de um compartimento

Camada livre de fumo

Em situações de incêndio em regime laminar, camada inferior do compartimento onde a temperatura e concentração dos produtos da combustão é consideravelmente inferior ao da camada de fumo

Critério de sustentabilidade

Valor máximo considerado seguro a que um ocupante do edifício pode estar exposto, durante um período de tempo definido, às ações do incêndio, nomeadamente temperatura, fluxo radiante, gases tóxicos, etc.

Temperatura

Grandeza física de medida do grau de atividade molecular de um material em comparação com um ponto de referência. O referencial usado no presente documento é de graus Celsius, em que o referencial de 0°C é a temperatura de mudança de fase da água de estado sólido para líquido à pressão de uma atmosfera, e de 100°C a temperatura de mudança de fase da água de estado líquido para gasoso à pressão de uma atmosfera

Potência calorífica libertada

Libertação de calor sob a forma de condução, convecção e radiação. À falta de melhor tradução, corresponde à expressão em inglês "*heat release rate*", frequentemente referido na bibliografia especializada pelo acrónimo HRR

Fluxo radiante

Fluxo de calor incidente sob a forma de radiação numa determinada área, expresso em kW/m²

Modelo de zona

Modelo de cálculo onde cada compartimento em análise é subdividido em uma ou duas zonas, sendo calculadas as transferências de energia e massa entre elas e com a envolvente. Os valores calculados para cada zona correspondem a valores médios

Modelo de elementos finitos

Modelo de cálculo onde o domínio em análise é dividido numa malha de pequenas células (*mesh*), sendo calculadas as transferências de energia e massa entre elas e com a envolvente

Plano neutro

Plano num compartimento onde a pressão hidrostática é igual à da envolvente exterior ao compartimento

Regime laminar

Incêndio em que a camada de fumo se apresenta bem estratificada, havendo uma clara separação, razoavelmente horizontal, entre a camada de fumo e a camada livre de fumo

Regime turbulento

Incêndio em que a camada de fumo apresenta grande turbulência, seja por ação de fluxos de ar de grande velocidade (por exemplo ventiladores de impulso), seja por se tratar de um fogo de grandes dimensões e temperatura, criando fortes correntes convectivas

Revisão por pares

Revisão do processo por uma pessoa ou entidade com pelo menos o mesmo conhecimento técnico do autor com o objetivo de encontrar erros ou omissões

Temperatura crítica de um elemento estrutural

Temperatura para a qual ocorre o colapso do elemento quando sujeito à ação do fogo; este conceito apenas é aplicável a elementos estruturais onde é possível admitir um campo de temperaturas uniforme, como é o caso de elementos metálicos

apsei.org.pt



Cofinanciado por:



UNIÃO EUROPEIA

Fundo Europeu
de Desenvolvimento Regional

TIO
E IMMED