



ISEL

INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA
Área Departamental de Engenharia Mecânica



Segurança Contra Incêndios em Parques de Estacionamento

RICARDO MIGUEL HENRIQUES GERMANO
(Mestre em Engenharia Civil)

Trabalho Final de Mestrado para obtenção do grau de Mestre
em Engenharia Mecânica

Orientadores:

Especialista Eduardo António Oliveira Vicente Nunes

Júri:

Presidente: Doutor João Manuel Ferreira Calado

Vogais:

Doutor José Augusto da Silva Sobral

Especialista Eduardo António Oliveira Vicente Nunes

Dezembro de 2017

RESUMO

A regulamentação relativa a segurança contra incêndios em edifícios aplicável em Portugal tem sido alvo de reformulações e atualizações ao longo da última década, tanto ao nível da legislação nacional como de normas europeias. Ao nível nacional, a regulamentação técnica em vigor é estabelecida pelo Regulamento Técnico de Segurança Contra Incêndios em Edifícios, que abrange, entre outras, as condições de controlo de fumo e extinção de incêndios.

No âmbito da desenfumagem de parques de estacionamento, a solução técnica mais correntemente utilizada para ventilação dos espaços de estacionamento é a ventilação de impulso, solução até há pouco tempo não enquadrada na regulamentação técnica nacional senão no âmbito de perigosidade atípica, mas que é agora alvo da norma portuguesa NP 4540, em vigor desde 2015.

O presente trabalho tem como objetivo a elaboração de um projeto de segurança contra incêndios num parque de estacionamento de vários pisos, abrangendo a rede fixa de extinção de incêndios por água, o sistema de desenfumagem com ventiladores de impulso associados a ventiladores de extração, bem como restantes sistemas de ventilação necessários para salvaguardar a proteção de espaços de circulação, efetuado segundo o enquadramento legal e normativo nacional e europeu adequado aos sistemas em análise.

Palavras chave: ventilação de impulso, desenfumagem, sistemas de pressão diferencial, extinção de incêndios, sprinklers, mecânica dos fluidos computacional (CFD)

ABSTRACT

The regulations for fire safety in buildings applicable in Portugal have been reformulated and updated over the last decade, both at national legislation and European normalization levels. At national level, the technical regulation in force is established by the Technical Regulation on Fire Safety in Buildings, which includes, among others, the conditions for smoke control and fire-extinguishment.

In the case of smoke control of car parks, the most commonly used technical solution for the ventilation of parking spaces is impulse ventilation, which until recently was not covered by the national technical regulation but in the context of atypical dangerousness, but which is now the target of the Portuguese Standard NP 4540, in force since 2015.

The objective of this work is the elaboration of a fire safety project in a multi-storey car park, covering the fixed firefighting water system, the smoke control system with impulse ventilation associated with extraction fans, as well as other ventilation systems required to safeguard the protection of circulation spaces, carried out in accordance with the appropriate national and European legal and regulatory framework for the systems in question.

Keywords: impulse ventilation, smoke control, pressure differential systems, fire-extinguishment, sprinklers, computational fluid dynamics (CFD).

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer ao Eng^o Eduardo Nunes pela disponibilidade em orientar e contribuir com elementos de trabalho e sabedoria para este Trabalho Final de Mestrado.

Aos meus pais, restante família e amigos pelo apoio e motivação desde o primeiro até ao último momento.

Por fim, à Ana Teresa. Dizer que sem ti não teria chegado aqui é uma forma demasiado ligeira de referir a importância neste percurso do teu apoio, da amizade, do amor e da Carolina que partilhamos.

ÍNDICE

1	Introdução	1
1.1	Âmbito e objetivos	1
1.2	Enquadramento legal e normativo.....	1
1.2.1	Legislação nacional.....	1
1.2.2	Normalização para controlo de fumo e combate a incêndio.....	5
2	Caracterização de incêndios.....	7
2.1	Considerações gerais	7
2.2	Desenvolvimento e propagação de incêndios	8
3	Controlo de fumo	13
3.1	Considerações gerais	13
3.2	Proteção de espaços.....	14
3.3	Instalações de desenfumagem	15
3.3.1	Condições gerais	15
3.3.2	Controlo de poluição de ar	17
3.3.3	Controlo de fumo nos locais sinistrados	18
3.4	Ventilação de impulso.....	19
3.4.1	Enquadramento e caracterização geral.....	19
3.4.2	Jatos gerados pelos ventiladores	22
3.5	Conceção de ventilação por impulso.....	24
3.5.1	Enquadramento	24
3.5.2	Ventilação de despoluição	26
3.5.2.1	Considerações prévias	26
3.5.2.2	Ventiladores.....	27
3.5.2.3	Estratégia de funcionamento	28

3.5.2.4	Admissão e extração	29
3.5.2.5	Desequilíbrio e estagnação	29
3.5.3	Ventilação de controlo de fumo	30
3.5.3.1	Considerações prévias	30
3.5.3.2	Cenário de incêndio	31
3.5.3.3	Zona enfumada	32
3.5.3.4	Ventiladores	33
3.5.3.5	Desequilíbrio e estagnação	34
3.5.3.6	Admissão e extração	35
3.5.3.7	Funcionamento do sistema	36
3.5.4	Mecânica dos Fluidos Computacional (CFD).....	36
3.5.4.1	Introdução	36
3.5.4.2	Fundamentos teóricos	37
3.5.4.3	Crítérios de dimensionamento com recurso a CFD.....	40
3.5.4.4	Programa Fire Dynamics Simulator (FDS)	41
3.6	Controlo de fumo nas vias de evacuação	42
3.6.1	Considerações prévias.....	42
3.6.2	Vias horizontais	43
3.6.2.1	Desenfumagem passiva	43
3.6.2.2	Desenfumagem ativa	43
3.6.2.3	Controlo por sobrepressão	44
3.6.3	Vias verticais.....	44
3.6.3.1	Desenfumagem passiva	44
3.6.3.2	Controlo por sobrepressão	45
3.6.4	Norma EN 12101-6.....	46
3.6.5	Cálculos para sistemas de pressão diferencial	49

4	Sistemas fixos de extinção automática de incêndios	53
4.1	Considerações gerais	53
4.2	Classes de risco	54
4.3	Sistemas de extinção por água através de sprinklers.....	55
4.3.1	Tipos de instalações	55
4.3.2	Sprinklers	59
4.4	Reserva de água e sistemas hidropressores	61
4.4.1	Considerações prévias.....	61
4.4.2	Reservatório de Água para Serviço de Incêndio (RASI).....	62
4.4.3	Centrais de Bombagem para o Serviço de Incêndio (CBSI).....	63
4.4.4	Outros sistemas de combate a incêndio (meios de intervenção).....	63
4.4.4.1	Considerações gerais	63
4.4.4.2	Redes húmidas e secas.....	64
4.5	Critérios de conceção de redes de sprinklers	66
4.6	Dimensionamento.....	69
4.6.1	Redes de sprinklers	69
4.6.2	Reservatório de água.....	70
4.6.3	Bombas principais.....	72
4.6.4	Tubagens de aspiração	73
5	Estudo de caso.....	75
5.1	Descrição do problema.....	75
5.2	Critérios de conceção e dimensionamento	77
5.2.1	Enquadramento legislativo e normativo	77
5.2.2	Decisões de projeto	78
5.2.2.1	Ventilação	78
5.2.2.2	Rede de sprinklers	80

5.3	Dimensionamento.....	81
5.3.1	Considerações prévias.....	81
5.3.2	Ventilação do parque de estacionamento.....	82
5.3.2.1	Caudais de controlo de poluição.....	82
5.3.2.2	Caudais de desenfumagem	83
5.3.2.3	Estratégia de desenfumagem e caudais adotados	84
5.3.2.4	Análise do dimensionamento e solução final	86
5.3.3	Proteção das vias verticais de evacuação.....	92
5.3.4	Rede de sprinklers.....	96
6	Conclusões	101
	Referências bibliográficas.....	105

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 – Evolução da temperatura para as fases de um incêndio não controlado (adaptado de [19]).....	8
Figura 2.2 – Formas de transmissão de calor (adaptado de [18])	9
Figura 2.3 – Jato de teto livre [21].....	9
Figura 3.1 – Controlo de fumo – varrimento e hierarquia de pressões (adaptado de [23])	13
Figura 3.2 – Extração de fumo convencional em parque de estacionamento	15
Figura 3.3 – Extração de fumo com ventilação de impulso em parque de estacionamento	20
Figura 3.4 – Ventilador de impulso e ventilador de indução [24]	21
Figura 3.5 – Planta de parque de estacionamento com ventilação de impulso (adaptado de [25]).....	21
Figura 3.6 – Jato turbulento submerso (Blevins, 1984, citado por [20])	22
Figura 3.7 – Sequência do combate a incêndio após a deteção – evacuação e combate	25
Figura 3.8 – Controlo da poluição – varrimento e diluição	28
Figura 3.9 – Exemplo de recirculação e formação de vórtices	30
Figura 3.10 – Evolução da potência calorífica libertada face a diferentes meios de combate ao incêndio [12]	32
Figura 3.11 – Zonas de estagnação [12]	34
Figura 3.12 – Campos de velocidade e temperatura de modelação CFD de um parque de estacionamento [27].....	37
Figura 3.13 – Vórtice de menor dimensão num campo vetorial de velocidades de simulação LES [28].....	39
Figura 3.14 – Comparação entre fotografia de um incêndio e respetiva simulação numérica em FDS com visualização em Smokeview [28]	41
Figura 3.15 – Exemplo de critérios de conceção para um sistema da classe C (adaptado de [10]).....	47

Figura 3.16 – Exemplos de aberturas em paralelo e em série (adaptado de [10])	49
Figura 3.17 – Processamento de sequências de áreas em paralelo e em série (adaptado de [10]).....	50
Figura 4.1 – Instalação tipo de um sistema de extinção por sprinklers [32].....	55
Figura 4.2 – Válvula de alarme [33]	56
Figura 4.3 – Tipos de instalações de sprinklers	56
Figura 4.4 – Instalações de sprinklers <i>standard</i> [31].....	57
Figura 4.5 – Instalações de sprinklers de dilúvio [31]	58
Figura 4.6 – Exemplo de uma aplicação “cortina de água” sobre uma janela de vidro [34]...59	
Figura 4.7 – Elementos de um sprinkler (adaptado de [33]).....	60
Figura 4.8 – Exemplos de tipos de montagem de sprinklers (adaptado de [32]).....	61
Figura 4.9 – Sprinklers parcialmente embebidos em teto falso (à esquerda) e totalmente recolhidos (à direita) [32].....	61
Figura 4.10 – Exemplo de um difusor de sistema de cortina de água [34].....	61
Figura 4.11 – Meios de intervenção para extinção de incêndios	64
Figura 4.12 – Bocas de incêndio: armada tipo carretel, interior do tipo storz e armada do tipo teatro [38].....	65
Figura 4.13 –Implantação de elementos de sistemas de sprinklers (adaptado de [18]).....	66
Figura 4.14 – Distâncias máximas em instalações de sprinklers (adaptado de [14])	67
Figura 4.15 – Pontos notáveis das curvas de caudal, potência e NPSH na NT 15 [37].....	73
Figura 4.16 – Aspiração positiva e aspiração negativa.....	74
Figura 5.1 – Parque de estacionamento – planta do piso -6.....	75
Figura 5.2 – Parque de estacionamento – corte	75
Figura 5.3 – Parque de estacionamento – esquema de divisão de zonas	76
Figura 5.4 – Proteção de rampas de acesso (zona B do parque).....	78
Figura 5.5 – Planta e cortes esquemáticos de condutas de admissão natural e de extração mecânica	79

Figura 5.6 – Parque de estacionamento – esquema de ventilação no piso -4	84
Figura 5.7 – Exemplo de campo de velocidades obtido em CFD para um ventilador de indução [40]	87
Figura 5.8 – Exemplo de campos de velocidades em CFD para ventiladores de impulso próximos e afastados [40]	88
Figura 5.9 – Campo de velocidade longitudinal por cálculo analítico para os ventiladores de impulso principais	88
Figura 5.10 – Estudo de implantação de ventiladores de impulso na zona A do piso -3	89
Figura 5.11 – Localização de elementos de modelação – zona A do piso -3	89
Figura 5.12 – Simulação D5 – temperatura e visibilidade para sinais luminosos no pico do incêndio (t = 1200s)	91
Figura 5.13 – Campos de velocidade à cota Z=1.5m para o controlo de poluição de 100 ppm CO e de 50 ppm CO	92
Figura 5.14 – Localização de vias verticais de evacuação	92

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1.1 – Categorias de risco da utilização-tipo II “Estacionamentos” [1].....	2
Quadro 1.2 – Definição de locais de risco do RJ-SCIE [1]	3
Quadro 1.3 – Notas Técnicas de SCIE.....	5
Quadro 3.1 – Caracterização geral dos tipos de controlo de fumo de um espaço	13
Quadro 3.2 – Principais componentes dos sistemas de controlo de fumo por função.....	16
Quadro 3.3 – Estratégia de ventilação para controlo de poluição.....	29
Quadro 3.4 – Sucessão do lançamento dos meios de controlo de fumo (adaptado de [12]) ...	36
Quadro 3.5 – Tipos de sistemas de pressão diferencial [30].....	46
Quadro 3.6 – Áreas de fuga para portas e janelas [10]	51
Quadro 3.7 – Rácios de áreas de fuga para elementos de construção [10]	51
Quadro 4.1 – Temperaturas de atuação de sprinklers [31]	60
Quadro 4.2 – Valores de S e D para classe de risco ordinário da EN 12845 [14].....	67
Quadro 4.3 – Diâmetros de troços de sub-ramais para sistemas de risco ordinário [14].....	68
Quadro 4.4 – Diâmetros de troços de distribuição (ramais) para sistemas de risco ordinário [14].....	68
Quadro 4.5 – Diâmetro e fator K dos sprinklers [35]	69
Quadro 4.6 – Critérios de dimensionamento de sistemas fixos de extinção automática por água para a utilização-tipo II “Estacionamentos” [2]	69
Quadro 4.7 – Tempos de autonomia do sistema [36]	71
Quadro 4.8 – Requisitos de pressão e caudal para riscos ordinários [14].....	73
Quadro 5.1 – Áreas úteis dos pisos do parque de estacionamento	76
Quadro 5.2 – Sistemas de sprinklers.....	80
Quadro 5.3 – Caudais de despoluição.....	82
Quadro 5.4 – Caudais de extração para despoluição por conduta vertical	83

Quadro 5.5 – Cálculo de caudais de extração	84
Quadro 5.6 – Estimativa de velocidades de jato de teto axissimétrico não-confinado.....	85
Quadro 5.7 – Pontos de funcionamento dos ventiladores de extração	86
Quadro 5.8 – Dados de base para conceção do sistema de sobrepressão	93
Quadro 5.9 – Determinação de caudais de insuflação para critério de sobrepressão	94
Quadro 5.10 – Determinação de caudais de insuflação para critério de velocidade.....	94
Quadro 5.11 – Cálculo de insuflação de ar novo em câmaras corta-fogo	95
Quadro 5.12 – Propriedades dos circuitos de insuflação de ar novo nas câmaras corta-fogo .	96
Quadro 5.13 – Bases de cálculo para a rede de sprinklers.....	96
Quadro 5.14 – Desníveis geométricos de cálculo	96
Quadro 5.15 – Pressões requeridas no posto de controlo	97
Quadro 5.16 – Diâmetros de cálculo para tubagens de aço galvanizado.....	97
Quadro 5.17 – Pressões na central de bombagem (CB) e no posto de controlo (PC)	98

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo I – Peças Desenhadas do Projeto de Ventilação para Despoluição e Desenfumagem

Anexo II – Sistema de Controlo de Fumo – Resultados de simulações CFD

Anexo III – Peças Desenhadas do Projeto da Rede de Sprinklers

Anexo IV – Sistema de Combate a Incêndio – Dimensionamento

ACRÓNIMOS E SIGLAS

ANPC – Autoridade Nacional de Proteção Civil

APSEI – Associação Portuguesa de Segurança

APTA – Associação de Produtores de Tubos e Acessórios

BI – Boca de incêndio

BIA – Boca de incêndio armada

BS – *British Standard*

CBSI – Central de bombagem para serviço de incêndio

CFD – Mecânica dos Fluidos Computacional (*Computational Fluid Dynamics*)

CO – Monóxido de Carbono

EN – Norma europeia

FDS – Fire Dynamics Simulator

LES – *Large Eddy Simulation*

NFPA – National Fire Protection Association

NP – Norma portuguesa

NPSH – *Net Positive Suction Head*

NT – Nota técnica

RASI – Reservatório de água para serviço de incêndio

RIA – Rede de incêndio armada

RJ-SCIE – Regime Jurídico da Segurança Contra Incêndio em Edifícios

RT-SCIE – Regulamento Técnico de Segurança Contra Incêndio em Edifícios

SADI – Sistema automático de deteção de incêndio

SAEI (água) – Sistema automático de extinção de incêndio por água

SAEI (gás) – Sistema automático de extinção de incêndio por agentes gasosos

SCIE – Segurança contra incêndio em edifícios e recintos

SI – Serviço de incêndio

SPK – Sprinkler

TFM – Trabalho final de mestrado

UT – Utilização-tipo

1 Introdução

1.1 Âmbito e objetivos

O presente Trabalho Final de Mestrado consiste num Trabalho de Projeto no âmbito da Segurança Contra Incêndios em Edifícios (SCIE) em Parques de Estacionamento. Tem como objetivo principal a conceção e dimensionamento dos sistemas de controlo de fumo e de extinção automática de incêndios num parque de estacionamento subterrâneo de vários pisos destinado a veículos ligeiros.

O parque de estacionamento alvo do presente Trabalho Final de Mestrado é abrangido pelo Regime Jurídico da Segurança Contra Incêndios em Edifícios [1] (RJ-SCIE) como necessitando de Projeto da especialidade de SCIE aí definida (edifício da 4ª categoria de risco).

O trabalho proposto tem lugar na fase de Projeto de Execução do referido parque de estacionamento. Com base nos elementos de arquitetura e estruturas disponibilizados, o objetivo principal do Caso de Estudo é o de projetar as redes fixas de extinção automática por água e os sistemas de ventilação de controlo de fumo do parque e das vias de evacuação.

Considera-se que, em todas as especialidades abrangidas pelo Regulamento Técnico de Segurança Contra Incêndios [2] (RT-SCIE), para além das que são alvo do presente Trabalho Final de Mestrado, os elementos de base estão corretamente elaborados (e.g. características dos elementos de construção, de vias de evacuação, da sinalização, etc) e não serão alvo de análise ou desenvolvimento à luz da regulamentação existente. Neste contexto, não serão abordados os seguintes tópicos do RT-SCIE [2] relativos a instalações técnicas: sinalização; iluminação de emergência; deteção automática de gás combustível; drenagem de águas residuais da extinção de incêndios; posto de segurança; instalações acessórias. Refira-se ainda que não se considera alvo deste documento a caracterização de outras condições específicas de utilizações-tipo que não a UT II (parques de estacionamento).

1.2 Enquadramento legal e normativo

1.2.1 Legislação nacional

O Regime Jurídico da Segurança Contra Incêndios em Edifícios (RJ-SCIE) foi estabelecido pelo Decreto-Lei 220/2008 de 12 de Novembro [3] e revisto pelo Decreto-Lei 224/2015 de 9 de Outubro [1], revogando diversos diplomas anteriores no âmbito da segurança contra

incêndios, como é o caso do Decreto-Lei n.º 66/95 de 8 de Abril, relativo ao “Regulamento de Segurança contra Incêndio em Parques de Estacionamento Cobertos”.

O RJ-SCIE [1] estabelece 12 utilizações-tipo e 4 categorias de risco para os edifícios. Especifica que as operações urbanísticas para parques de estacionamento (utilização-tipo II) para categorias de risco 2 ou superiores requerem um Projeto da especialidade de SCIE. A classificação destas categorias de risco é a detalhada no Quadro 1.1. O plano de referência mencionado é o plano à cota do pavimento destinado ao acesso pelos bombeiros.

Quadro 1.1 – Categorias de risco da utilização-tipo II “Estacionamentos” [1]

Categoria	Valores máximos referentes à utilização-tipo II, quando integrada em edifício			Ao ar livre
	Altura da UT II	Área bruta ocupada pela UT II	Número de pisos ocupados pela UT II abaixo do plano de referência (*)	
1ª	-			Sim
	≤ 9m	≤ 3 200 m ²	≤ 1	Não
2ª	≤ 28m	≤ 9 600 m ²	≤ 3	Não
3ª	≤ 28m	≤ 32 000 m ²	≤ 5	Não
4ª	> 28m	> 32 000 m ²	> 5	Não

(*) Não são contabilizados os pisos destinados exclusivamente a instalações e equipamentos técnicos que apenas impliquem a presença de pessoas para fins de manutenção e reparação

A Portaria 1532/2008 de 29 de Dezembro [2] define o Regulamento Técnico de SCIE (RT-SCIE), aplicável conforme especificado no respetivo regime jurídico, abrangendo condições exteriores comuns, condições gerais de comportamento ao fogo, isolamento e proteção, condições de evacuação, condições gerais das instalações técnicas, condições gerais dos equipamentos e sistemas de segurança, condições de autoproteção e ainda condições específicas para cada utilização-tipo.

O regime jurídico, complementado pelo regulamento técnico, define ainda a natureza do risco para os locais dos edifícios e dos recintos através da classificação em locais de risco de A a F. A sua definição é feita de uma forma genérica com as descrições do RJ-SCIE [1] que se apresentam no Quadro 1.2, havendo para além destas outras formas de classificação dos locais de risco quer por aplicação do RJ-SCIE [1] quer pelo subsequente RT-SCIE [2]. Destaca-se neste último a classificação de todos os estacionamentos coletivos cobertos como locais de risco C, critério este redigido para edifícios habitacionais mas extensível a todos os estacionamentos cobertos das restantes utilizações-tipo [4].

Quadro 1.2 – Definição de locais de risco do RJ-SCIE [1]

Local de Risco	Descrição
A	Local que não apresenta riscos especiais, no qual se verifiquem simultaneamente as seguintes condições: <ul style="list-style-type: none"> • O efetivo não exceda 100 pessoas; • O efetivo de público não exceda 50 pessoas; • Mais de 90 por cento dos ocupantes não se encontrem limitados na mobilidade ou nas capacidades de percepção e reação a um alarme; • As atividades nele exercidas ou os produtos, materiais e equipamentos que contém não envolvam riscos agravados de incêndio.
B	Local acessível ao público ou ao pessoal afeto ao estabelecimento, com um efetivo superior a 100 pessoas ou um efetivo de público superior a 50 pessoas, no qual se verifiquem simultaneamente as seguintes condições: <ul style="list-style-type: none"> • Mais de 90 por cento dos ocupantes não se encontrem limitados na mobilidade ou nas capacidades de percepção e reação a um alarme; • As atividades nele exercidas ou os produtos, materiais e equipamentos que contém não envolvam riscos agravados de incêndio.
C	Local que apresenta riscos particulares agravados de eclosão e de desenvolvimento de incêndio devido, quer às atividades nele desenvolvidas, quer às características dos produtos, materiais ou equipamentos nele existentes, designadamente à carga de incêndio modificada, à potência útil e à quantidade de líquidos inflamáveis e, ainda, ao volume dos compartimentos.
C agravado	Espaços interiores afetos a Locais de Risco C, desde que os mesmos possuam volume superior a 600 m ³ , ou carga de incêndio modificada superior a 20 000 MJ, ou potência instalada dos seus equipamentos eléctricos e eletromecânicos superior a 250 kW, ou alimentados a gás superior a 70 kW, ou serem locais de pintura ou aplicação de vernizes em oficinas, ou constituírem locais de produção, depósito, armazenagem ou manipulação de líquidos inflamáveis em quantidade superior a 100 l.
D	Local de um estabelecimento com permanência de pessoas acamadas ou destinado a receber crianças com idade inferior a seis anos ou pessoas limitadas na mobilidade ou nas capacidades de percepção e reação a um alarme.
E	Local de um estabelecimento destinado a dormida, em que as pessoas não apresentem as limitações indicadas nos locais de risco D.
F	Local que possua meios e sistemas essenciais à continuidade de atividades sociais relevantes, nomeadamente os centros nevrálgicos de comunicação, comando e controlo.

O RJ-SCIE [1] refere ainda os seguintes tipos de locais de risco C:

- Os locais afetos a serviços técnicos em que sejam instalados equipamentos eléctricos, eletromecânicos ou térmicos com potência total superior a 70 kW, ou armazenados combustíveis;
- Locais de pintura e aplicação de vernizes;
- Locais cobertos de estacionamento de veículos com área compreendida entre 50 m² e 200 m², com exceção dos estacionamentos individuais, em edifícios do tipo I (habitação);
- Outros locais que possuam uma densidade de carga de incêndio modificada superior a 1000 MJ/m² de área útil, associada à presença de materiais facilmente inflamáveis e, ainda, os que comportem risco de explosão.

O RT-SCIE [2] estabelece por sua vez outros critérios pertinentes relativos à classificação dos locais de risco no âmbito dos parques de estacionamento:

- Os postos de segurança devem ser considerados como locais de risco F;
- As instalações de centrais de bombagem são consideradas locais de risco F;
- As oficinas de mudanças de óleo ou reparação e mudança de pneus em parques de estacionamento cobertos, permitidas apenas desde que os produtos destinados à sua actividade, quando armazenados no interior do parque, o sejam em compartimentos com volume inferior a 50 m³, são considerados locais de risco C;
- Os locais de utilização de fluidos combustíveis existentes nos edifícios e recintos são classificados, para todos os efeitos previstos no RT-SCIE [2], locais de risco C desde que contenham: reservatórios de combustíveis líquidos; equipamentos a gás cuja potência total seja superior a 40 kW.

A avaliação das cargas de incêndio modificadas e das densidades de carga de incêndio modificadas enunciadas para identificação de Locais de Risco C e C agravado deve ser feita segundo os critérios técnicos do Despacho n.º 2074/2009 [5], de acordo com o RJ-SCIE [1].

Para interpretar ou complementar o RJ-SCIE [1] e demais regulamentação, existe um conjunto de Notas Técnicas de SCIE, publicadas pela ANPC ou em Diário da República e disponíveis no sítio da internet da ANPC. As notas técnicas são aí enquadradas como um conjunto de especificações técnicas que têm por objetivo complementar a legislação de SCIE, definir de forma clara as exigências de segurança a concretizar pelos autores de projetos de arquitetura e de especialidades, bem como pela direção e fiscalização de obra na sua implementação em fase de obra, pelas empresas que comercializem ou executem trabalhos de instalação e manutenção de equipamentos e sistemas de SCIE e pelos responsáveis de segurança dos edifícios e recintos em fase de exploração dos mesmos.

Listam-se no Quadro 1.3 as notas técnicas de SCIE disponíveis atualmente. Refira-se a existência de um processo de revisão em curso das notas técnicas 13 a 17 [6], cujo conteúdo se enquadra no presente Trabalho Final de Mestrado. Neste contexto, quando pertinente serão referidas as revisões previstas mas serão consideradas para a elaboração do Projeto da rede de sprinklers as versões atuais disponibilizadas pela ANPC.

Quadro 1.3 – Notas Técnicas de SCIE

Nota Técnica	Descrição
01	Utilizações-Tipo de Edifícios e Recintos
02	Competências e Responsabilidades em SCIE
03	Processos de SCIE
04	Simbologia gráfica para plantas de SCIE
05	Locais de Risco
06	Categorias de Risco
07	Hidrantes exteriores
08	Grau de prontidão dos meios de socorro (Despacho n.º 12037/2013, de 19 de setembro de 2013)
09	Sistemas de proteção passiva – Selagem de vãos, aberturas para passagem de cablagens e condutas
10	Sistemas de proteção passiva – Portas resistentes ao fogo
11	Sinalização de segurança
12	Sistemas automáticos de deteção de incêndio
13	Redes secas e húmidas (Despacho n.º 12605/2013, de 3 de outubro)
14	Fontes de abastecimento de água para o Serviço de Incêndio (SI) (Despacho n.º 13042/2013, de 14 de outubro), Retificada pela Declaração de Retificação n.º 13042/2013, de 6 de novembro
15	Centrais de bombagem para o Serviço de Incêndio (Despacho n.º 14903/2013, de 18 de novembro)
16	Sistemas automáticos de extinção de incêndio por água
17	Sistemas automáticos de extinção de incêndio por agentes gasosos
18	Sistemas de cortina de água
19	Sistemas automáticos de deteção de gás
20	Posto de segurança
21	Planos de segurança
22	Plantas de emergência

1.2.2 Normalização para controlo de fumo e combate a incêndio

Indicam-se neste ponto as principais normas no âmbito do presente trabalho relativas à ventilação e controlo de fumo bem como para redes de água para combate a incêndio, quer ao nível nacional e europeu quer ao nível externo como são as normas da associação americana “National Fire Protection Association” (NFPA), associação de renome e cuja documentação é amplamente referenciada.

A normalização relativa ao controlo de fumo tem vindo a ser agregada ao nível europeu com as normas EN12101 – “*Smoke and Heat Control Systems*”. Estas definem especificações sobre vários tópicos de onde se salientam as seguintes no domínio do presente documento: barreiras de fumo (EN 12101-1 [7]); ventiladores para desenfumagem natural (EN 12101-2 [8]); ventiladores para desenfumagem mecânica (EN 12101-3 [9]); sistemas de

pressão diferencial (EN 12101-6 [10]). Refira-se ainda a norma NFPA 92 [11], que abrange os tópicos de conceção e cálculo de sistemas de controlo de fumo, conceção de sistemas de contenção de fumo, conceção de sistemas de pressurização de escadas, e requisitos de ensaio.

Ao nível específico do controlo de fumo com ventilação de impulso não existe um documento normativo europeu. Relativamente a estes tipos de sistemas, a norma portuguesa NP 4540 de 2015 [12] veio colmatar a inexistência de especificações e procedimentos regulamentares para a sua conceção, sendo que apenas a norma britânica BS 7346-7 [13] abordava este tipo de sistemas, incidindo sobre as exigências dos mesmos embora sem providenciar métodos de dimensionamento analíticos como agora disponibilizados na norma portuguesa.

Relativamente às redes de aspersores (ou “*sprinklers*”), enquadram-se na normalização europeia na norma EN 12845 [14], relativa à conceção, instalação e manutenção deste tipo de sistemas. Os sistemas de sprinklers são também abrangidos pela norma NFPA 13 [15], que define os critérios para a sua conceção e instalação. Refira-se ainda o documento CEA 4001 [16], da associação de seguros europeia, relativo ao planeamento e instalação destes sistemas.

No que diz respeito às centrais de bombagem para serviço de incêndio, são também abrangidas pelos documentos EN 12845 [14] e CEA 4001 [16] acima referidos, sendo ao nível da normalização americana alvo da norma NFPA 20 [17].

Após o presente capítulo introdutório, faz-se uma breve exposição acerca de incêndios no Capítulo 2. A caracterização relativa ao controlo de fumo e aos sistemas fixos de extinção automática de incêndios é efetuada no Capítulo 3 e Capítulo 4, respetivamente. O estudo de caso do presente Trabalho Final de Mestrado é apresentado no Capítulo 5, seguindo-se por fim o Capítulo 6 onde se expõem as conclusões sobre o trabalho elaborado.

2 Caracterização de incêndios

2.1 Considerações gerais

A combustão é um processo químico exotérmico de reação entre um combustível e um comburente, iniciado por uma energia de ativação. O processo de combustão é matematicamente caracterizável pelas equações de conservação da massa, conservação da quantidade de movimento e conservação de energia, podendo ainda de uma forma genérica ser ilustrado pela expressão seguinte [18].



C – Combustível

r – Coeficiente estequiométrico

O – Oxidante (comburente)

P – Produtos resultantes da combustão

O processo de combustão resulta em: libertação de calor; aparecimento de chama; libertação de gases, onde se incluem gases nocivos como o monóxido de carbono (CO), o dióxido de carbono (CO₂), o ácido clorídrico (HCl) ou o ácido cianídrico (HCN); produção de fumo; produção de óxidos; produção de cinzas [18].

Não sendo uniforme ao longo do seu desenvolvimento, um incêndio é tipicamente divisível nas seguintes fases de desenvolvimento principais [18]:

- Ignição – auto-ignição ou ignição provocada;
- Propagação (combustão livre);
- Inflamação generalizada;
- Combustão contínua;
- Declínio.

Esta caracterização não é aplicável de forma genérica a qualquer tipo de incêndio, sendo que no limite apenas o ponto de ignição será transversal a todos os incêndios.

Para um incêndio não controlado num compartimento, pode-se idealizar uma variação tipificada da temperatura com o tempo conforme ilustrado na Figura 2.1 em que se identificam as fases acima referidas.

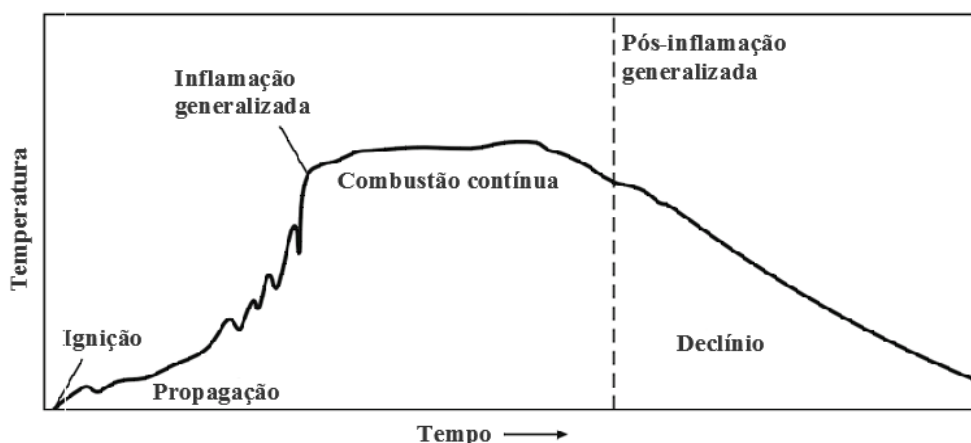


Figura 2.1 – Evolução da temperatura para as fases de um incêndio não controlado (adaptado de [19])

O ponto de inflamação generalizada define o arranque da fase de combustão contínua, e dá-se quando todo o material combustível se encontra a contribuir para o incêndio. A este instante está associada uma temperatura do incêndio cujo valor ou gama de valores apresenta alguma variabilidade na bibliografia, podendo-se apontar uma gama de temperaturas mais comum da ordem dos 500 a 600 °C [19].

2.2 Desenvolvimento e propagação de incêndios

O confinamento do espaço e o tipo de materiais presentes (de veículos e equipamentos) nos parques de estacionamento cobertos tornam-nos localizações com características particulares para o desenvolvimento e propagação de incêndios. A permanência dos ocupantes nos locais é inviabilizada por qualquer um dos seguintes fatores [20]:

- Altura do espaço livre de fumo demasiado reduzida;
- Fluxo de calor radiado, em tempo até se atingir o limite da dor e ocorrer queimadura;
- Existência de gases tóxicos em concentrações que incapacitem os ocupantes;
- Concentrações de oxigénio reduzidas;
- Temperatura ambiente elevada.

As medidas de combate a incêndio promovem as condições de salvaguarda das pessoas e dos bens, prevendo-se tão mais eficazes quanto mais atempado seja o seu início. Ressalva-se a existência de medidas que não podem ser tomadas com esse critério como é o caso da ventilação para desenfumagem dos parques de estacionamento que pode e deve ser iniciada com algum atraso em relação à deteção para permitir a evacuação em melhores condições. Na conceção destes sistemas é necessária a definição de um cenário de incêndio, interessando prever a evolução do calor e fumo gerado pelo incêndio. O cenário de incêndio pode ser

definido pelas características de todos os materiais envolvidos na combustão e das respectivas exposições ao calor ou através de resultados de ensaios de combustão de veículos, sendo este último método empírico o normalmente utilizado [20].

A propagação de calor de um incêndio é efetuada por um ou mais dos fenómenos de condução, convecção e radiação, que se ilustram na Figura 2.2.

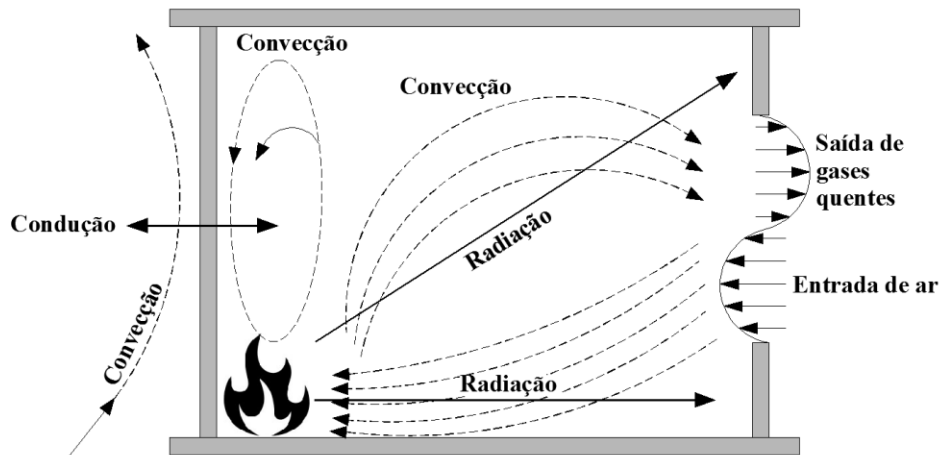


Figura 2.2 – Formas de transmissão de calor (adaptado de [18])

Das formas de transmissão de calor apresentadas, a mais evidente é a convecção, face ao caudal, temperatura e composição da massa de ar movimentada pelo fogo. Devido à diferença de densidade, o fumo sobe desde o foco de incêndio até ao teto e propaga-se ao longo do mesmo, denominando-se esta massa de fumo como jato de teto. O avançar do jato de teto depende de vários fatores como a existência de aberturas em paredes ou de obstruções nos tetos, diferenças de temperatura e pressão no parque ou a ventilação. Ilustra-se na Figura 2.3 um jato de teto sem obstruções à sua propagação, elevando-se sobre a pluma de fogo e propagando-se radialmente pelo teto, denominado nestas condições de jato de teto livre.

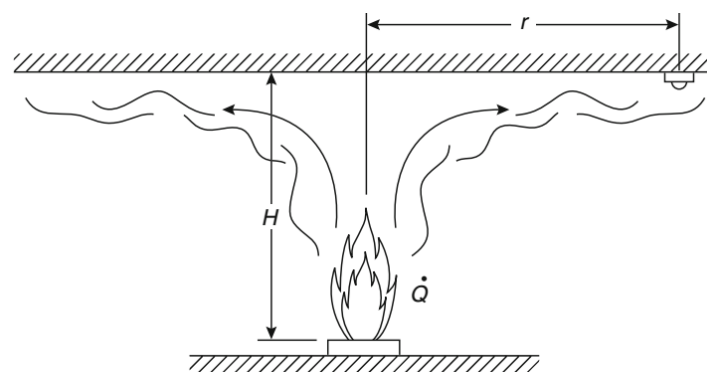


Figura 2.3 – Jato de teto livre [21]

A espessura da camada de fumo pode ser relacionada com a distância ao fogo e a altura do espaço pela expressão seguinte [21].

$$\frac{l_T}{H} = 0.112 \left[1 - \exp\left(-2.24 \frac{r}{H}\right) \right] \quad \text{para } 0.26 \leq \frac{r}{H} \leq 2.0 \quad (2.2)$$

l_T – espessura do jato de teto (m)

H – altura até ao teto (m)

r – distância radial ao fogo (m)

A velocidade e temperatura de um jato de teto axissimétrico não confinado antes de ocorrer acumulação de fumo junto ao teto podem ser expressas pelas equações seguintes [20].

$$u = \frac{0,195 \dot{Q}^{1/3} H^{1/2}}{r^{5/6}} \quad \text{para } r/H > 0.15 \quad (2.3)$$

u – velocidade do jato de teto (m/s)

\dot{Q} – potência calorífica libertada (kW)

H – altura até ao teto (m)

r – raio do jato de teto (m)

$$T - T_\infty = \frac{5,38(\dot{Q}/r)^{2/3}}{H} \quad \text{para } r/H > 0.18 \quad (2.4)$$

T – temperatura do jato de teto (K)

T_∞ – temperatura ambiente (K)

As propriedades dos focos de incêndio de veículos apresentam grande variabilidade, por exemplo em termos de duração ou potência calorífica, sendo influenciados por parâmetros como a dimensão e materiais do veículo ou o confinamento do espaço, tendo vários estudos sido efetuados ao longo dos anos com vista à caracterização da combustão de veículos, quer pela via analítica quer pela via experimental. De uma análise abrangente deste tipo de estudos apontam-se gamas típicas de potências caloríficas entre 5 e 6 MW [20].

Quando necessária a parametrização dos incêndios para o dimensionamento, os documentos normativos especificam-nos geralmente em termos das dimensões do foco, da potência calorífica e da sua duração, podendo a potência ser constante ou variável ao longo da duração do incêndio, sendo neste último caso apresentada como a potência calorífica máxima. No que diz respeito ao dimensionamento no âmbito do presente trabalho, considera-se a caracterização dos incêndios automóveis estabelecida na norma portuguesa relativa à ventilação de impulso em parques de estacionamento [12].

O caudal de fumo pode ser obtido a partir das expressões seguintes, sendo a primeira para fontes de grande dimensão e a segunda para as restantes condições.

$$\dot{M} = 5,3 \times 10^{-4} \times \dot{Q}_c^{3/5} (h - e) \quad (2.5)$$

$$\dot{M} = 7,1 \times 10^{-3} \times \dot{Q}_c^{1/3} [(h - e)^{5/3} + 2,6 \times 10^{-4} \times \dot{Q}_c^{2/3}] \quad (2.6)$$

\dot{M} – Caudal mássico de fumo (kg/s)

\dot{Q}_c – Potência convectiva libertada na combustão (W)

h – Altura entre a fonte e o teto (m)

e – Espessura da camada quente (m)

Considera-se uma fonte de grande dimensão quando a potência calorífica libertada é superior à potência convectiva libertada na combustão de referência, obtida pela expressão seguinte.

$$\dot{Q}_{c\ ref} = 2,3 \times 10^5 \times (h - e)^{5/2} \quad (2.7)$$

$\dot{Q}_{c\ ref}$ – Potência convectiva libertada na combustão (W)

h – Altura entre a fonte e o teto (m)

e – Espessura da camada quente (m)

O caudal volúmico pode ser obtido com base na expressão seguinte (adaptada de [22]).

$$\dot{V}_S = \frac{\dot{m}_S \times T_S}{\rho_0 \times T_0} \quad (2.8)$$

\dot{V}_S – Caudal volúmico de fumo (m³/s)

\dot{m}_S – Caudal mássico de fumo (kg/s)

T_S – Temperatura da camada de fumo (K)

ρ_0 – Massa volúmica do ar à temperatura ambiente (kg/m³)

T_0 – Temperatura ambiente (K)

A aplicação desta expressão requer ainda a determinação da temperatura do fumo. De acordo com a norma NFPA 92 [11], esta pode ser obtida pela seguinte expressão.

$$T_S = T_0 + \frac{K_S Q_c}{m c_p} \quad (2.9)$$

T_S – Temperatura da camada de fumo (K)

T_0 – Temperatura ambiente (K)

K_S – Fração da potência convectiva contida na camada de fumo (adimensional)

Q_c – Potência convectiva libertada na combustão (kW)

m – Caudal mássico da pluma de fumo (kg/s)

c_p – Calor específico dos gases da pluma (1.0 kJ/kg.K)

3 Controlo de fumo

3.1 Considerações gerais

Os sistemas de desenfumagem desempenham várias funções no âmbito da segurança contra incêndios em edifícios: forçar a extração de fumo das zonas sinistradas minimizando a propagação dos incêndios, melhorar a visibilidade ou reduzir a temperatura, promovendo condições de combate ao incêndio e de salvaguarda de pessoas e bens. Refira-se ainda o seu papel no controlo da poluição, no caso particular dos parques de estacionamento, uma vez que cumprem as funções de redução da concentração de poluentes em situações correntes de funcionamento dos espaços permitindo condições de segurança para o uso pelas pessoas.

A desenfumagem é feita com recurso a dois métodos, isoladamente ou em conjunto:

- Varrimento – a extração do fumo é efetuada pela circulação de ar num dado sentido, através do controlo da entrada e da saída de ar para esse efeito;
- Hierarquia de pressões – estabelecem-se diferentes patamares de pressões nos espaços a proteger com vista a evitar a propagação de fumo para os mesmos.



Figura 3.1 – Controlo de fumo – varrimento e hierarquia de pressões (adaptado de [23])

Relativamente à natureza do controlo de fumo, este pode ser efetuado com recurso a meios mecânicos (e.g. ventiladores de insuflação, ventiladores de extração) ou por meios naturais (tiragem térmica natural – e.g. por grelhas de ventilação e exutores).

No controlo de fumo de um determinado edifício ou compartimento do mesmo, o sistema de desenfumagem poderá ser caracterizado de uma forma geral segundo o Quadro 3.1.

Quadro 3.1 – Caracterização geral dos tipos de controlo de fumo de um espaço

Tipo de controlo de fumo	Meios de admissão	Meios de exaustão	Métodos de desenfumagem
Desenfumagem Passiva	Natural	Natural	Varrimento
Desenfumagem Ativa	Natural	Meios mecânicos	Varrimento / Hierarquia de pressões
	Meios mecânicos	Meios mecânicos	Varrimento / Hierarquia de pressões
Sobrepressão	Meios mecânicos	Natural	Hierarquia de pressões

3.2 Proteção de espaços

Apresentam-se no presente ponto os principais tipos de espaços e respectivas necessidades a ter em conta no âmbito do controlo de fumo nos termos do RT-SCIE [2]. Conforme estabelecido neste regulamento, definem-se:

- Via de evacuação – uma comunicação de um edifício que apresenta condições de segurança para a evacuação dos seus ocupantes, respeitando as condições regulamentares, podendo ser dos tipos:
 - Horizontais – corredores, antecâmaras, átrios, galerias ou, em espaços amplos, passadeiras explicitamente marcadas no pavimento para esse efeito;
 - Verticais – escadas, rampas, ou escadas e tapetes rolantes inclinados;
- Compartimento corta-fogo – constitui uma parte de um edifício delimitada por elementos de construção com resistência ao fogo adequada a, durante um período de tempo determinado, garantir a proteção do edifício ou impedir a propagação do incêndio ao resto do edifício, ou ainda a fracionar a carga de incêndio;
- Câmara corta-fogo – um compartimento corta-fogo independente, sendo geralmente utilizada entre dois espaços no sentido de garantir a proteção temporária de um deles ou evitar a propagação de incêndio entre ambos.

Segundo o RT-SCIE [2], os espaços cobertos devem, em regra, constituir compartimentos corta-fogo diferentes, sendo que no caso dos parques de estacionamento devem estar limitados a uma área de 3200 m², caso se situem abaixo do plano de referência, ou 6400 m², caso se situem acima do plano de referência [2]. Poder-se-ão considerar valores duplos destes caso exista proteção por rede de extinção automática de incêndio por água com cobertura total. Esta limitação poderá ainda ser suprida, quando devidamente justificada e aprovada, nos termos da perigosidade atípica definida no RJ-SCIE [1].

Segundo o RT-SCIE [2], devem ser dotados de instalações de controlo de fumo todos os espaços cobertos da UT II, bem como vias verticais de evacuação enclausuradas, câmaras corta-fogo, e ainda as vias horizontais de evacuação com proteção obrigatória que, de acordo com o n.º 1 do artigo 25.º, correspondem a:

- Vias, incluindo átrios, integradas nas comunicações comuns a diversas frações ou utilizações-tipo da 3ª e 4ª categoria de risco ou com comprimento maior do que 30 m;
- Vias cujo comprimento seja superior a 10 m, compreendidas em pisos com uma altura acima do plano de referência superior a 28 m ou em pisos abaixo daquele plano;

- Vias incluídas nos caminhos horizontais de evacuação de locais de risco B, nos casos em que esses locais não disponham de vias alternativas;
- Vias incluídas nos caminhos horizontais de evacuação de locais de risco D;
- Vias, ou troços de via, em impasse com comprimento superior a 10 m, exceto se todos os locais dispuserem de saídas para outras vias de evacuação;
- Galerias fechadas de ligação entre edifícios independentes ou entre corpos do mesmo edifício.

Para além da proteção destes espaços, o RT-SCIE [2] enuncia outras regras quanto ao tipo de controlo de fumo, nomeadamente ao nível das vias horizontais e verticais que pela sua especificidade se descrevem mais adiante no ponto 3.6.

Refira-se ainda a obrigatoriedade de, em pisos enterrados, sendo mais do que um piso abaixo do plano de referência (plano à cota do pavimento destinado ao acesso pelos bombeiros), se utilizar a desenfumagem por meios ativos, preferencialmente por hierarquia de pressões.

3.3 Instalações de desenfumagem

3.3.1 Condições gerais

O RT-SCIE [2] não apresenta condições específicas para a conceção de desenfumagem por ventilação por impulso, sendo que no âmbito dos parques de estacionamento aborda apenas o uso de sistemas tradicionais. Para parques de estacionamento cobertos, estes consistem em sistemas de condutas com bocas de extração, associadas a ventiladores de extração, sistema que se ilustra na Figura 3.2.

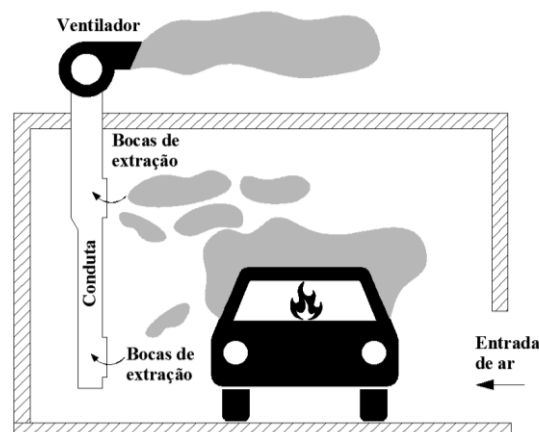


Figura 3.2 – Extração de fumo convencional em parque de estacionamento

Os sistemas de desenfumagem convencionais podem ser desagregados nos principais elementos que se descrevem no Quadro 3.2.

Quadro 3.2 – Principais componentes dos sistemas de controlo de fumo por função

Função	Método	Principais componentes
Admissão de ar exterior	Natural	Vãos de fachada Bocas ligadas a aberturas exteriores
	Mecânico	Bocas de Insuflação
Descarga de fumo para o exterior	Natural	Vãos de fachada Exutores de fumo Bocas ligadas a aberturas exteriores
	Mecânico	Ventiladores Bocas ligadas a ventiladores através de condutas
Transporte de ar / fumo	Natural / Mecânico	Condutas
Controlo do fumo	Natural / Mecânico	Ecrãs e cortinas de acantonamento

Descrevem-se de seguida as principais condições gerais de aplicabilidade destes elementos dos sistemas de desenfumagem nos termos do RT-SCIE [2], sendo que as disposições mais específicas serão apresentadas nos pontos subseqüentes.

Os vãos de fachada ou bocas de conduta, para tomada de ar, devem ser dispostos em zonas resguardadas do fumo produzido pelo incêndio. No caso dos vãos de fachada limita-se a colocação da sua parte superior a uma altura de até 1 m do pavimento do piso. Esta limitação é também aplicável às bocas de insuflação para a ventilação mecânica.

No dimensionamento das bocas de insuflação, a velocidade deve ser limitada a 5 m/s e o caudal deve ser da ordem de 60% do caudal das bocas de extração, à temperatura de 20 °C.

Os vãos de fachada podem ser considerados no controlo de fumo para evacuação caso se localizem no terço superior do espaço e permitam a sua abertura num ângulo superior a 60°. Os vãos dispostos em paredes exteriores, assim como as bocas de extração, deverão ter a sua parte inferior a uma altura mínima de 1.8 m em relação ao pavimento do piso.

A secção transversal das condutas de extração de desenfumagem passiva deve ser igual ou superior ao somatório das áreas livres das bocas de extração que servem em cada piso sendo que, para secções não circulares, a relação entre dimensões transversais não pode ser superior a dois. No caso das condutas de insuflação ou extração de desenfumagem ativa, deverão ter caudais de fuga inferiores a 20% do caudal a exigir no piso mais desfavorável.

No que diz respeito às condutas coletoras verticais, não podem possuir mais de dois desvios no seu traçado, qualquer um deles limitado a um ângulo de 20°. Os ramais de ligação a estas condutas não poderão ter extensões superiores a dois metros, exceto se for demonstrável por cálculo que é possível a tiragem requerida (para ventilação natural deverá considerar-se o fumo à temperatura de 70 °C e o ar exterior à temperatura de 15 °C e com velocidade nula).

As bocas de ventilação interiores, de admissão ou extração, devem permanecer normalmente fechadas por obturadores exceto nos casos em que sirvam condutas exclusivas de um piso nas instalações de ventilação e de tratamento de ar que participem no controlo de fumo.

Relativamente aos ventiladores de extração de fumo exige-se que resistam, sem alterações sensíveis do seu regime de funcionamento, à passagem de fumo a uma temperatura de 400 °C, durante uma hora em edifícios com altura não superior a 28 m, e durante duas horas em edifícios com altura superior a 28 m.

Sobre os exutores, o RT-SCIE [2] remete a sua aplicação e conceção para a norma europeia EN 12101-2 [8] referente às especificações para fumo natural e ventiladores para extração de calor.

3.3.2 Controlo de poluição de ar

Obrigatórios nos espaços fechados das UT II, os sistemas de controlo de poluição devem aí controlar o teor de monóxido de carbono (CO) face a limites de 50 ppm em valores médios durante oito horas e 200 ppm em valores instantâneos, valor a partir do qual deve ser efetuado o alarme óptico e acústico que indique “Atmosfera Saturada – CO” junto às entradas do espaço em questão, por cima das portas de acesso [2]. O controlo de outros gases poluentes não é definido no RT-SCIE [2], que aponta os responsáveis pelo projeto ou pela exploração do local para a sua identificação e estabelecimento dos respetivos limites.

Os sistemas de controlo de poluição de ar devem compreender os seguintes elementos [2]:

- Sistema automático de deteção de monóxido de carbono, cujos detetores devem ser instalados a uma altura de 1.5 m do pavimento e distribuídos uniformemente de modo a cobrir áreas inferiores a 400 m² por cada detetor;
- Alimentação do sistema de deteção de monóxido de carbono (CO) e alarme através de uma fonte local de energia, capaz de garantir o funcionamento do sistema por um período não inferior a 60 minutos em caso de falha de energia da rede;
- Instalação de ventilação, por meios passivos ou ativos.

A utilização de meios passivos para controlo de poluição de parques de estacionamento é restringida a pisos acima do nível de referência ou no piso imediatamente abaixo desse nível.

Quando efetuado por meios ativos, o controlo de poluição deve garantir, nos parques de estacionamento cobertos fechados, caudais de extração mínimos de 300 m³/h ou 600 m³/h por lugar de estacionamento, para concentrações de CO de 50 ppm e 100 ppm, respetivamente.

Estas instalações devem poder ser ativadas automaticamente por comando da central de controlo de monóxido de carbono, bem como manualmente por comando.

O RT-SCIE [2] refere ainda que a ventilação de câmaras corta-fogo de acesso a espaços sujeitos a controlo de poluição pode ter como base um valor de cinco renovações horárias.

3.3.3 Controlo de fumo nos locais sinistrados

Segundo o RT-SCIE [2], consideram-se naturalmente ventilados e desenfumados por meios passivos os pisos dos parques de estacionamento cobertos abertos, os pisos dos parques de estacionamento semi-enterrados onde, sobre duas fachadas opostas, seja possível garantir aberturas de admissão de ar (ventilação baixa) e saída de fumo (ventilação alta) cujas bocas tenham dimensões superiores a 0.06 m² por lugar de estacionamento em condições que garantam um adequado varrimento, e ainda os parques de estacionamento da 1ª categoria de risco desde que possuam condições para garantir um adequado varrimento.

Para as instalações de desenfumagem passiva, o RT-SCIE [2] refere as seguintes regras:

- As aberturas para admissão de ar devem ser instaladas totalmente na zona livre de fumo e o mais baixo possível, enquanto que as aberturas para evacuação de fumo se devem dispor totalmente na zona enfumada e o mais alto possível;
- O somatório das áreas livres das aberturas para admissão de ar deve situar-se entre metade e a totalidade do somatório das áreas livres das aberturas para evacuação de fumo;
- Se o declive do teto não for superior a 10%, a distância, medida em planta, de um ponto do local a uma abertura de evacuação de fumo não deve ser superior a sete vezes o pé-direito de referência, com um máximo de 30 m;
- Se o declive do teto for superior a 10%, as aberturas para evacuação devem ser localizadas integralmente acima do pé-direito de referência e o mais alto possível;
- No caso de bocas de evacuação ligadas a condutas verticais, o comprimento das condutas deve ser inferior a 40 vezes a razão entre a sua secção e o seu perímetro;
- Quando, no mesmo local, existirem exutores e vãos de evacuação de fachada, estes apenas podem contribuir com um terço para a área total útil das aberturas de evacuação;
- A área total útil das aberturas para evacuação deve ser objeto de cálculo devidamente fundamentado.

Como referido anteriormente, sendo mais do que um piso abaixo do plano de referência, deve ser utilizada a desenfumagem ativa, preferencialmente por hierarquia de pressões. No que diz respeito às especificações regulamentares para estes sistemas, o RT-SCIE [2] especifica que:

- As bocas de extração devem ser distribuídas à razão de uma por cada 320 m² de área do local e proporcionar um caudal de 1 m³/s por cada 100 m² de área do local, com um mínimo de 1.5 m³/s;
- Os sistemas de desenfumagem ativa comuns a vários locais devem ser dimensionados para a soma dos caudais exigidos para os dois locais de maiores dimensões;
- Os sistemas de climatização ou controlo ambiental podem ser utilizados para efeitos de controlo de fumo, desde que cumpram as respetivas disposições do regulamento;
- Nos pisos dos parques de estacionamento cobertos fechados:
 - A extração de fumo em caso de incêndio deve ser ativada com um caudal de 600 m³/h por veículo no compartimento corta-fogo sinistrado;
 - A insuflação deve ser parada no compartimento corta-fogo sinistrado e ser acionada nos compartimentos corta-fogo adjacentes que comuniquem com o sinistrado, com caudais iguais a 60% da extração do piso sinistrado;
 - No caso particular de compartimentos corta-fogo que não possuam, no seu interior, rampas de comunicação a outros pisos, a desenfumagem tem de ser efetuada, nesse compartimento, por insuflação ou extração com os caudais acima referidos;
 - O sistema de controlo de fumo pode recorrer ao sistema de ventilação para controlo de poluição por meios ativos, desde que disponha das características exigidas pelo regulamento para esse efeito.

3.4 Ventilação de impulso

3.4.1 Enquadramento e caracterização geral

A ventilação de impulso constitui um método de controlo de fumo relativamente recente, no caso de Portugal apontando-se a sua utilização a partir do final dos anos 90 [20]. Enquanto que os sistemas convencionais captam o fumo localmente e o transportam por condutas, por ação dos ventiladores de extração, na ventilação por impulso o fumo é encaminhado pelo parque, com o auxílio da ação dos ventiladores de impulso, até às tomas (grelhas) de extração associadas a ventiladores de extração.

A ventilação por impulso assenta na seguinte estratégia [20]: escoamento do fumo tanto quanto possível para o ponto de exaustão mais próximo; evacuação dos ocupantes de jusante para montante ou perpendicularmente ao escoamento; intervenção dos bombeiros, que deve ser feita de montante para jusante.

Ao nível dos equipamentos, os sistemas convencionais obrigam à colocação de grandes extensões de condutas ao longo dos parques de estacionamento, o que traz desvantagens em vários aspetos como custos de investimento, acréscimo de perdas de carga e maiores necessidades ao nível dos ventiladores de extração, bem como inconvenientes ao nível da instalação, dado que reduz o espaço útil para coordenação com outras instalações técnicas (redes de extinção automática, esgotos, etc.). A utilização de sistemas de ventilação por impulso permite substituir estes componentes simplesmente por ventiladores suspensos nos tetos dos parques de estacionamento.

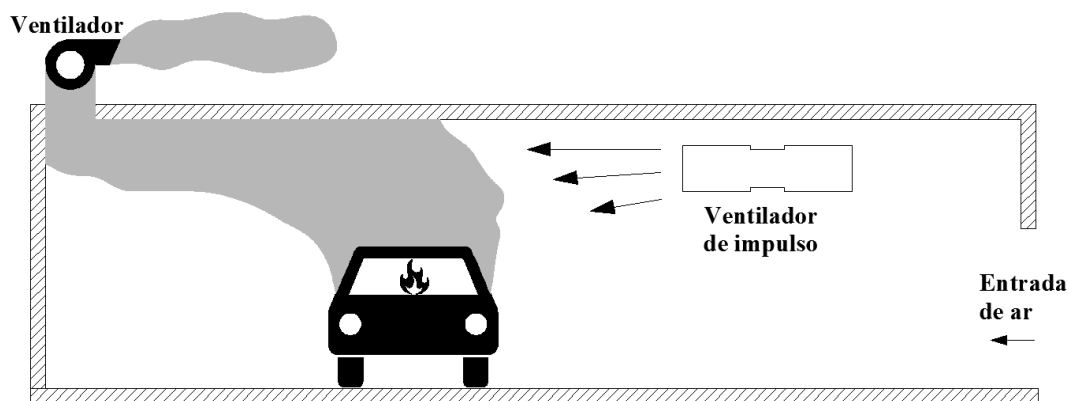


Figura 3.3 – Extração de fumo com ventilação de impulso em parque de estacionamento

Um ventilador de impulso é um equipamento que faz a toma de ar a montante e promove a aceleração do mesmo, por via da ação de um ventilador axial instalado no seu eixo. A direção de saída do ar pode ser ajustada verticalmente quando equipados com alhetas. Quanto ao sentido do escoamento, os ventiladores de impulso podem ser categorizados em unidirecionais ou reversíveis.

Refiram-se também neste domínio de aplicação os ventiladores de indução, que surgiram mais recentemente. O princípio de funcionamento é diferente, com ventiladores centrífugos, sendo a aspiração feita por baixo, na vertical, perpendicularmente à saída. A forma de projeção do ar serve os mesmos propósitos da ventilação de impulso e, como tal, os ventiladores de impulso e os de indução são tipicamente associados no contexto da desenfumagem de parques de estacionamento.

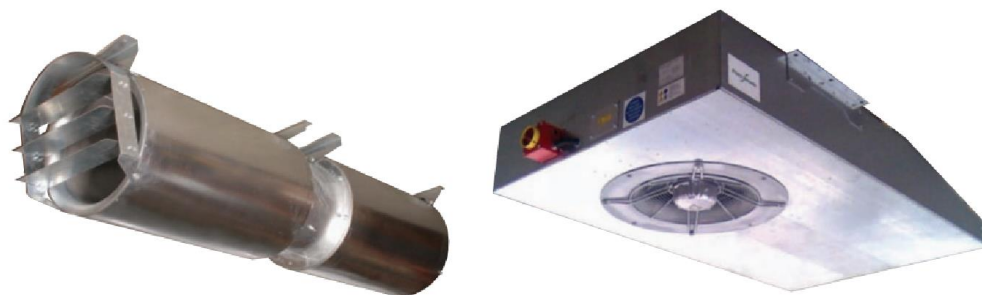


Figura 3.4 – Ventilador de impulso e ventilador de indução [24]

Os ventiladores de indução têm como principal vantagem as velocidades de saída de ar superiores, o que em princípio permite reduzir o número de ventiladores numa instalação de desenfumagem. A sua menor altura permite ainda maior flexibilidade na instalação. Têm como desvantagem a limitação da ventilação a um sentido, sendo que os ventiladores de impulso reversíveis permitem assim instalações mais versáteis.

A implantação dos ventiladores numa instalação de ventilação de impulso prende-se com vários fatores, entre os quais:

- Localização da(s) entrada(s) de ar;
- Localização da(s) saída(s) de fumo;
- Propriedades dos ventiladores de impulso;
- Critérios de funcionamento (para controlo de poluição e desenfumagem).

Ilustra-se na Figura 3.5 uma instalação tipo de ventiladores de impulso: a admissão de ar e a extração de fumo encontram-se em lados opostos do parque, criando condições para o seu varrimento com o auxílio dos ventiladores de impulso; os ventiladores instalados nas vias centrais são unidirecionais, funcionando no sentido admissão de ar – extração de fumo. Complementarmente, existe uma linha de ventiladores bidirecionais cujo modo de funcionamento será adequado à situação de desenfumagem que venha a ocorrer.

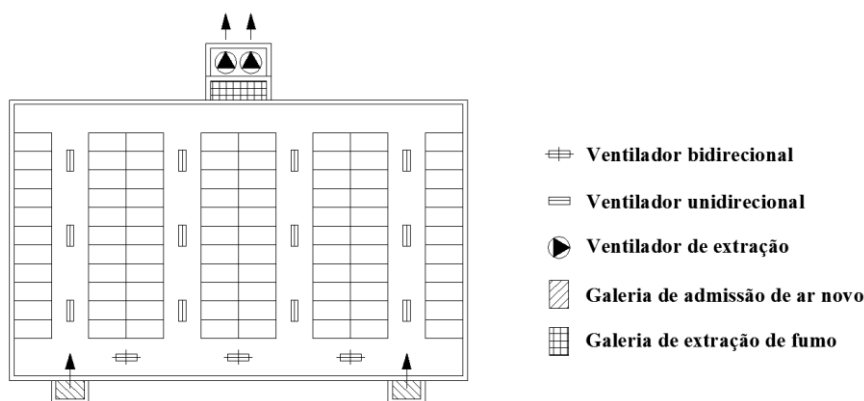


Figura 3.5 – Planta de parque de estacionamento com ventilação de impulso (adaptado de [25])

Relativamente às propriedades dos ventiladores de impulso, no que se refere à especificações de fabrico indicativas da sua performance, as mais importantes são o diâmetro, o caudal (ou caudais) de funcionamento e o impulso gerado.

3.4.2 Jatos gerados pelos ventiladores

O jato produzido por um ventilador de impulso pode, com algumas simplificações, ser descrito como um jato livre axissimétrico, composto por três regiões sucessivas, ilustradas na Figura 3.6: a região inicial (*initial length*), a região de transição (*transition*) e a região de jato desenvolvido (*fully developed jet*), sendo o jato separado do fluido circundante por uma camada-limite na qual o escoamento é turbulento e rotacional [20].

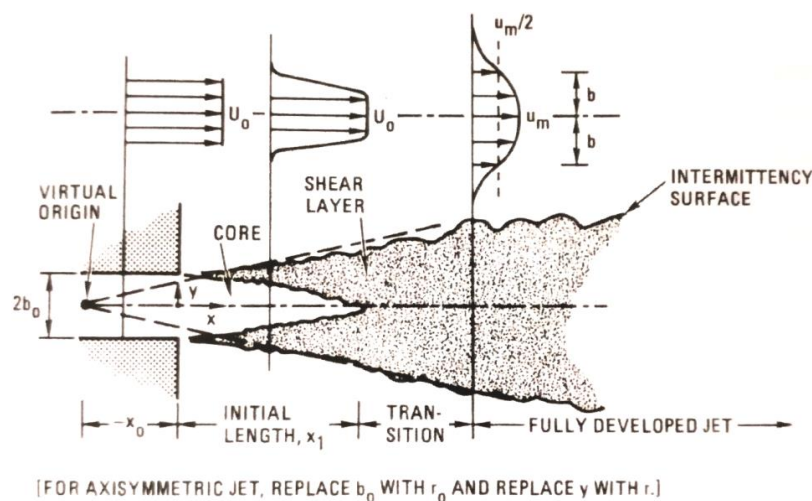


Figura 3.6 – Jato turbulento submerso (Blevins, 1984, citado por [20])

A região inicial compreende uma zona em que a velocidade se mantém igual à velocidade inicial, denominada de cone potencial (*core*). Este cone vai estreitando até terminar no início da região de transição, a partir da qual toda a secção transversal do jato apresenta uma velocidade inferior à de saída. Com o aumento da distância à origem, o raio do jato aumenta e a velocidade diminui, com o perfil tipo apresentado na figura.

A norma NP 4540 [12] refere a seguinte expressão para o cálculo do campo de velocidade longitudinal gerado por um jato axissimétrico, em que os parâmetros k_0 e k devem ser específicos para um determinado equipamento.

$$u(x, r) = \frac{k_0 u_0 2 r_0}{x} e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{r}{k x} \right)^2} \quad (3.1)$$

$u(x, r)$ – Velocidade nas coordenadas x, r (m/s)

u_0 – Velocidade na origem (m/s)

x – Distância à origem (m)

r – Distância transversal ao eixo do jato (m)

r_0 – Raio do jato na origem (m)

k_0 – Grandeza característica do decaimento da velocidade no eixo (adimensional)

k – Grandeza característica da expansão do jato (adimensional)

A utilização dos ventiladores de impulso nas condições de instalação dos parques de estacionamento levam a que o movimento de ar seja diferente de um jato livre, devido às limitações impostas pelas paredes (principalmente o teto) e outros obstáculos, designando-se nestas condições o jato como confinado. Nestas circunstâncias as forças de atrito reduzem o impulso gerado pelo ventilador e por conseguinte a sua eficácia.

O jato confinado pode ser dividido em três regiões principais [20]: uma primeira região em que o jato é livre (não confinado), seguida de uma região em que se dá a interferência com a superfície sólida, e finalmente uma região em que se trata de um jato parietal. Estas regiões podem ser designadas, respetivamente, de região de jato livre, região de efeito de Coanda e região de jato de parede.

O caudal do jato confinado de um ventilador de impulso pode ser estimado de forma simplificada através da expressão seguinte, em que os parâmetros a e b poderão ser obtidos por ajustamento à curva de caudal do ventilador obtida por via experimental ou por métodos de cálculo mais robustos [12].

$$Q = \begin{cases} 0,16 \frac{x}{r_0} Q_0 & \text{se } x < a \\ 0,16 \sqrt{a x} \frac{Q_0}{r_0} & \text{se } x \geq a \end{cases} \quad \wedge \quad Q \leq b \quad (3.2)$$

Q – Caudal do jato confinado (m³/s)

Q_0 – Caudal do jato na origem (m³/s)

x – abcissa de cálculo do caudal do jato confinado (m)

r_0 – raio do jato na origem (m)

a – abcissa a partir da qual o jato passa de livre para confinado (m)

b – caudal máximo do jato (m³/s)

A aplicação dos caudais calculados para um ventilador na determinação do caudal total movimentado deverá ter em conta a disposição dos ventiladores, uma vez que a colocação de ventiladores em série não deverá produzir um aumento expressivo do caudal. Para além desta metodologia simplificada poderá efetuar-se um cálculo mais preciso, por exemplo pelo

método de integração do campo vetorial de velocidades, considerando nesse campo vetorial a contribuição de todos os ventiladores [12].

3.5 Conceção de ventilação por impulso

3.5.1 Enquadramento

Como referido anteriormente, a ventilação por impulso não se encontra abrangida na regulamentação técnica em vigor de segurança contra incêndios (RT-SCIE [2]), enquadrando-se no regime jurídico (RJ-SCIE [1]) na figura de perigosidade atípica. Ao nível europeu, a norma britânica BS 7346-7 [13] colocava-se até recentemente como o principal documento de referência para este tipo de sistemas.

A norma portuguesa NP 4540 de 2015 [12] agora em vigor estabelece as condições para a conceção de ventilação por impulso em parques de estacionamento em Portugal, abrangendo o controlo de poluição e a desenfumagem, e compreendendo metodologias de conceção com métodos analíticos ou por simulação numérica.

Apresentam-se nos pontos seguintes as regras de conceção da ventilação de impulso no âmbito deste enquadramento normativo. Os critérios descritos são os da norma portuguesa agora em vigor, salvo indicação de outros critérios ou regras de conceção de outras fontes. Refiram-se neste âmbito as disposições aplicáveis do RT-SCIE [2], bem como da norma inglesa BS 7346-7 [13], e ainda outras práticas alternativas que, embora não regulamentares, sejam normalmente utilizadas, como são regras de conceção de fabricantes.

Relativamente à metodologia de dimensionamento, a conceção da ventilação de impulso pode ser feita com dois tipos principais de ferramentas: métodos analíticos e simulação por mecânica dos fluidos computacional (CFD). As ferramentas de CFD permitem uma exatidão muito superior à dos métodos analíticos, sendo ainda morosas para utilização no desenvolvimento de projeto [20].

Em termos da estratégia de combate ao incêndio e salvaguarda de pessoas e bens, o controlo de fumo pela ventilação de impulso compreende as seguintes responsabilidades [20]:

- Assegurar as condições de sobrevivência adequadas ao trânsito dos ocupantes da edificação sinistrada no seu processo de evacuação;
- Assegurar a preservação do escoamento do fumo de espaços das edificações considerados locais de segurança;

- Assegurar as condições ambientais adequadas à permanência dos bombeiros (ainda que por um período transitório) na proximidade do sinistro, de forma a apoiá-los na sua intervenção no combate ao incêndio;
- Assegurar (também eventualmente por um período transitório) a visibilidade da fonte de calor de forma a facilitar os bombeiros na localização e combate ao incêndio.

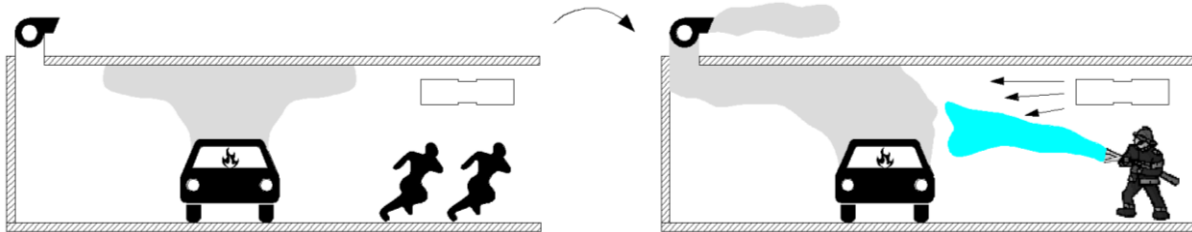


Figura 3.7 – Sequência do combate a incêndio após a detecção – evacuação e combate

Para que o sistema de desenfumagem por ventilação por impulso possa atingir uma eficácia desejada, refere-se em [20] o seguinte conjunto de condições:

- Disposição dos ventiladores de impulso deve evitar a existência de zonas de estagnação;
- O caudal induzido no escoamento do jato deve ser escoado para o exterior, não se gerando recirculações;
- Devem-se adotar soluções construtivas que permitam desenfumar a zona sinistrada com caudais significativamente maiores do que os exigidos regulamentarmente;
- É desejável que para uma linha de ventiladores exista uma outra linha a montante dessa, de modo a se gerar com maior eficácia o campo de velocidade adequado;
- O conjunto de ventiladores de impulso ativados em caso de incêndio deve ter uma implantação mais ampla do que a zona de detecção de incêndio;
- Deve evitar-se a existência de jatos que criem pressões positivas significativas nas paredes periféricas do parque de estacionamento;
- A disposição dos ventiladores de impulso deve ser equilibrada de forma a que a ação do impulso sobre a massa de ar não tenha tendência a gerar vórtices envolvendo partes significativas do domínio.

No que diz respeito à compartimentação entre pisos através de rampas, estas constituem zonas que permitem a propagação de fumo para pisos superiores ao do piso sinistrado. Nestas vias deve promover-se a ventilação no sentido descendente, com o objetivo de manter o fumo

no piso do incêndio, sendo que nas situações em que estas vias contribuam para diminuir a eficácia do escoamento, deve-se promover a oclusão parcial ou total das mesmas [20].

O funcionamento do controlo de fumo deve ser prioritário, ou seja em situação de incêndio o sistema de ventilação deve funcionar de modo adequado a essa situação [12].

Neste âmbito, também a norma BS 7346-7 [13] especifica para sistemas com ventiladores de impulso que deve haver informação sobre as localizações preferenciais para o combate ao incêndio pelos bombeiros para cada zona de incêndio / alarme.

3.5.2 Ventilação de despoluição

3.5.2.1 Considerações prévias

O controlo de poluição do ar é obrigatório, nos termos do RT-SCIE [2], para os parques de estacionamento cobertos. Salvo para os pisos acima do plano de referência e para o primeiro piso abaixo do mesmo, a ventilação de controlo de poluição deve ser feita por meios ativos.

No que se refere à ventilação de despoluição, são apresentados na norma NP 4540 [12] os principais passos para o projeto do sistema com ventiladores de impulso:

- Caracterização das fontes de poluentes;
- Conceção geral do sistema de ventilação;
- Estabelecimento da malha de disposição dos ventiladores de impulso;
- Definição da estratégia de funcionamento;
- Estabelecimento de estratégias para limitar a dispersão de poluentes a locais adjacentes;
- Maximização da eficácia de ventilação.

A verificação de concentrações de poluentes pode ser aferida através da expressão seguinte, assumindo concentração uniforme em todo o parque de estacionamento [12].

$$c_i = \frac{\dot{Q}_P}{\dot{Q}_{AN}} + c_\infty \quad (3.3)$$

c_i – Concentração do poluente

\dot{Q}_P – Caudal volúmico da substância poluente

\dot{Q}_{AN} – Caudal volúmico de ar novo

c_∞ – Concentração do poluente no ar novo

Relativamente aos poluentes, o RT-SCIE [2], assim como a BS 7346-7 [13], indica regras de ventilação (caudal de extração por número de veículos) em função do teor de monóxido de carbono (CO). O cumprimento destas regras para parques de uso exclusivo para veículos ligeiros dispensa a verificação analítica de que os caudais de ventilação são suficientes para manter concentrações de poluentes abaixo dos limites admissíveis [12].

A conceção da ventilação por impulso para controlo de poluentes deve seguir os seguintes passos [12]:

- Determinação das distâncias longitudinal e transversal ente os ventiladores de impulso (malha);
- Definição da estratégia de ventilação;
- Estimativa do caudal arrastado pelos ventiladores de impulso;
- Definição do caudal de exaustão;
- Definição do caudal de admissão;
- Estabelecimento da relação com locais adjacentes;
- Verificação do equilíbrio do momento angular.

Descrevem-se nos pontos seguintes os critérios de conceção do sistema de controlo de poluição por ventilação de impulso.

3.5.2.2 Ventiladores

O dimensionamento da malha de ventiladores é, segundo a norma NP 4540 [12], efetuado para a situação em que estes funcionam na velocidade máxima, decorrente da verificação da concentração limite de CO no parque de estacionamento, com as seguintes condições:

- O espaçamento transversal deve ser tal que na zona de sobreposição dos campos de velocidade o seu valor seja no mínimo 0.1 m/s;
- O espaçamento longitudinal deve ser tal que a velocidade de arrastamento seja no mínimo 0.05 m/s.

Relativamente à disposição dos ventiladores, são referidas na norma NP 4540 [12] algumas recomendações na sua aplicação:

- A existência de uma linha de ventiladores de impulso por cada corredor de circulação paralelo à direcção de ventilação;
- A aplicação em quincôncio pode ser aproveitada para evitar zonas de estagnação entre ventiladores;

- Não se deverão colocar os ventiladores com afastamento transversal excessivo;
- Não se deverão colocar os ventiladores demasiado próximos das paredes de jusante, evitando que a pressão resultante interfira com o funcionamento da exaustão;
- Os ventiladores devem ser posicionados de forma a não provocar pressões dinâmicas positivas nas aberturas ou rampas.

O caudal arrastado pelos ventiladores de impulso poderá ser calculado pela soma dos caudais de ventiladores de eixos paralelos entre si, sendo que para além desta forma simplificada se deverá proceder à integração do campo de velocidade [12].

Refira-se ainda que aberturas de exaustão devem estar afastadas de aberturas e rampas [12].

3.5.2.3 *Estratégia de funcionamento*

Como já abordado no ponto anterior, o processo de ventilação para controlo de poluição poderá ser efetuado de duas principais formas:

- Varrimento – os ventiladores de impulso funcionam com caudais escoados inferiores ao da exaustão, promovendo-se uma eficácia elevada de ventilação;
- Diluição – os ventiladores de impulso funcionam com caudais escoados superiores ao da exaustão, promovendo-se a recirculação de caudais e a conseguinte diluição dos poluentes, com vista à remoção de picos de concentração dos mesmos.

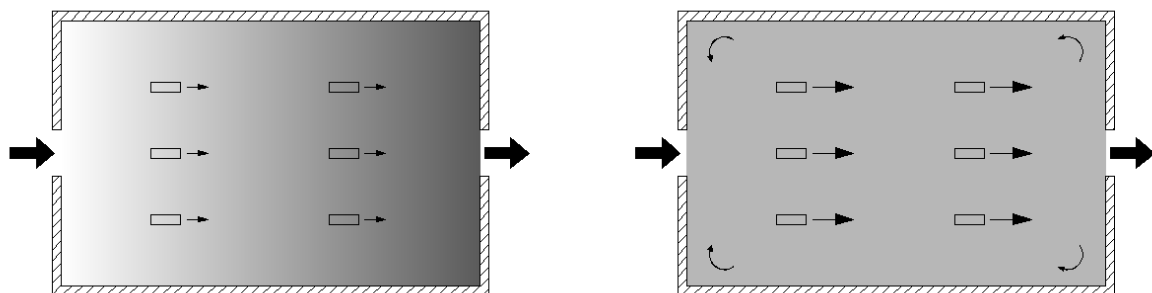


Figura 3.8 – Controlo da poluição – varrimento e diluição

A escolha dos métodos de ventilação deverá ser adequada a cada situação prevista de funcionamento, sendo o método de varrimento o mais adequado em condições normais, dado que possibilita a remoção do excesso de poluição nas zonas em que tal é necessário enquanto apresenta uma maior eficácia de ventilação e um menor consumo energético.

É recomendado na norma NP 4540 [12] que as zonas de deteção de poluição devem ser de reduzidas dimensões, no limite correspondendo apenas à área de influência de um detetor.

Indicam-se no Quadro 3.3 as principais recomendações referidas na norma NP 4540 [12] no que diz respeito à estratégia de funcionamento para gestão dos ventiladores e respetivos caudais em função das diferentes situações de controlo de poluição.

Quadro 3.3 – Estratégia de ventilação para controlo de poluição

Concentração de CO	Ventiladores de impulso em funcionamento	Extração
50 ppm	- Nas zonas afectadas e nas zonas a jusante destas, na velocidade mínima	- Caudal de extração superior ao caudal total dos ventiladores
100 ppm	- Nas zonas afectadas e nas zonas a jusante destas, com caudal máximo - Se necessário, em zonas adjacentes para limitar o escoamento, na velocidade mínima	- Caudal de extração superior ao caudal total dos ventiladores
200 ppm	- Todos os ventiladores do piso	- Todos os ventiladores de exaustão no máximo

3.5.2.4 Admissão e extração

Idealmente, a ventilação de impulso deverá ser disposta no percurso entre a entrada e saída de ar, ou seja, com a admissão a montante e a extração a jusante.

Segundo a norma NP 4540 [12], o caudal de ar novo admitido no parque de estacionamento deverá em princípio ser inferior ao caudal de exaustão, no sentido de criar uma depressão no espaço a ser ventilado e, por conseguinte, evitar a passagem de ar poluído para outros compartimentos adjacentes. Este desequilíbrio entre admissão e extração deverá ser compensado por outras aberturas para admissão natural.

O balanço de caudais mássicos poderá ser simplificado para um balanço de caudais volúmicos caso as temperaturas do ar interior e de admissão sejam semelhantes, desprezando-se ainda o acréscimo de massa proveniente dos gases dos veículos [12].

Relativamente à ventilação de extração em parques de estacionamento fechados, deverá ser efetuada por vias mecânicas, cujo cálculo deverá ter em conta as perdas de carga nas grelhas e outros dispositivos de admissão, bem como nos trajetos de exaustão. Admite-se também a exaustão através de aberturas amplas existentes, desde que com comprovado aproveitamento.

3.5.2.5 Desequilíbrio e estagnação

Deverá avaliar-se o momento angular relativo ao varrimento efetuado no parque, no sentido de identificar vórtices criados pelo desequilíbrio do momento angular, podendo este ser obtido pela expressão seguinte.

$$\vec{M} = \sum_i \vec{x}_i \times \vec{J}_{0i} \quad (3.4)$$

\vec{M} – Momento angular (N.m)

\vec{x}_i – vetor posição do ventilador i (m)

\vec{J}_{0i} – Impulso aplicado pelo ventilador i (N)

A apreciação dos vórtices deverá ser efetuada no contexto da estratégia de ventilação adotada, dado que pode ser vantajosa a sua existência para a diluição e redução de picos de concentração de poluentes. Em termos de funcionamento do sistema, para evitar a formação de vórtices contribui a adopção de velocidades baixas nas admissões de ar e, em especial, nas insuflações mecânicas quando existentes.

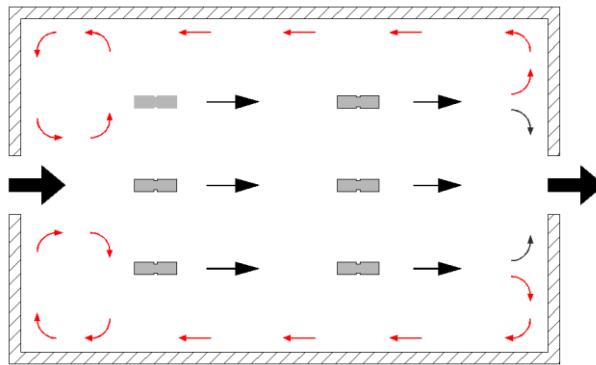


Figura 3.9 – Exemplo de recirculação e formação de vórtices

A estagnação constitui outro efeito indesejável no âmbito do controlo da poluição que deve ser acautelado pela estimativa de padrões de escoamento resultantes deste regime de funcionamento do sistema, assegurando a correta disposição dos seus elementos – bocas de admissão, ventiladores de impulso, bocas de extração.

3.5.3 Ventilação de controlo de fumo

3.5.3.1 Considerações prévias

A norma NP 4540 [12] define o seguinte algoritmo de cálculo para dimensionamento dos ventiladores de impulso para controlo de fumo:

1. Estabelecimento do cenário de incêndio;
2. Especificação da distância à fonte de calor de retenção do fumo;
3. Consideração da ação do vento;
4. Determinação da velocidade mínima do escoamento do ar novo que satisfaz a distância à fonte de calor de retenção do fumo;

5. Recolha de dados sobre os ventiladores de impulso que serão utilizados no cálculo;
6. Estudo da malha de ventiladores de impulso que satisfaz o campo de velocidade requerido;
7. Estimativa da dispersão lateral do fumo;
8. Estimativa da área da zona enfumada;
9. Confirmação de que o critério de área máxima enfumada é cumprido;
10. Estabelecimento da velocidade de escoamento fora da zona enfumada;
11. Estimativa da temperatura do escoamento e sua massa volúmica;
12. Determinação do caudal mínimo de exaustão (tendo em conta a temperatura do escoamento);
13. Definição do projeto de desenfumagem do parque em função do caudal de exaustão;
14. Especificação do caudal de admissão e respetiva estratégia;
15. Especificação do modo de obtenção da restrição do escoamento de fumo entre pisos;
16. Verificação de que o momento angular se encontra próximo de zero;
17. Avaliação de zonas de estagnação e sua admissibilidade;
18. Determinação da distância dos ventiladores à parede de montante;
19. Determinação da distância dos ventiladores à parede de jusante;
20. Transmissão da informação sobre a localização do incêndio.

Descrevem-se nos pontos seguintes os critérios de conceção do sistema de desenfumagem por ventiladores de impulso.

3.5.3.2 Cenário de incêndio

O cenário de incêndio a considerar traduz-se na forma de curvas de potência normalizadas para incêndios, segundo a norma NP 4540 [12], apresentadas na Figura 3.10, relativas ao incêndio de veículos ligeiros: quando o parque de estacionamento disponha de sistema automático de extinção de incêndio ou de equipa de intervenção própria, a potência máxima libertada considerada é de 4 MW, a equivalente ao incêndio de um veículo, admitindo-se que não há propagação para um segundo veículo; caso contrário, o incêndio considerado abrange dois veículos, resultando o dobro da potência com o incêndio no seu pico, ou seja de 8 MW.

O sistema de controlo de fumo deve ser avaliado em relação ao cenário definido, devendo ser capaz de limitar o escoamento decorrente em regime estacionário [12].

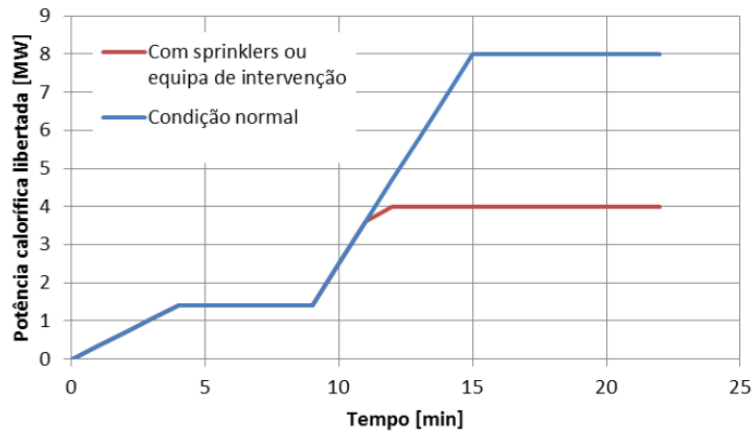


Figura 3.10 – Evolução da potência calorífica libertada face a diferentes meios de combate ao incêndio [12]

Neste documento assumem-se áreas de fogo de 2.5 x 5 m² para incêndio de um veículo e 5 x 5 m² para incêndio de dois veículos. Em ambos os casos, a fração convectada da potência calorífica total deverá ser de 66%.

A ação do vento deve ser avaliada, uma vez que pode interferir com a admissão e a extração pondo em causa o seu funcionamento. Deve prevalecer o princípio do Regulamento de Segurança e Acções para Estruturas de Edifícios e Pontes (RSA) [26] de considerar a ação do vento se for desfavorável, ou não ser considerada se for favorável [20].

A ação do vento numa fachada pode ser avaliada pela pressão relativa exterior que nela é exercida, determinada em função da pressão dinâmica pela expressão seguinte [20].

$$P = (C_{pe} + C_{pi}) 0,613 (0,23 \bar{V})^2 \quad (3.5)$$

C_{pe} – Coeficiente de pressão exterior (adimensional)

C_{pi} – Coeficiente de pressão interior (adimensional)

\bar{V} – velocidade média do vento (m/s)

Os coeficientes de pressão e a velocidade média são determinados segundo o RSA [26], tendo em consideração vários fatores como a orientação do vento ou altura do edifício, entre outros.

3.5.3.3 Zona enfumada

A área de ocupação do fumo deve ser limitada pelo sistema de ventilação, definindo-se na norma NP 4540 [12] o critério de que a distância de retenção de fumo não deve ser superior a 40 m, sendo esta avaliada como a distância entre a fonte de calor e o ponto de retenção do escoamento do fumo. Na determinação analítica dos pontos de retenção do escoamento,

deverá considerar-se 65% da velocidade dos ventiladores de impulso face às velocidades do jato de teto com origem na pluma térmica.

A área de zona enfumada constitui uma grandeza objetiva para avaliação da eficácia da ventilação de impulso [20]. Neste sentido, a norma NP 4540 [12] limita em condições normais a área enfumada a 6 000 m², com uma dimensão máxima (comprimento/ largura) de 120 m, sendo que nos casos em que o piso do parque de estacionamento tenha uma área superior a 12 000 m² e em que a zona enfumada não esteja limitada por paredes em mais do que dois lados, considera-se admissível o aumento da área enfumada para até 8 000 m².

Define-se ainda o valor de 80 m para a distância máxima entre a fonte de calor e a exaustão, cuja transposição se admite apenas com cálculos justificativos [12].

Deverá ser evitado o escoamento de fumo através das rampas entre pisos [12], sendo que o efeito de chaminé irá potenciar o seu escoamento para os pisos superiores. O controlo desta situação pode ser obtido através das seguintes alternativas:

- Insuflação nas rampas de acesso com uma velocidade capaz de impedir o escoamento do fumo, através de ventiladores de impulso;
- Restrição de passagem de ar pelas rampas através do encerramento parcial ou total, através de portões, cortinas ou cortinas de água.

3.5.3.4 Ventiladores

Com vista ao cálculo do sistema interessa recolher os parâmetros representativos do funcionamento dos ventiladores, como sejam o impulso, caudal, velocidade, secção transversal, comprimento e modos de funcionamento (unidirecional ou reversível).

Quanto às condições de funcionamento, é desejável que o caudal arrastado pelos ventiladores de impulso esteja equilibrado com o caudal de exaustão [20]. Dado que o funcionamento em situação de incêndio pode levar a caudais circulados superiores ao de exaustão, promovendo recirculações, o caudal mássico dos ventiladores de impulso não deve ser superior a 1.5 vezes o de exaustão [12].

Relativamente à disposição dos ventiladores, são referidas na norma NP 4540 [12] algumas condicionantes na sua aplicação:

- Evitar velocidades muito elevadas nos ventiladores de impulso que forcem a admissão de caudais de ar provenientes de zonas fora do percurso de admissão-extração, uma vez que daí poderá ocorrer arrastamento de fumo para zonas a proteger;

- Evitar a captação de ar novo nas proximidades das saídas de exaustão, através do correto posicionamento das várias aberturas (ventilação ou outras), de modo a não limitar o varrimento de fumo planeado para o sistema;
- Os ventiladores de impulso não deverão estar demasiado próximos de obstáculos a jusante de forma a que possam desviar caudais para zonas com captação de fumo insuficiente ou inexistente, sendo que os ventiladores próximos da parede de fundo não se devem encontrar em funcionamento; Para o cumprimento deste critério, permitem-se distâncias entre ventiladores superiores às máximas impostas para restrição do escoamento do fumo;
- A colocação de ventiladores de impulso próximos de paredes de montante deverá ser feita a uma distância que resulte numa velocidade no campo de admissão igual ou inferior a 1 m/s, de modo a não restringir o caudal dos ventiladores;
- Caso haja possibilidade de aparecimento de fumo junto à parede de montante, deverão aproximar-se os ventiladores da parede, de modo a restringir a fuga de fumo ao longo da mesma, devendo-se para tal gerar uma velocidade no campo de admissão dos ventiladores de valor igual ou superior à velocidade de escoamento do jato de fumo. Este critério é predominante sobre o anterior, em caso de incompatibilidade. Refira-se ainda neste contexto a utilização de ventiladores bidirecionais ou a colocação de ventiladores paralelos à parede de fundo para escoar ar novo para estas zonas.

3.5.3.5 Desequilíbrio e estagnação

Como referido anteriormente para a ventilação de despoluição, o desequilíbrio dos impulsos gerados pelos ventiladores pode levar à criação de vórtices, pelo que este aspeto deverá ser acautelado através da avaliação do momento angular. O momento angular resultante dos impulsos gerados determina-se pela expressão 3.3 anteriormente enunciada, na qual se deverão considerar os ventiladores de insuflação quando tal for relevante [20].

É admissível a existência quer de zonas de estagnação quer de zonas de recirculação de esteiras, cujas menores dimensões em planta deverão estar limitadas a 7 m, para zonas com acesso apenas de um lado, ou a 14 m, para zonas com acesso bilateral [12].

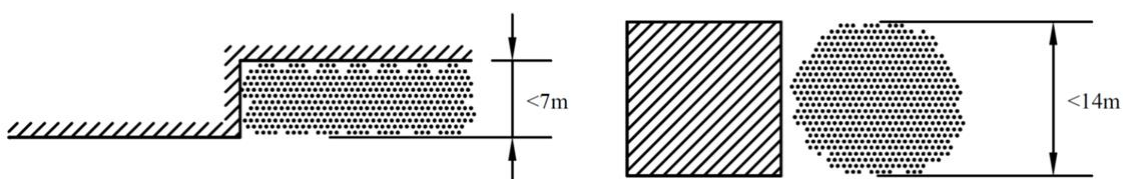


Figura 3.11 – Zonas de estagnação [12]

3.5.3.6 Admissão e extração

Segundo a norma NP 4540 [12], a admissão de ar deve ser feita por meios naturais através de aberturas com espaços adjacentes, sendo que apenas quando este modo não for possível, por incapacidade de varrimento do fumo, se poderá adotar a insuflação mecânica. Adotando-se insuflação mecânica, o caudal volúmico de extração deve ser igual ou superior a 170% do caudal insuflado mecanicamente. Nestas condições, a compatibilização de caudais deverá ser obtida pelo ajuste do caudal de insuflação.

Quando existam outras aberturas de admissão de ar para além da insuflação mecânica, a compatibilização de caudais deverá ser obtida pelo ajuste do caudal de extração, mantendo-se a relação de 170% entre caudais volúmcicos de exaustão e insuflado [12].

As relações entre caudais volúmcicos de insuflação e extração acima referidas poderão ser ultrapassadas desde que seja devidamente justificada a vantagem dessa opção e a restrição do escoamento do fumo para outros espaços adjacentes [12].

O caudal de exaustão deverá ser limitado inferiormente, com vista a minimizar escoamentos de recirculação. Neste sentido, como referido anteriormente, o escoamento arrastado pelas fontes de impulso não deve exceder 1.5 vezes o caudal mássico de exaustão [12].

Com vista a definir a resistência à temperatura necessária da ventilação de extração, a norma NP 4540 [12] permite estimar, de forma muito simplificada com base no balanço entre a potência convectiva libertada na combustão e a potência convectada na exaustão, a temperatura média do escoamento de exaustão, através da expressão seguinte. Na sua aplicação deverá considerar-se o foco do incêndio na posição mais desfavorável (à partida a mais próxima da exaustão).

$$\bar{T}_f = \frac{\dot{Q}_c}{\rho_\infty c_{pf} \dot{V}} + T_\infty \frac{c_{p\infty}}{c_{pf}} \quad (3.6)$$

\bar{T}_f – Temperatura média do escoamento de exaustão (K)

\dot{Q}_c – Potência convectiva libertada na combustão (W)

\dot{V} – Caudal volúmcico de ar novo correspondente à exaustão (m³/s)

ρ_∞ – Massa volúmcica do ar novo (kg/m³)

T_∞ – Temperatura do ar novo (K)

$c_{p\infty}$ – Calor específico a pressão constante à temperatura do ar novo (J/kg/K)

c_{pf} – Calor específico a pressão constante à temperatura média do escoamento do fumo (J/kg/K)

Referem-se ainda outros critérios de concepção relacionados com o posicionamento e características da exaustão [12]:

- A exaustão do fumo não deve interferir com os caminhos de evacuação;
- As tomas e descargas de exaustão devem ser dispostas de modo a permitir o acesso a locais importantes em caso de emergência, não podendo estar a distâncias inferiores a 5 m desses locais;
- Deve ser evitada a reentrada de fumo em outros pisos para além do sinistrado;
- Em caso de ductos de exaustão comuns a vários pisos, deve ser acutelada a utilização de materiais resistentes para os registos ou serem asseguradas distâncias de segurança, devidamente justificadas, entre as bocas dos ductos e materiais inflamáveis.

3.5.3.7 Funcionamento do sistema

Ao nível da automatização do sistema, dever-se-á prever a seguinte sucessão de eventos a partir da ativação do alarme do incêndio, sendo que a ativação dos ventiladores de impulso deve ter um atraso em relação a esta de entre 2 a 3 minutos [12].

Quadro 3.4 – Sucessão do lançamento dos meios de controlo de fumo (adaptado de [12])

Ordem do evento	Descrição do evento
1	Paragem do sistema de ventilação no modo de despoluição
2	Ativação dos dispositivos de oclusão de aberturas e registo de ventilação
2 / 3	Ativação dos dispositivos de abertura de vãos necessários ao controlo de fumo
3	Ativação dos dispositivos de abertura de registos de ventilação
4	Ativação dos ventiladores de exaustão
5	Ativação dos ventiladores de insuflação
6	Ativação dos ventiladores de impulso

3.5.4 Mecânica dos Fluidos Computacional (CFD)

3.5.4.1 Introdução

A mecânica dos fluidos computacional (CFD) é das principais ferramentas disponíveis para a concepção e dimensionamento de sistemas de ventilação por impulso. Pode ser usada para modelar o movimento de calor e fumo em geometrias complexas permitindo, quando usada apropriadamente, fornecer aos projetistas e entidades reguladoras confiança de cumprimento dos seus objetivos [13].

Para além da utilização generalizada por fabricantes de equipamentos e projetistas, constitui um método consagrado de concepção e dimensionamento na bibliografia e regulamentação

técnica aplicável. Neste âmbito, refiram-se a norma inglesa BS 7346-7 [13], a norma americana NFPA 92 [11], e por fim a recentemente publicada norma portuguesa NP 4540 [12]. Nesta última, o dimensionamento por CFD coloca-se como uma opção alternativa aos métodos analíticos dispostos, sendo aplicáveis alguns critérios adicionais de conceção em virtude das possibilidades de modelação deste tipo de solução.

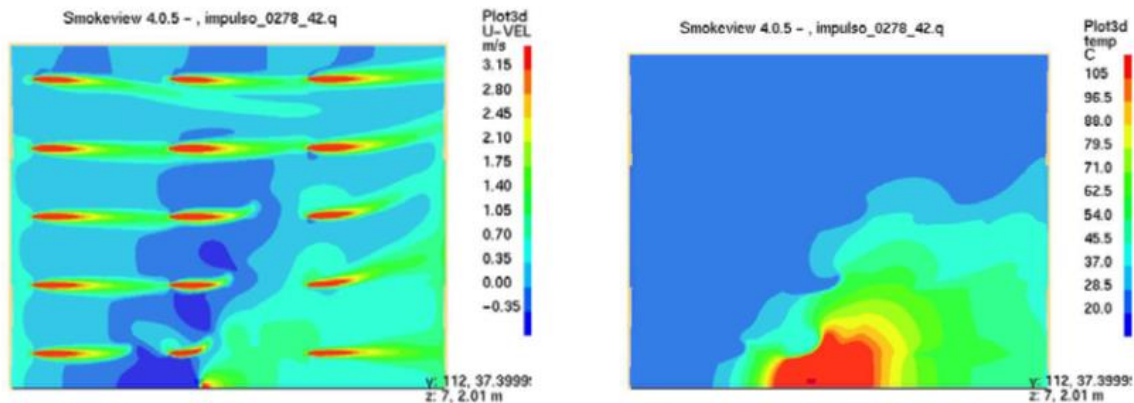


Figura 3.12 – Campos de velocidade e temperatura de modelação CFD de um parque de estacionamento [27]

Decorrendo a conceção por CFD de simulações numéricas sobre modelações matemáticas de fenómenos complexos, é também importante a validação do programa utilizado, o que permite uma maior confiança na interpretação dos seus resultados como uma caracterização adequada de situações reais.

Enunciam-se no pontos seguintes os critérios de modelação e dimensionamento dos sistemas de ventilação por impulso com recurso a CFD, seguindo-se uma caracterização do programa de cálculo utilizado para esse efeito no âmbito do presente trabalho.

3.5.4.2 Fundamentos teóricos

A modelação em CFD assenta num conjunto de equações que definem a conservação de massa, quantidade de movimento e energia para o incêndio e para o espaço envolvente, sendo estas equações resolvidas para fornecer previsões ao longo do tempo de temperatura, velocidade de gases, concentração de gases, entre outros, numa malha tridimensional de volumes de controlo que abrange a geometria do espaço em modelação [28]. Descrevem-se de seguida de forma sucinta as principais equações regentes desta modelação.

A equação de conservação de massa, tomando em consideração o acréscimo de massa proveniente de evaporação ou de outras partículas como *sprays* de sprinklers e combustível, entre outros tipos de pequenos objetos não resolúveis, toma a forma seguinte para o total destas substâncias.

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot \rho \mathbf{u} = \dot{m}_b''' \quad (3.7)$$

ρ – Massa volúmica

\mathbf{u} – Vetor velocidade

\dot{m}_b''' – Taxa de produção de substâncias

Relativamente à equação da conservação de quantidade de movimento, pode ser apresentada da forma seguinte. Esta formulação permite a sua leitura na perspetiva da segunda lei de Newton, i.e. que o movimento dos fluidos é provocado pelo conjunto de forças: gradiente de pressões, forças externas e atrito.

$$\frac{\partial(\rho \mathbf{u})}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \mathbf{u} \mathbf{u}) = -\nabla p + \mathbf{f} + \nabla \cdot \boldsymbol{\tau} \quad (3.8)$$

ρ – Massa volúmica

\mathbf{u} – Vetor velocidade

p – Pressão

\mathbf{f} – Vetor de forças externas, excluindo gravidade

$\boldsymbol{\tau}$ – Tensor das tensões

A conservação da energia pode ser descrita pela equação seguinte, na qual se tomam em consideração as variações de pressão, o calor libertado na combustão, radiação e condução, e dissipação de energia cinética.

$$\frac{\partial(\rho h)}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho h \mathbf{u}) = \frac{Dp}{Dt} + \dot{q}''' - \nabla \cdot \mathbf{q} + \varepsilon \quad (3.9)$$

ρ – Massa volúmica

h – Entalpia

\mathbf{u} – Vetor velocidade

p – Pressão

\dot{q}''' – Taxa de calor por unidade de volume

\mathbf{q} – Vetor de fluxo de calor

ε – Taxa de dissipação de energia cinética

Para fechar o sistema de equações recorre-se à equação de estado, apresentada de seguida.

$$h = \int_{T_0}^T c_p dT \quad (3.10)$$

h – entalpia

c_p – calor específico

A resolução destas equações no âmbito da simulação de situações de incêndio é tipicamente efetuada através de um dos seguintes métodos: simulação numérica direta (*direct numerical simulation* – DNS); equações médias de Reynolds (Reynolds *averaged* Navier Stokes – RANS); simulação de grandes vórtices (*large eddy simulation* – LES).

O programa Fire Dynamics Simulator (FDS) efetua a resolução com recurso ao método LES. A aplicação deste método a incêndios tem como objetivo extrair uma maior fidelidade temporal e espacial a partir das simulações de incêndio realizadas com malhas mais refinadas permitidas por computadores cada vez mais rápidos [29]. A ideia de base do método é a de que os vórtices que representam a maior parte das misturas são suficientemente grandes para serem calculados com razoável precisão a partir das equações da mecânica dos fluidos, e que portanto os vórtices de menor dimensão não englobados no cálculo podem ser desprezáveis.

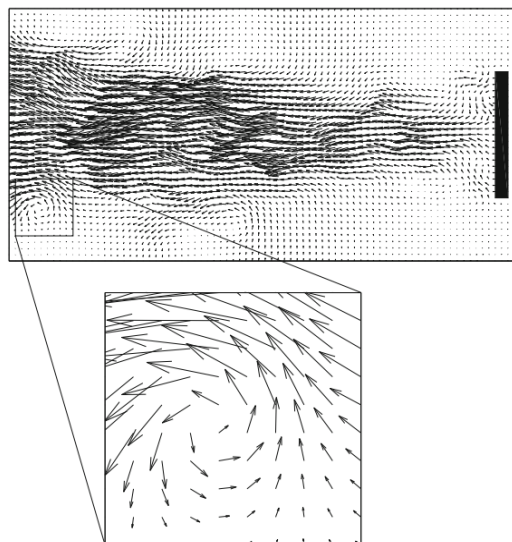


Figura 3.13 – Vórtice de menor dimensão num campo vetorial de velocidades de simulação LES [28]

Relativamente à avaliação de visibilidade, necessária para verificação dos critérios normativos anteriormente enunciados, esta pode ser obtida pela expressão seguinte:

$$S = C/K \quad (3.11)$$

S – Visibilidade (m)

C – Fator de visibilidade (adimensional)

K – Coeficiente de extinção de luz (m^{-1})

O fator de visibilidade tem como finalidade ajustar o cálculo ao tipo de objeto para o qual se estima a visibilidade, sendo aplicáveis valores de $C=3$ para sinais refletoras de luz e $C=8$ para sinais emissores de luz [28].

3.5.4.3 Critérios de dimensionamento com recurso a CFD

Para além das disposições relativas à avaliação analítica dos sistemas de ventilação por impulso, a norma NP 4540 [12] permite o dimensionamento por recurso a CFD, devendo esta metodologia ser tida em conta complementarmente com as restantes disposições.

Ao nível das propriedades do incêndio, como se verá mais adiante, o *software* CFD permite a sua caracterização de modo mais completo do que apenas em termos da sua potência calorífica, como disposto para a metodologia já enunciada. Permite-se desta forma avaliar aspetos como a propagação do fumo e, por conseguinte, condições de visibilidade.

Mantendo-se as potências caloríficas apresentadas anteriormente, deverá considerar-se, segundo a norma NP 4540 [12], um valor de 0.12 para a fração mássica de partículas de fumo em função da massa de combustível, e um valor de 25 MJ/kg para a energia calorífica libertada por unidade de massa. Referem-se ainda os seguintes critérios de dimensionamento:

- A visibilidade na zona não enfumada deve ser superior a 30 m relativamente a sinais emissores de luz;
- A visibilidade mínima que os bombeiros devem ter ao longo de toda a sua penetração no local sinistrado até à proximidade da fonte de calor deve ser de 20 m relativamente a sinais iluminados, devendo os bombeiros poder ver a fonte de calor;
- 30 minutos após a extinção do incêndio, a visibilidade mínima relativamente a sinais não iluminados deve ser de 30 m em qualquer ponto do local sinistrado.

Para além destas especificações regulamentares, refiram-se ainda outras boas práticas complementares na conceção por mecânica dos fluidos computacional [13]:

- Acompanhamento do dimensionamento em CFD por um relatório descrevendo o *software* utilizado, condições de fronteira, geometria, simplificações assumidas, especificação da grelha, análise de sensibilidade efetuada, resultados e os objetivos da modelação;
- Apresentação, no modelo CFD, de temperaturas e propagação do fumo (como medida da visibilidade), mostrando os resultados no plano horizontal a uma altura de 1.7 m relativamente ao pavimento do parque de estacionamento;
- Modelação do parque com detalhe incluindo vigas de teto, pilares e outras obstruções;
- Modelação com base nos piores cenários;
- Modelação com o parque vazio e com o parque cheio.

3.5.4.4 Programa Fire Dynamics Simulator (FDS)

O programa FDS é um *software open source* amplamente difundido e utilizado que permite a modelação de vários fenómenos no âmbito dos incêndios, entre os quais o transporte de calor e produtos de combustão de um incêndio, as transferências de calor por radiação e convecção, a pirólise e a propagação de chamas e desenvolvimento de incêndios.

O modelo resolve numericamente equações de Navier-Stokes apropriadas para escoamentos com baixa velocidade e trocas de calor, com ênfase no transporte de fumo e calor provenientes de incêndios. As derivadas parciais nas equações de conservação de massa, quantidade de movimento e energia são aproximadas por diferenças finitas, sendo a solução atualizada no tempo numa grelha tridimensional rectangular. A radiação térmica é calculada usando uma técnica de volumes finitos na mesma grelha de cálculo do escoamento.

O programa Smokeview é uma aplicação complementar ao FDS, também *open source* e distribuído com este, que tem como finalidade a visualização dos resultados das simulações efetuadas – propagação de fumo, temperaturas, velocidades, visibilidade, entre outros.



Figura 3.14 – Comparação entre fotografia de um incêndio e respetiva simulação numérica em FDS com visualização em Smokeview [28]

O programa FDS não tem uma interface gráfica, sendo executado por linha de comandos. Os dados de entrada de uma dada simulação são carregados na forma de um ficheiro de texto contendo toda a descrição do problema (como a geometria do espaço e a quantificação e temporização de fontes de calor e ventilações) segundo uma sintaxe pré-definida.

Existem várias aplicações complementares ao FDS com diferentes tipos de auxiliares ao projeto, como a importação de modelos geométricos dos espaços a partir de desenho assistido por computador, a definição de propriedades de simulação em interface gráfica ou o lançamento de simulações também em interface gráfica, reduzindo ou eliminando a necessidade de utilização da linha de comandos. No âmbito do presente trabalho efetuou-se a modelação, simulação e avaliação em FDS e Smokeview sem recurso a *software* adicional.

3.6 Controlo de fumo nas vias de evacuação

3.6.1 Considerações prévias

O RT-SCIE [2] impõe o controlo de fumo nas vias verticais de evacuação enclausuradas assim como num conjunto de vias horizontais de evacuação, enunciado anteriormente no ponto 3.2. Relativamente à aplicação dos métodos disponíveis de controlo de fumo neste tipo de vias, estabelecem-se ainda as seguintes condições gerais:

- O controlo de fumo em vias horizontais de evacuação enclausuradas de edifícios com altura superior a 28 m deve ser efetuado por sistemas ativos de arranque automático, podendo a admissão de ar ser efetuada a partir do exterior ou pela câmara corta-fogo;
- O controlo de fumo nas vias horizontais de evacuação pode ser realizado por desenfumagem passiva, por desenfumagem ativa ou por sobrepressão relativamente ao local sinistrado;
- O controlo de fumo em vias verticais de evacuação enclausuradas de edifícios com altura superior a 28 m deve ser efetuado por sistemas de sobrepressão, que devem ser duplicados por sistemas de desenfumagem passiva de emergência com manobra reservada aos bombeiros;
- O controlo de fumo nas vias verticais de evacuação, normalmente caixas de escada, apenas pode ser realizado por desenfumagem passiva ou por sobrepressão relativamente aos espaços adjacentes;
- As escadas que servem pisos no subsolo, desde que a sua saída não seja diretamente no exterior, devem ser pressurizadas;
- Não é permitida a extração forçada de fumo em vias verticais de evacuação.

A definição de soluções de controlo de fumo é em alguns casos efetuada com recurso à “unidade de passagem” (UP), unidade teórica utilizada na avaliação da largura necessária à passagem de pessoas no decurso da evacuação. O cálculo em metros é efetuado da seguinte forma: 1 UP = 0.9 m; 2 UP = 1.4 m; N UP = N x 0.6 m (para N > 2).

Apresentam-se nos dois pontos seguintes os critérios de conceção e dimensionamento provenientes do RT-SCIE [2] para os diferentes métodos de controlo de fumo nas vias de evacuação horizontais e verticais, consoante aplicáveis, para além das condições gerais já abrangidas no presente capítulo. Segue-se uma descrição sucinta da norma europeia

EN 12101-6 [10], relevante para os sistemas de pressão diferencial, e por fim apresentam-se formulações auxiliares para o cálculo de sistemas de pressão diferencial.

3.6.2 Vias horizontais

3.6.2.1 *Desenfumagem passiva*

As aberturas de admissão de ar e evacuação de fumo devem ser alternadamente distribuídas, não devendo o número de aberturas para admissão de ar ser inferior ao número de aberturas para o escape de fumo. A distância máxima, medida segundo o eixo da circulação, entre duas aberturas consecutivas de admissão e evacuação deve ser de 10 m nos percursos em linha recta e de 7 m nos restantes percursos.

Qualquer saída de um local de risco não situada entre uma abertura de admissão e outra de escape deve distar, no máximo, 5 m desta última. O dimensionamento das aberturas deve ser efetuado em função da largura da via, exigindo-se uma área livre mínima de 0.10 m² por unidade de passagem (UP) de largura da via.

Poder-se-ão utilizar vãos de fachada como meios de extração de fumo (considerando-se como área livre a situada acima dos 1.80 m) ou de admissão de ar (considerando-se como área livre a situada abaixo dos 1.80 m) sendo que o seu posicionamento deverá ter em conta a eventual ação do vento no varrimento por efeito das diferenças de pressão.

As aberturas de admissão e evacuação poderão ser ligadas a condutas verticais destinadas a esses fins, não sendo possível que uma mesma conduta sirva mais do que cinco pisos consecutivos.

3.6.2.2 *Desenfumagem ativa*

As bocas para admissão de ar e evacuação de fumo devem ser distribuídas nas mesmas condições de alternância e de distâncias aplicáveis às aberturas para desenfumagem passiva. Também a saída dos locais de risco deverá estar no máximo a 5 m de uma boca de extração, caso não se situe entre uma dessas bocas e uma de insuflação.

A distância máxima, medida segundo o eixo da circulação, entre duas aberturas consecutivas de admissão e extração deve ser de 15 m nos percursos em linha recta e de 10 m nos restantes percursos.

O dimensionamento do sistema será diferente consoante o tipo de admissão de ar:

- Admissão natural – as zonas da circulação compreendidas entre uma abertura para admissão de ar e uma boca de extração de fumo devem ser varridas por um caudal de extração não inferior a 0.5 m³/s por unidade de passagem (UP) da circulação;
- Insuflação mecânica – a velocidade de admissão deve estar compreendida entre 2 a 5 m/s, e o caudal de extração deve ser igual a 1.3 vezes o de admissão.

No caso de serem utilizados vãos de parede para admissão de ar, a respetiva área livre considerada deve situar-se na metade inferior do pé-direito de referência.

Por último, a diferença de pressão entre a via horizontal e os caminhos verticais protegidos a a que dê acesso deve ser inferior a 80 Pa, com todas as portas de comunicação fechadas.

3.6.2.3 Controlo por sobrepressão

O controlo de fumo por sobrepressão relativamente aos locais sinistrados apenas é permitido se nestes houver instalação de desenfumagem própria. Nestas condições deve-se estabelecer entre as vias e os locais sinistrados uma diferença de pressões da ordem dos 20 Pa.

No caso de existir uma câmara corta-fogo entre a via e o local sinistrado, é nessa câmara que deverá ser criada a diferença de pressões, devendo as vias dispor de instalações de desenfumagem. Caso a câmara corta-fogo não possa ser desenfumada por meios passivos, deve ser pressurizada entre 20 e 80 Pa relativamente às vias e locais sinistrados garantindo uma velocidade de passagem do ar não inferior a 0.5 m/s com uma porta aberta.

No caso de galerias fechadas de ligação entre edifícios independentes ou entre corpos do mesmo edifício, devem ser pressurizadas, e as vias que lhes dão acesso devem dispor de instalações de desenfumagem.

3.6.3 Vias verticais

3.6.3.1 Desenfumagem passiva

Nas instalações de desenfumagem passiva de vias verticais, o arejamento deve ser assegurado por aberturas dispostas no topo e na base destas vias. O somatório das áreas livres das aberturas inferiores deve ser, no mínimo, igual à da abertura superior. A abertura superior deve ser permanente, ou estar equipada com um exutor de fumo, e ter uma área livre não inferior a 1 m². Quando equipada com exutor, este pode permanecer normalmente fechado, devendo ser dotado de um dispositivo de comando manual de abertura, instalado no interior da escada ao nível do acesso.

É admissível o recurso à desenfumagem passiva para controlo de fumo em escadas servindo pisos enterrados e com saída direta no exterior, desde que exista uma grelhagem permanente com 1 m² de área útil ao nível da saída, na parte superior da porta ou junto à laje de teto, ou então seja admitido, na parte inferior do piso de cota mais baixa, um caudal de ar de compensação não inferior a 0.8 m³/s, ou exista admissão do ar por meios passivos devidamente dimensionada.

Nos casos em que seja exigida câmara corta-fogo, esta se situe abaixo do nível de referência e exista um único piso enterrado, a câmara pode ser considerada ventilada e desenfumada se existirem condutas de entrada e saída de ar com dimensões iguais ou superiores a 0.1 m².

Admite-se que nas instalações de desenfumagem passiva o arejamento possa ser assegurado exclusivamente por vãos dispostos em todos os patamares intermédios, cujas áreas úteis por patamar sejam superiores a 0.25 m² sendo que os vãos devem estar permanentemente abertos ou possuir abertura simultânea em caso de incêndio, de modo automático ou por comando do piso de acesso, devidamente sinalizado.

3.6.3.2 Controlo por sobrepressão

Nas instalações por sobrepressão, limita-se a introdução de fumo nas vias de evacuação por sobrepressão nas mesmas, de modo a estabelecer uma diferença de pressão, compreendida entre 20 e 80 Pa, entre a via e os espaços adjacentes a esta no piso sinistrado, quando com todas as portas de acesso à escada fechadas. A sobrepressão pode ser obtida quer apenas por insuflação nas vias verticais quer pela sua combinação com controlo de fumo no espaço adjacente a estas. Nos caso em que exista câmara corta-fogo de acesso à escada a sua pressão deve ser intermédia entre a da via vertical e os espaços com que comunica.

Em edifícios de grande altura, deverá efetuar-se insuflação independente nas câmaras corta-fogo, para além da insuflação de ar nas vias verticais. O ar insuflado poderá ser extraído isoladamente dos espaços adjacentes se nestes houver controlo de fumo, ou em alternativa poderá ser passado para os corredores através de grelha dotada de registo corta-fogo de guilhotina calibrado para 70 °C, associado a extração no espaço adjacente do piso sinistrado.

Para os modos de funcionamento referidos, os caudais de insuflação devem permitir uma velocidade de passagem do ar, na porta de acesso à escada quando esta estiver aberta, não inferior a 0.50 m/s, se não existir câmara corta-fogo. Existindo câmara corta-fogo, a velocidade de passagem do ar entre esta e os espaços adjacentes do piso sinistrado não poderá ser inferior a 1 m/s se as duas portas se encontrarem abertas.

No topo da via vertical, deve ser ainda instalado um exutor de fumo de socorro, com 1 m² de área útil, normalmente fechado, dotado de dispositivo de comando manual de abertura instalado no interior da escada ao nível do acesso, de ativação alternativa, cuja abertura deve ser apenas facultada aos delegados de segurança e bombeiros.

No caso de escadas pressurizadas que sirvam pisos enterrados e onde seja exigida compartimentação corta-fogo, servindo espaços da utilização-tipo II, podem possuir sistema que garanta uma renovação horária equivalente a cinco volumes, no mínimo, e uma diferença de pressão entre a câmara e os locais adjacentes que não ultrapasse 80 Pa.

3.6.4 Norma EN 12101-6

O controlo de fumo nas vias de evacuação é, em várias das suas configurações regulamentadas no RT-SCIE [2], efetuado através do estabelecimento de diferenciais de pressão entre espaços, com sobrepressão nos espaços a proteger.

Os sistemas de pressurização (e de despressurização), designadamente os projetados para proteção de meios de evacuação como escadarias, corredores e átrios, bem como para providenciar condições de combate ao incêndio pelos bombeiros, são alvo de normalização europeia pela norma EN 12101-6 [10], a qual abrange critérios e métodos de conceção e dimensionamento, bem como características de equipamentos e procedimentos de teste, instalação e receção dos sistemas.

Nesta norma definem-se seis classes de sistemas, consoante o tipo de edifício, o tipo de ocupação, e os métodos de combate a incêndio e de evacuação. Apresentam-se no Quadro 3.5, de forma simplificada, os critérios de classificação destes sistemas. A aplicação da norma a um sistema tipo específico requer uma prévia avaliação de condições como o tipo de evacuação dos espaços ou o método de combate a incêndio previstos para o edifício.

Quadro 3.5 – Tipos de sistemas de pressão diferencial [30]

Classe (da norma EN 12101-6 [10])	Critério de classificação
A	Para saídas de emergência. Defesa <i>in situ</i> .
B	Para saídas de emergência e combate a incêndios.
C	Para saídas de emergência mediante evacuação simultânea.
D	Para saídas de emergência; Risco de pessoas adormecidas.
E	Para saídas de emergência, com evacuação por fases.
F	Sistemas contra incêndios e saídas de emergência.

Estabelecidas as características base dos sistemas, a norma define as condições a cumprir consoante as combinações de espaços (escadas / átrios / corredores / etc) e respetivas opções de insuflação / extração. Em função do tipo de sistema, definem-se condições acerca das combinações de abertura e fecho de portas, e respetivos valores a cumprir para sobrepressão mínima em portas fechadas e velocidades de passagem de ar por portas abertas.

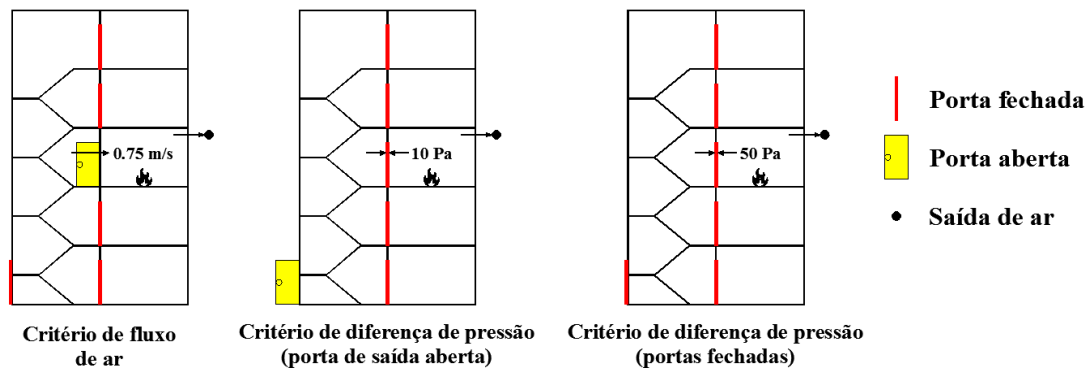


Figura 3.15 – Exemplo de critérios de concepção para um sistema da classe C (adaptado de [10])

Para a generalidade dos sistemas referidos, os critérios de concepção consistem na obtenção, em relação aos espaços enfumados, de sobrepressões mínimas com portas fechadas de 50 Pa nas escadas (na presença de átrios intermédios, a sobrepressão mínima exigida nestes com as portas fechadas é de 45 Pa) e velocidades mínimas de passagem de ar em portas abertas tipicamente de 0.75 m/s (2 m/s no caso de sistemas do tipo B). Em algumas situações de abertura de outras portas nas escadas que não a de acesso ao espaço enfumado, a sobrepressão mínima exigida em relação a este reduz-se a 10 Pa.

Os sistemas de pressurização ou despressurização ficam sujeitos a condições de funcionamento bastante distintas em função da abertura de portas. A fixação de um determinado caudal de insuflação para garantir o varrimento em portas abertas pode constituir uma limitação à abertura das portas de acesso às vias verticais de evacuação quando estas se encontrem fechadas, face à maior diferença de pressões. A força a exercer sobre as portas para a sua abertura deve estar limitada a 100 N.

Deverá existir controlo de sobrepressão excessiva, segundo a norma EN 12101-6 [10]. Este pode ser obtido através de aberturas de alívio de pressão ou pela variação dos caudais de entrada ou saída em função de controlo por sensores de pressão. Neste último modo de controlo, deverá atingir-se 90% dos valores necessários de funcionamento 3 segundos após a alteração de condições (abertura ou fecho de uma porta).

Para um dado cenário de dimensionamento, o procedimento de cálculo da norma EN 12101-6 [10] para um sistema de pressão diferencial compreende os seguintes passos:

1. Identificar todos os percursos de fuga ou saída do ar com as portas fechadas;
2. Determinar áreas efetivas de fuga entre cada espaço adjacente;
3. Calcular caudais de fuga através de aberturas por portas, Q_D ;
4. Calcular caudais de fuga através de aberturas em janelas, Q_{Window} ;
5. Calcular caudais de fuga através de portas de elevadores, Q_{Ld} ;
6. Calcular caudais de fuga através de áreas com sistemas de extração mecânica, Q_{Tm} ;
7. Calcular caudais de fuga através de outros percursos do ar, Q_{other} ;
8. Calcular caudal total requerido de insuflação com portas fechadas, Q_{DC} ;
 - $Q_{DC} = Q_D + Q_{Window} + Q_{Ld} + Q_{Tm} + Q_{other}$;
9. Identificar quais são as portas abertas, tendo em conta a classe do sistema, A a F (irá depender do tipo de evacuação e combate a incêndio previsto para esse sistema);
10. Identificar e avaliar todos os percursos de ar relativos a portas abertas;
11. Calcular o caudal total requerido no espaço enfumado com as portas referidas no ponto 9 abertas (com base nos requerimentos de velocidade nas portas), Q_{DO} ;
 - O cálculo deste caudal tem como objetivo permitir estimar a área de ventilação de saída do espaço enfumado, e por conseguinte efetuar o cálculo do ponto seguinte com informação sobre todos os caminhos de fuga / ventilação;
12. Calcular o caudal total requerido de insuflação com as portas adequadas abertas e com um acréscimo de 15% relativo a perdas em condutas, Q_{SDO} ;
 - A área de ventilação de saída do piso enfumado necessária a este cálculo pode ser estimada com base no caudal do ponto anterior, com o valor $Q_{DO}/2.5$;
13. Calcular o caudal total requerido de insuflação com portas fechadas com um fator de 50% de acréscimo de outras fugas não consideradas, $Q_S = 1.5 \times Q_{DC}$;
14. Considerar como caudal de dimensionamento do ventilador o maior dos caudais obtidos para portas abertas, Q_S , ou portas fechadas, Q_{SDO} ;
15. Utilizar o maior valor de Q_S ou Q_{SDO} para, em sistemas de pressurização, calcular os requisitos de libertação de ar nos espaços não pressurizados com portas abertas, e, em sistemas de despressurização, calcular o ar necessário de compensação a ser admitido no espaço que não é despressurizado;
16. Calcular as áreas de ventilação de alívio no espaço em sobrepressão, ou o caudal de compensação necessário em sistemas de despressurização;

17. Calcular as forças de abertura de portas;
18. Efetuar o dimensionamento final do ventilador com base nos cálculos efetuados com portas abertas e com portas fechadas.

3.6.5 Cálculos para sistemas de pressão diferencial

Apresentam-se de seguida metodologias e fórmulas para o cálculo de parâmetros relacionados com sistemas de pressão diferencial tais como as áreas equivalentes, os caudais de fuga ou a força necessária para abrir uma porta. Esta exposição é feita com base no conteúdo da norma europeia EN 12101-6 [10], não obstante a sua aplicabilidade à conceção de sistemas de pressão diferencial de um modo genérico.

O cálculo dos caudais necessários do sistema para manutenção de um diferencial de pressão requer a estimativa de caudais de fugas através de aberturas, o qual pode ser obtido pela seguinte expressão:

$$Q = C A_e^n \sqrt{\Delta P} \quad (3.12)$$

Q – Caudal de ar (m³/s)

C – coeficiente de vazão (adimensional)

A_e – Área de escoamento equivalente (m²)

ΔP – Diferença de Pressão (Pa)

n – Parâmetro compreendido entre 1 e 2

O coeficiente de vazão pode ser considerado como 0.83 [10]. Relativamente ao parâmetro n , utiliza-se geralmente o valor de 1.6 para fugas de grandeza média [18] ou o valor de 2 para áreas de passagem maiores.

Para um determinado sistema de pressão diferencial, a área de escoamento equivalente depende da combinação de aberturas em paralelo ou em série, ilustradas na Figura 3.16.

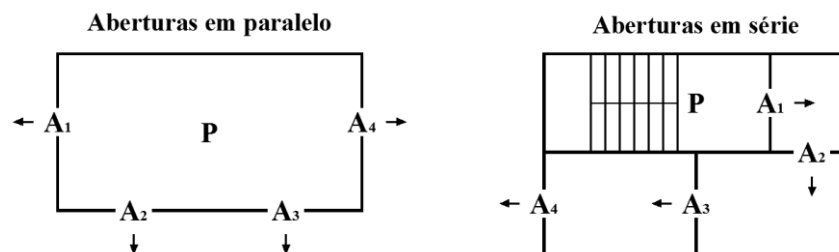


Figura 3.16 – Exemplos de aberturas em paralelo e em série (adaptado de [10])

No caso de aberturas em paralelo, a área equivalente é determinada pela soma das áreas isoladas, como se exemplifica para a figura da esquerda:

$$A_e = A_1 + A_2 + A_3 + A_4 \quad (3.13)$$

Esta formulação pode ser feita genericamente para n aberturas pela seguinte expressão [18]:

$$A_e = \sum_{i=1}^n A_i \quad (3.14)$$

A_e – Área equivalente (m²)

A_i – Área de cada abertura (m²)

No caso de aberturas em série, a área equivalente relaciona-se da seguinte forma exemplificando para a figura da direita:

$$\frac{1}{A_e^2} = \frac{1}{A_1^2} + \frac{1}{A_2^2} + \frac{1}{A_3^2} + \frac{1}{A_4^2} \quad (3.15)$$

Colocando a expressão em função da área equivalente, pode ser feita a formulação genérica para n aberturas através da seguinte expressão [18]:

$$A_e = \frac{\prod_{i=1}^n A_i}{\sum_{i=1}^n \sqrt{A_i^2}} \quad (3.16)$$

A_e – Área equivalente (m²)

A_i – Área de cada abertura (m²)

Na presença de combinações de áreas em série e em paralelo, o procedimento para obter a área equivalente global passa pela obtenção sucessiva de áreas equivalentes através das expressões genéricas referidas, como se ilustra na Figura 3.17.

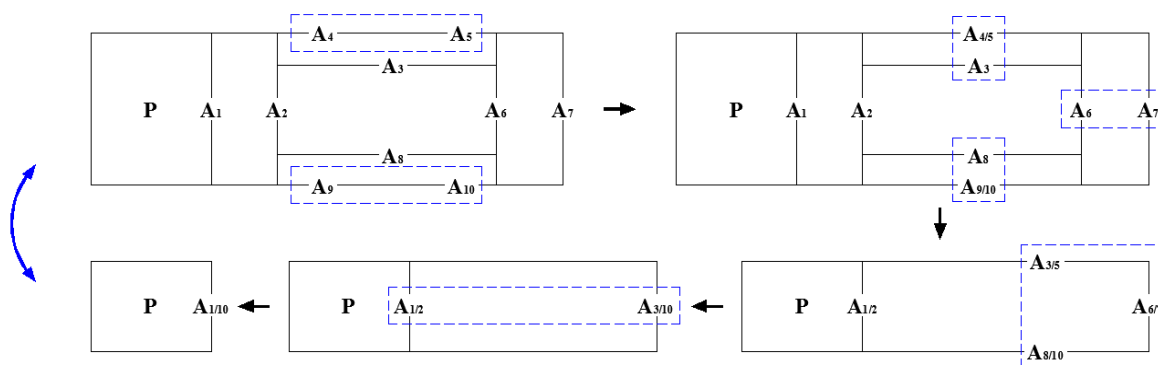


Figura 3.17 – Processamento de sequências de áreas em paralelo e em série (adaptado de [10])

A quantificação de áreas de fuga depende dos tipos de materiais e equipamentos e da qualidade da construção em geral. Indicam-se no Quadro 3.6 os valores referidos na norma EN 12101-6 [10] para a quantificação de áreas de fuga em portas e janelas.

Quadro 3.6 – Áreas de fuga para portas e janelas [10]

Tipo de elemento	Área de fuga (m ²)
Porta de uma folha abrindo para dentro do espaço pressurizado	0.01
Porta de uma folha abrindo para fora do espaço pressurizado	0.02
Porta de folha dupla	0.03
Porta de elevador	0.06
Janela articulada sem isolamento térmico	2.5 x 10 ⁻⁴ por metro linear
Janela articulada com isolamento térmico	3.6 x 10 ⁻⁵ por metro linear
Janela de correr	1.0 x 10 ⁻⁴ por metro linear

Relativamente a elementos de construção, indicam-se no Quadro 3.7 valores aplicáveis ao cálculo de áreas de fuga segundo a mesma norma.

Quadro 3.7 – Rácios de áreas de fuga para elementos de construção [10]

Tipo de elemento	Estanquicidade da construção	Rácio de área de fuga por área de construção
Paredes exteriores (incluindo fendas de construção e fendas em torno de janelas e de portas)	Apertada	0.7 x 10 ⁻⁴
	Média	0.21 x 10 ⁻³
	Folgada	0.42 x 10 ⁻³
	Muito folgada	0.13 x 10 ⁻²
Paredes interiores e de escadarias (incluindo fendas de construção, mas não as fendas em torno de janelas e portas)	Apertada	0.14 x 10 ⁻⁴
	Média	0.11 x 10 ⁻³
	Folgada	0.35 x 10 ⁻³
Paredes de poços de elevadores (incluindo fendas de construção, mas não as fendas em torno de janelas e portas)	Apertada	0.18 x 10 ⁻³
	Média	0.84 x 10 ⁻³
	Folgada	0.18 x 10 ⁻²
Pavimentos (incluindo fendas e furações)	Média	0.52 x 10 ⁻⁴

O cálculo do diferencial de pressão máximo entre os espaços separados por uma porta, em função da força máxima permitida para abrir essa mesma porta, é obtido da seguinte forma:

$$P = \frac{2(F_{max} - F_{dc})(W_d - D)}{D_A \times W_d} \quad (3.17)$$

P – pressão (Pa)

F_{max} – Força máxima de abertura da porta (N)

F_{dc} – Força necessária para abertura da porta sem diferencial de pressão (N)

D_A – Área da porta (m²)

W_d – Largura da porta (m)

D – distância do centro do manípulo da porta à sua extremidade (m)

4 Sistemas fixos de extinção automática de incêndios

4.1 Considerações gerais

Um sistema fixo de extinção é um sistema que compreende uma reserva adequada de agente extintor e um ou mais difusores fixos que o projetam para circunscrição e extinção de um incêndio, por ativação manual ou automática [2].

O agente extintor mais comum nestes sistemas é a água, nos sistemas automáticos de extinção com aspersores – “sprinklers”. A eficácia destes sistemas é devida principalmente ao efeito de arrefecimento, tão mais eficaz quanto mais pulverizada for a água e o incêndio se desenvolver com baixa intensidade (fase inicial), podendo o mecanismo de extinção ser também o de abafamento, por aplicação da água sob a forma de vapor de água ou através de encharcamento [31]. A utilização de outros agentes extintores diferentes da água, necessariamente homologados e adequados, deve ser justificada em função da classe de fogo e do risco envolvido.

Devem ser utilizados sistemas fixos de extinção automática por água através de sprinklers em parques de estacionamento da 2ª categoria de risco ou superior com dois ou mais pisos abaixo do plano de referência, bem como nos locais adjacentes a pátios interiores cuja altura seja superior a 20 m e nos locais considerados de difícil acesso e elevada carga de incêndio.

A utilização de sistemas fixos de extinção automática, por água ou outros agentes, pode ser ainda justificada como medida compensatória no caso de [2]:

- Postos de transformação existentes, cuja localização não esteja conforme com os termos do RT-SCIE [2] e cujos transformadores ou dispositivos de corte utilizem como dielétrico líquidos inflamáveis;
- Aberturas em paredes ou pavimentos resistentes ao fogo, designadamente quando através delas possam passar meios de transporte móveis;
- Locais de fabrico, armazenagem ou manipulação de produtos não reagentes com a água de forma perigosa;
- Depósitos de líquidos ou gases inflamáveis;
- Equipamentos industriais;
- Todos os locais existentes que não possam cumprir integralmente as medidas passivas de segurança estipuladas no RT-SCIE [2].

Nos pontos seguintes faz-se uma caracterização mais aprofundada dos sistemas automáticos de extinção de incêndio com água, bem como dos métodos de conceção e dimensionamento aplicáveis. O conteúdo será obrigatoriamente não exaustivo, dada a grande abrangência regulamentar e normativa desta matéria, de onde se destacam o RT-SCIE [2] e subsequentes notas técnicas, a norma europeia EN 12845 [14] e a norma americana NFPA 13 [15].

4.2 Classes de risco

Para além da classificação de categorias de risco do RT-SCIE [2], interessa no presente contexto efetuar um enquadramento da classificação dos locais de risco nos termos das normas europeia EN 12845 [14] e americana NFPA 13 [15], uma vez que da sua atribuição dependem vários fatores da conceção dos sistemas abrangidos no presente capítulo.

Assim, na norma EN 12845 [14] especificam-se quatro classes de risco:

- LH – risco ligeiro (*light hazard*) – espaços com baixas cargas de incêndio e combustibilidade e sem compartimentos maiores que 126 m² que não possuam uma resistência ao fogo de pelo menos 30 minutos;
- OH (subdividido em quatro grupos OH1, OH2, OH3, OH4) – risco ordinário (*ordinary hazard*) – espaços onde se processam ou manufacturam materiais combustíveis com cargas de incêndio e combustibilidade médias;
- HHP (subdividido em quatro grupos HHP1, HHP2, HHP3, HHP4) – risco grave na produção (*high hazard, process*) – espaços em que os materiais têm elevada carga de incêndio e combustibilidade e são capazes de desenvolver um incêndio intenso ou de rápida propagação;
- HHS (subdividido em quatro grupos HHS1, HHS2, HHS3, HHS4) – risco grave no armazenamento (*high hazard, storage*) – espaços de armazenamentos cuja altura exceda os limites estabelecidos para a classe OH.

Relativamente à norma NFPA 13 [15], apresenta um conjunto de classes de risco semelhante:

- LH – risco ligeiro (*light hazard*) – espaços em que a quantidade e combustibilidade do conteúdo é baixa e se esperam incêndios com baixa libertação de calor;
- OH1 – risco ordinário, grupo 1 (*ordinary hazard, group 1*) – espaços em que a combustibilidade é baixa, a quantidade de materiais combustíveis é moderada, o armazenamento de materiais combustíveis não excede 2.4 m de altura, e são esperados incêndios com libertação de calor média;

- OH2 – risco ordinário, grupo 2 (*ordinary hazard, group 2*) – espaços onde a quantidade e combustibilidade de conteúdos é moderada a alta, onde o armazenamento de materiais combustíveis com libertação de calor média e alta não excedem, respetivamente, os 3.66 m e 2.4 m de altura;
- EH1 – risco grave, grupo 1 (*extra hazard, group 1*) – espaços em que a quantidade e combustibilidade de conteúdos é muito alta, e onde se encontra presente pó, fibras ou outros materiais com probabilidade de incêndios de propagação rápida com grande libertação de calor mas com poucos ou nenhuns líquidos combustíveis ou inflamáveis;
- EH2 – risco grave, grupo 2 (*extra hazard, group 2*) – espaços com quantidades médias a altas de líquidos combustíveis ou inflamáveis, ou espaços com vasto armazenamento de materiais combustíveis.

Refira-se a caracterização específica na norma EN 12845 [14] dos parques de estacionamento e oficinas automóveis como sendo, respetivamente, locais das classes de risco OH2 e OH3 aí definidas. Também no âmbito da norma NFPA 13 [15] se efetua este género de caracterização, atribuindo-se as classes OH1 e OH2 aí definidas a parques de estacionamento e oficinas de reparação, respetivamente. Tendo em conta estas caracterizações, optar-se-á nos pontos seguintes pela apresentação de parâmetros regulamentares destes documentos, quando necessária, relativa apenas às classes de risco ordinário.

4.3 Sistemas de extinção por água através de sprinklers

4.3.1 Tipos de instalações

Descrevem-se no presente ponto os tipos de sistemas automáticos de extinção de incêndio por água. Estes sistemas são normalmente compostos por uma reserva de água e sistema sobressor que alimentam uma rede de tubagens com saída de água nos sprinklers, devendo todas as instalações deste género ser instaladas com um posto de controlo e alarme.

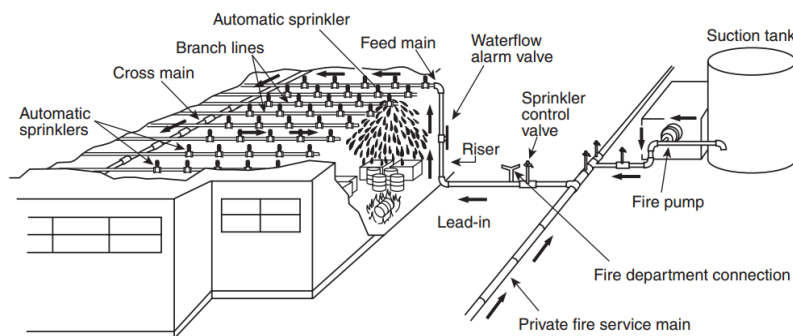


Figura 4.1 – Instalação tipo de um sistema de extinção por sprinklers [32]

Os postos de controlo são conjuntos de equipamento instalados nas tubagens de alimentação das redes de sprinklers, cuja função é tipicamente de identificar a passagem de caudal provocada pela atuação do sistema e fazer soar o alarme. Como principais elementos identificam-se a válvula de alarme (válvula principal instalada em linha no abastecimento da rede de sprinklers), um circuito de alarme com câmara de retardamento (para minimizar falsos alarmes), um pressostato (para identificação e comunicação de alarme) e um alarme de ativação hidráulica (gongo).

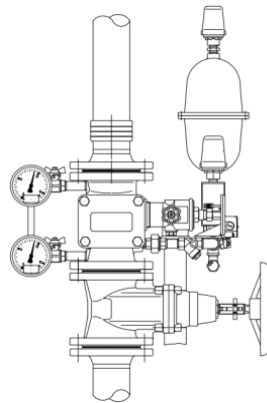


Figura 4.2 – Válvula de alarme [33]

Os sistemas de extinção dividem-se como apresentados no esquema seguinte, em que a principal divisão é entre as instalações *standard* e as instalações de dilúvio. O RT-SCIE [2] permite os sistemas do tipo normal húmido, seco ou misto, tipo pré-ação e tipo dilúvio, podendo ser de aplicação local, cobertura parcial ou total, em função dos riscos e das disposições construtivas dos espaços.

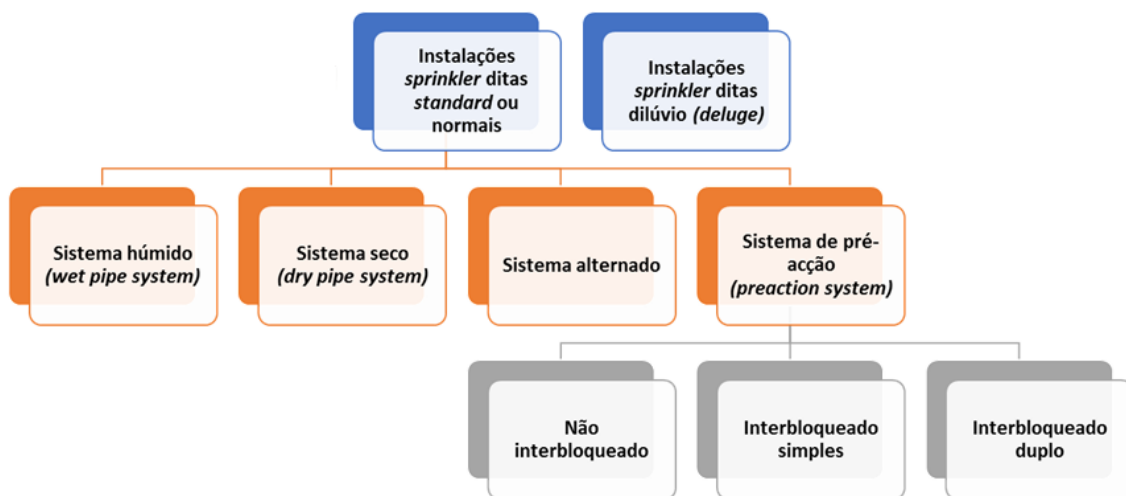


Figura 4.3 – Tipos de instalações de sprinklers

As instalações *standard*, ou normais, são aquelas em que as cabeças pulverizadoras da água estão dotadas de um elemento detetor térmico, permitindo uma atuação em função da evolução do incêndio uma vez que deverão ser ativados apenas os sprinklers na vizinhança do incêndio.

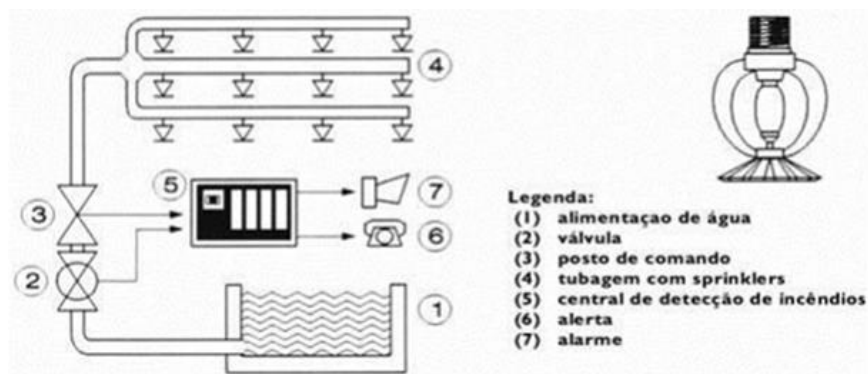


Figura 4.4 – Instalações de sprinklers *standard* [31]

Este tipo de sistema pode por sua vez assumir as seguintes configurações [31]:

- Sistema húmido (*wet pipe system*) – sistemas mais comuns, de sprinklers automáticos instalados numa tubagem contendo água, ligada através de um posto de comando aberto a uma fonte abastecedora de água de modo que esta é descarregada imediatamente quando o(s) sprinkler(s) abre(m) pela ação do calor do incêndio;
- Sistema seco (*dry pipe system*) – sistemas apropriados a condições de temperatura adversas (abaixo da de congelação da água ou acima da de evaporação desta), de sprinklers automáticos instalados em tubagem contendo ar (ou azoto) comprimido de modo que o posto de comando mantém a água a montante de si, só abrindo depois de um ou mais sprinklers atuarem provocando a perda de pressão do ar;
- Sistema alternado – sistemas que podem operar como secos ou húmidos, consoante a época do ano, sendo dotados de abastecimento de ar comprimido e de água;
- Sistema de pré-ação (*preaction system*) – sistemas combinados com sistemas automáticos de deteção de incêndio (SADI). As condutas a jusante do posto de comando dispõem de sprinklers automáticos e estão secas, sendo alimentadas com água quando o SADI deteta um incêndio. As condutas ficam totalmente cheias de água, no entanto, a libertação de água só se dá por atuação do(s) sprinkler(s). Estes sistemas dividem-se ainda em:
 - Sistema não interbloqueado – a alimentação de água à rede ocorre por ordem do SADI sobre o posto de comando ou por atuação de um sprinkler;

- Sistema interbloqueado simples – a alimentação de água à rede ocorre exclusivamente por ordem do SADI sobre o posto de comando;
- Sistema interbloqueado duplo – a alimentação de água à rede ocorre pela conjugação das ordens, sobre o posto de comando, do SADI e da atuação de um sprinkler.

Nas instalações sprinkler do tipo dilúvio (*deluge*), os sprinklers não possuem detetor térmico, estando totalmente abertos em permanência, e a rede encontra-se normalmente vazia com o posto de comando fechado. A ativação do posto de comando ocorre por sistema de deteção (instalado nas mesmas áreas dos sprinklers ou por comando manual à distância), sendo que o abastecimento da rede provoca o funcionamento simultâneo de todos os sprinklers.

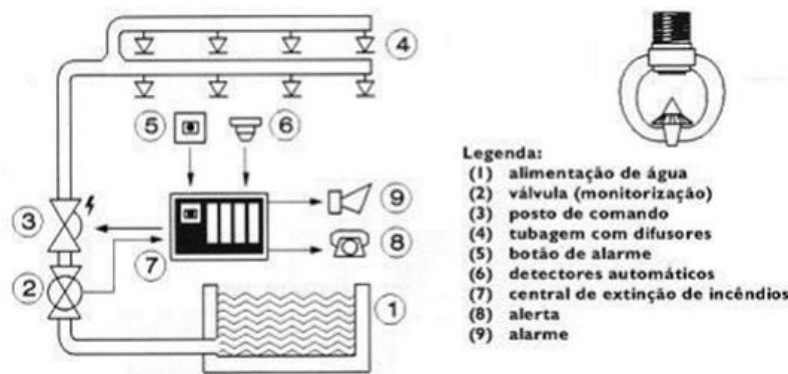


Figura 4.5 – Instalações de sprinklers de dilúvio [31]

As instalações de sprinklers do tipo dilúvio utilizam-se quando se pretende uma descarga simultânea e em toda a área coberta por sprinklers (incêndios com desenvolvimento muito rápido, e.g. combustíveis líquidos).

Os sistemas de cortina de água enquadram-se na categoria de instalações do tipo dilúvio, sendo instalações de sprinklers cuja principal função é a de proteger elementos de construção pela projeção de água de modo a aumentar a sua resistência ao fogo. A cortina de água é obtida pela pulverização de água através de um sistema de difusores abertos de atuação automática (complementado por comando manual a partir do posto de segurança [2]) dispostos em linha com o objetivo de irrigar um elemento de construção e estabelecer assim um ecrã de proteção contra a energia radiada de um incêndio [34].

São instalações apropriadas para a proteção de elementos verticais de construção, nomeadamente elementos de fecho de vãos e outros elementos de compartimentação. A instalação deste tipo de sistemas deve ser disposta de modo elevado em relação aos elementos a proteger de modo a que sejam totalmente irrigados [35].

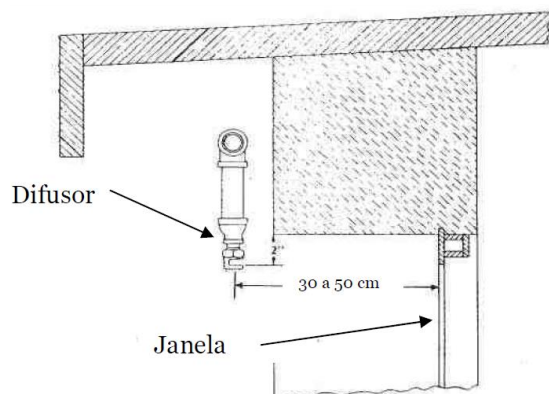


Figura 4.6 – Exemplo de uma aplicação “cortina de água” sobre uma janela de vidro [34]

Segundo o RT-SCIE [2], a aplicação de sistemas de cortina de água não substitui exclusivamente a utilização de elementos resistentes ao fogo (embora a sua utilização possa permitir classes de resistência inferiores para esses elementos), nem os sistemas de água poderão ser utilizados como meio exclusivo de barreira ao fumo.

No âmbito do presente trabalho referem-se as condições de obrigatoriedade de utilização de soluções de cortina de água pelo RT-SCIE [2], segundo a Nota Técnica n.º 18 da ANPC [34]:

- No caso das paredes não tradicionais se forem fachadas cortina envidraçadas ou duplas fachadas de vidro ventiladas, não havendo troços de parede tradicional de 1.10 m ou se estes elementos forem somente da classe de resistência ao fogo EI 30;
- Em silos e parques automáticos (UT II), nos elementos destinados ao fecho de vãos, na ligação entre pisos cobertos ou compartimentos corta-fogo e as escadas protegidas, quando não possuírem a resistência ao fogo padrão E 30.

Este tipo de sistemas poderá ainda ser utilizado, mediante fundamentação perante a ANPC, como medida compensatória na proteção de vãos abertos com elevado risco de incêndio ou nos locais de elevado risco de eclosão de incêndio ou explosão, quando expostos a fogos externos ou calor intenso.

4.3.2 Sprinklers

Efetua-se de seguida uma breve caracterização dos principais tipos de sprinklers e seus componentes. Os sprinklers constituem os elementos finais de projeção de água nos sistemas de extinção automática de incêndios podendo ser, como já referido, equipamentos sempre abertos (sem interrupção do fluxo de água), ou equipados com dispositivos de deteção que atuam na presença de uma determinada temperatura para permitir a passagem de água, sendo tipicamente constituídos pelos elementos que se ilustram na Figura 4.7.

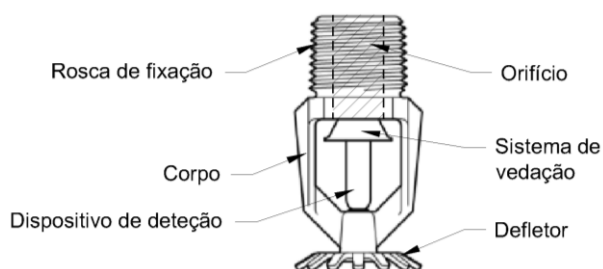


Figura 4.7 – Elementos de um sprinkler (adaptado de [33])

Relativamente aos sprinklers equipados com elementos de deteção da temperatura, esta pode ser feita pelos seguintes tipos de fusíveis [31]:

- Fusível químico (ampola) – a atuação dá-se pela explosão de uma ampola de vidro devido à dilatação de um líquido no seu interior;
- Fusível mecânico (termofusível) – a atuação dá-se por fusão de uma liga metálica.

Apresentam-se no Quadro 4.1 as classes de temperatura de atuação de sprinklers. Salvo justificação apropriada, são normalmente calibrados para 68 °C, de acordo com o estabelecido pelo RT-SCIE [2].

Quadro 4.1 – Temperaturas de atuação de sprinklers [31]

Ampola		Termofusível	
Temperatura	Cor (*)	Temperatura	Cor (**)
57 °C	Laranja	-	-
68 °C	Vermelho	68 °C a 74 °C	Sem cor
79 °C	Amarelo	-	-
93 °C	Verde	93 °C a 100 °C	Branco
141 °C	Azul	141 °C	Azul
182 °C	Roxo	182 °C	Amarelo
204 a 260 °C	Preto	227 °C	Vermelho

(*) Cor do líquido contido na ampola

(**) Marca feita no sprinkler

Relativamente à posição de montagem, podem definir-se as seguintes [31]:

- Vertical (*upright*) – montagem com o defletor para cima;
- Pendente (*pendent*) – montagem com o defletor para baixo;
- De parede (*sidewall*) – montagem nos tetos junto a paredes, ou na parede (horizontal);
- Convencional (*conventional*) – montagem vertical ou pendente, sendo a projeção de água no defletor efetuada em ambos os sentidos (com proporção de 40% a 60%).



Figura 4.8 – Exemplos de tipos de montagem de sprinklers (adaptado de [32])

Podem também ser parcialmente embebidos em tetos falsos e rematados com uma roseta, ou totalmente recolhidos e, neste caso, dotados de um tampão que salta com o calor e de um extensor para fazer sair o sprinkler abaixo do teto falso [31].

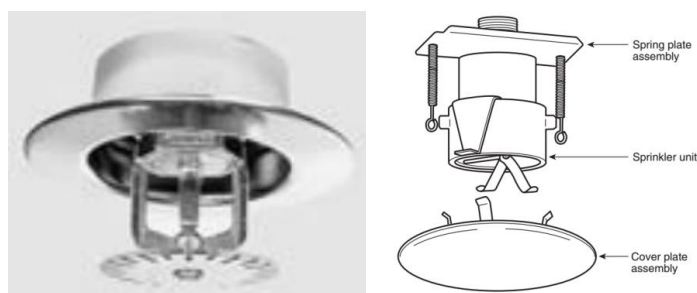


Figura 4.9 – Sprinklers parcialmente embebidos em teto falso (à esquerda) e totalmente recolhidos (à direita) [32]

Os sprinklers podem ainda ser diferenciados em função do diâmetro dos seus orifícios, os quais devem ser seleccionados atendendo à utilização tipo prevista [35]. Os diâmetros geralmente utilizados são os de 10 mm (3/8”), 15 mm (1/2”) e 20 mm (3/4”).

Quanto aos sistemas de cortina de água, a principal diferença reside na pulverização de forma assimétrica para projecção no elemento a proteger, normalmente num plano de 180° [34].

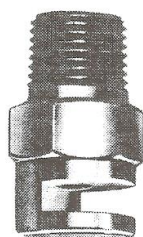


Figura 4.10 – Exemplo de um difusor de sistema de cortina de água [34]

4.4 Reserva de água e sistemas hidropressores

4.4.1 Considerações prévias

Nos termos do RT-SCIE [2], as redes de extinção automática deverão ser alimentadas através de depósito privativo do serviço de incêndios e central de bombagem, não se concebendo a possibilidade de alimentação direta pela rede pública.

A capacidade do reservatório de sistemas privativos de serviço a incêndio e a potência do grupo hidropressor deverão ser calculados com base no caudal máximo exigível para a operação simultânea dos sistemas de extinção manuais e automáticos, durante o período de tempo adequado à categoria de risco da utilização-tipo, em conformidade com as normas portuguesas ou, na sua falta, de acordo com as especificações técnicas da ANPC [36].

Nos pontos seguintes enquadram-se de modo sucinto os reservatórios e centrais de bombagem. Uma vez que estes podem servir outros meios de intervenção para além das redes de sprinklers, designadamente dos que utilizam como elemento extintor a água, efetua-se por fim uma caracterização destes meios, em particular no que se refere às suas necessidades de fornecimento de água.

4.4.2 Reservatório de Água para Serviço de Incêndio (RASI)

Uma fonte abastecedora de água do serviço de incêndios é a componente base de qualquer sistema de combate a incêndios que funcione com recurso àquele agente extintor. Para tal um determinado manancial de água deve garantir de forma contínua [36]:

- A alimentação daquele fluido por um tempo definido em função do risco;
- O caudal e a pressão adequados ao sistema considerando o número de dispositivos, bocas de incêndio, sprinklers e cortinas de água, passíveis de abertura simultânea;
- O funcionamento automático do sistema;
- O fluxo da água sem matérias sólidas em suspensão;
- O controlo pelo proprietário da instalação servida;
- Os avisos automáticos de perigo por falta de caudal ou pressão.

Quanto à sua localização relativamente ao solo os reservatórios de água para serviço de incêndio (RASI) podem ser elevados, de superfície, enterrados ou semi-enterrados. Podem abastecer directamente os meios que servem (funcionando por gravidade ou pressurizados), ou servir como fonte de alimentação a um grupo sobrepessor.

A sua construção pode ser feita com recurso a diversos materiais, desde que os respetivos cálculos de resistência e estabilidade contemplem as solicitações regulamentares estabelecidas para as diversas regiões do território português, sendo os mais comuns em betão armado ou pré-esforçado e os metálicos.

As disposições relativas a reservatórios são dadas pela Nota Técnica n.º 14 da ANPC, estabelecida pelo Despacho n.º 13042/2013 [36], relativa a “Fontes Abastecedoras de Água para o Serviço de Incêndio (SI)”.

4.4.3 Centrais de Bombagem para o Serviço de Incêndio (CBSI)

Qualquer central de bombagem do serviço de incêndios (CBSI) exige alimentação de água, segundo o estabelecido no RT-SCIE [2], com recurso a uma fonte do tipo reservatório [37].

A CBSI é para uso exclusivo do socorro e deverá conter todos os equipamentos necessários ao seu funcionamento, controlo e sinalização, designadamente: bomba(s) principal(is) e bomba de reserva, bomba equilibradora de pressão (jockey), quadros elétricos, válvulas de seccionamento, retenção e de alívio de pressão, manómetros, pressostatos, caudalímetro e coletores [37].

Os equipamentos a instalar deverão ser construídos, instalados e mantidos em conformidade com a EN 12845 [14] ou NFPA 20 [17], sem prejuízo do disposto nas restantes disposições constantes na Nota Técnica n.º 15 da ANPC, estabelecida pelo Despacho 14903/2013 [37], relativa a “Centrais de Bombagem para o Serviço de Incêndio”.

Classificam-se os compartimentos destinados à instalação de centrais de bombagem do serviço de incêndios como locais de risco F, devendo, como tal, ser devidamente isolados e protegidos, e possuir as seguintes características [37]:

- Ser exclusivos para a proteção contra incêndio, admitindo-se que possam conter centrais de bombagem para outras instalações hidráulicas do edifício;
- Se alimentar um sistema automático de extinção por sprinklers deve possuir proteção contra incêndios através desse sistema de sprinklers;
- Possuir temperatura ambiente superior a 4°C, quando constituído por eletrobomba, e superior a 10°C, quando existirem motobombas;
- Possuir ventilação adequada, de acordo com as recomendações do fabricante;
- Possuir drenagem de águas residuais, nos termos do RT-SCIE [2].

4.4.4 Outros sistemas de combate a incêndio (meios de intervenção)

4.4.4.1 Considerações gerais

Os sistemas de reserva (RASI) e elevação (CBSI) de água para combate a incêndio podem efetuar o abastecimento a mais do que um tipo de sistema de combate a incêndio,

circunstância que é prevista nos respectivos métodos de dimensionamento de modo a que o fornecimento de água em quantidade e qualidade seja assegurado a todas as redes dependentes do serviço desses RASI e CBSI.

Os meios de intervenção de um edifício correspondem aos equipamentos e instalações disponíveis para efetuar o combate aos incêndios, com vista à sua extinção e a providenciar condições de segurança para a evacuação dos edifícios. Na Figura 4.11 apresentam-se de um modo geral os principais meios de intervenção, sendo estes agrupados em meios de primeira ou de segunda intervenção.

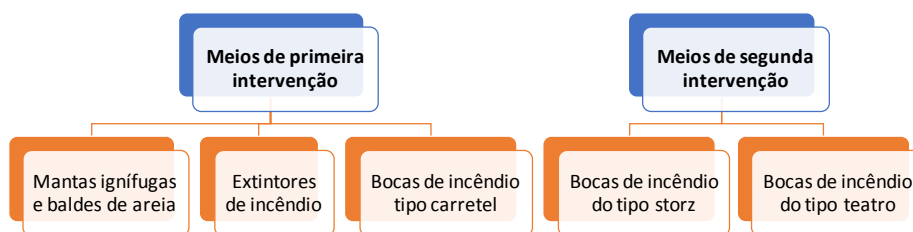


Figura 4.11 – Meios de intervenção para extinção de incêndios

A primeira intervenção é a efetuada pelos ocupantes dos edifícios após a deteção do incêndio, com recurso aos equipamentos disponíveis para sua utilização imediata. Estes podem ser portáteis ou móveis – extintores, baldes de areia e mantas ignífugas, entre outros – ou ser compostos por redes de canalizações servindo bocas de incêndio do tipo carretel.

A segunda intervenção é a que decorre da ativação do alarme, sendo levada a cabo pelos bombeiros ou outras equipas qualificadas para o efeito. É efetuada com recurso a redes de canalizações exclusivamente destinadas ao combate a incêndio.

Em termos dos meios de intervenção que necessitam de abastecimento de água, para além dos já referidos sistemas fixos de extinção automática (sprinklers convencionais ou cortina de água), importa fazer uma caracterização dos sistemas que recorrem a bocas de incêndio, quer para primeira intervenção quer para segunda intervenção, uma vez que a sua alimentação deverá ser considerada na conceção do reservatório de água e da central de bombagem.

4.4.4.2 Redes húmidas e secas

As redes (ou colunas) de combate a incêndio consistem em sistemas de alimentação de dispositivos de combate, nomeadamente bocas de incêndio do tipo carretel (primeira intervenção), do tipo storz e do tipo teatro (segunda intervenção). Quando equipadas exclusivamente com bocas de incêndio armadas (acopladas em permanência a mangueira e respetiva agulheta), as redes designam-se por redes de incêndio armadas (RIA).



Figura 4.12 – Bocas de incêndio: armada tipo carretel, interior do tipo storz e armada do tipo teatro [38]

Enquanto as redes secas são unicamente abastecidas por meios externos como auto-tanques de combate a incêndio, estando vazias nas restantes condições, as redes húmidas encontram-se permanentemente em carga para serviço das bocas de incêndio (devendo no entanto incorporar a possibilidade de alimentação através de tubo seco).

No geral, as redes húmidas devem ser abastecidas por depósito privativo e central de bombagem. No caso particular das RIA do tipo carretel, poderão em alternativa ser abastecidas através da rede pública para edifícios da 1ª ou 2ª categoria de risco.

Em termos de aplicabilidade a edifícios da UT II nos termos do RT-SCIE [2], são obrigatórias redes húmidas para a 3ª e 4ª categorias de risco, enquanto para edifícios da 2ª categoria a obrigatoriedade é a de existência de uma rede seca ou húmida. A presença de RIA com dispositivos do tipo carretel em edifícios da UT II é obrigatória quando sejam da 2ª categoria de risco e superior, e ainda para a 1ª categoria de risco com área superior a 500 m².

A alimentação à rede de combate a incêndio deverá garantir de acordo com o RT-SCIE [2] e a Nota Técnica da ANPC n.º 13 [39] o cumprimento das seguintes condições de pressão e caudal nos dispositivos mais desfavoráveis hidráulicamente:

- Em bocas de incêndio armadas do tipo carretel:
 - Caudal instantâneo mínimo de 1.5 l/s por carretel;
 - Pressão dinâmica mínima de 250 kPa;
- Em bocas de incêndio tipo storz ou armadas do tipo teatro:
 - Caudal instantâneo mínimo de 4.0 l/s por boca de incêndio;
 - Pressão dinâmica mínima de 350 kPa.

Estes critérios deverão ser cumpridos considerando em funcionamento simultâneo metade das bocas de incêndio, num máximo de quatro.

4.5 Critérios de concepção de redes de sprinklers

O traçado das redes de sprinklers pode ser delineado de várias formas, tipicamente em malha aberta mas podendo esta ser fechada. Os troços de alimentação direta dos sprinklers denominam-se de sub-ramais, sendo o troço comum a estes denominado de ramal.

Consoante os sprinklers sejam distribuídos para ambos os lados do ramal ou apenas um, os sistemas dizem-se de disposição do tipo central ou lateral, respetivamente. No que se refere à alimentação dos ramais, os sistemas dizem-se de alimentação central caso esta seja feita a meio dos ramais, ou de alimentação terminal caso seja feita na sua extremidade.

Ilustra-se na Figura 4.13 esta denominação em duas instalações de sprinklers: alimentação central com disposição lateral e alimentação terminal com disposição central.

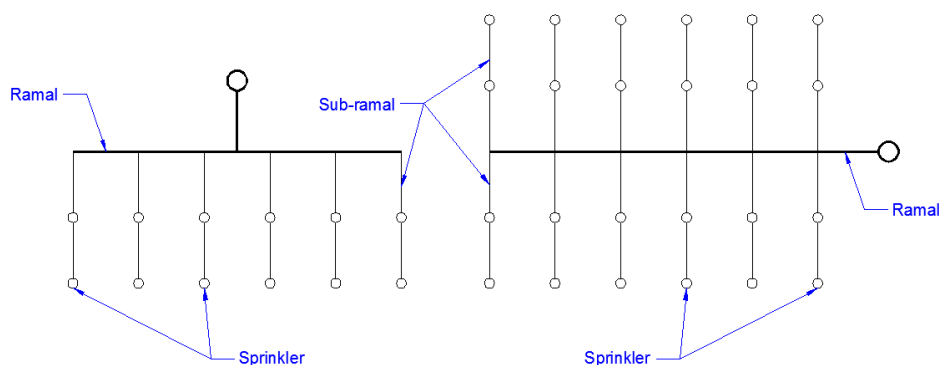


Figura 4.13 –Implantação de elementos de sistemas de sprinklers (adaptado de [18])

Referem-se da norma NFPA 13 [15] alguns princípios para cumprimento dos requisitos aí definidos de espaçamento, localização e posição dos sprinklers:

- Devem ser colocados de modo a não se exceder a sua área máxima de proteção;
- Devem ser posicionados e localizados de modo a providenciar desempenho satisfatório relativamente ao tempo de ativação e distribuição;
- Os afastamentos entre sprinklers superiores aos máximos especificados poderão ser permitidos desde que se demonstre, por testes ou cálculos, sensibilidade e performance comparável com a exigida por aplicação dos espaçamentos máximos especificados.

A área de proteção de um sprinkler é determinada pela expressão seguinte.

$$A_S = S \times D \quad (4.1)$$

A_S – Área de proteção de um sprinkler (m²)

S – Distância entre sprinklers (m)

D – Distância a elementos estruturais (m)

A determinação dos parâmetros S e D para um sprinkler é efetuada da seguinte forma [15]:

- S – distância medida ao longo do sub-ramal:
 - Determinar a distância entre sprinklers (ou até à parede ou obstrução caso se trate do último sprinkler no sub-ramal) a montante e a jusante;
 - Atribuir a S o maior dos dois valores: o dobro da distância até à parede ou obstrução; ou a distância ao sprinkler seguinte;
- D – distância medida perpendicularmente ao sub-ramal:
 - Determinar a distância perpendicular ao sprinkler do sub-ramal adjacente (ou até à parede ou obstrução caso se trate do último sub-ramal), de cada lado do sub-ramal onde esteja instalado o sprinkler;
 - Atribuir a D o maior dos dois valores: o dobro da distância à parede ou obstrução; ou a distância ao sprinkler seguinte.

Os afastamentos máximos a considerar no traçado das redes de sprinklers podem ser especificados pela norma EN 12845 [14], cujos valores para grupos de risco ordinário (OH) se apresentam no Quadro 4.2.

Quadro 4.2 – Valores de S e D para classe de risco ordinário da EN 12845 [14]

Tipo de espaçamento	S (m)	D (m)	S x D (m ²)
Normal	4.0	4.0	12
Intercalado	4.6	4.0	12

Ilustra-se na Figura 4.14 o uso destes parâmetros na implantação da rede de sprinklers, para instalações de espaçamento normal e instalações de espaçamento intercalado.

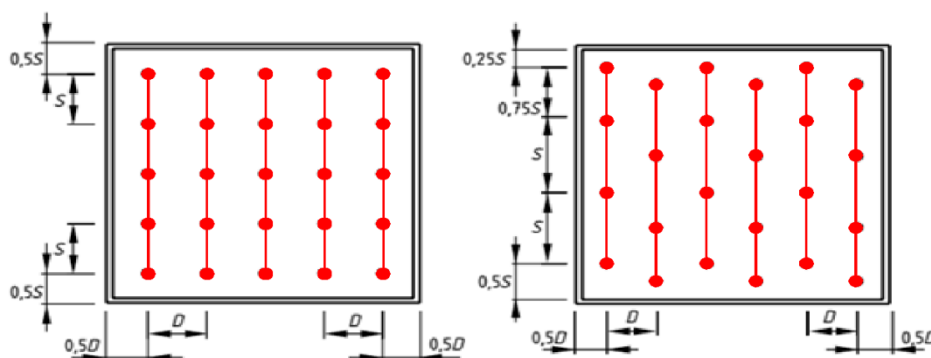


Figura 4.14 – Distâncias máximas em instalações de sprinklers (adaptado de [14])

Estabelece-se na NFPA 13 [15] uma área de cobertura máxima de 12.1 m² por sprinkler para riscos ordinários, sendo que na EN 12845 [14] este valor é de 12 m². A distância entre sprinklers deverá ser limitada inferiormente para prevenir que a operação destes atinja com água sprinklers adjacentes, dificultando ou impedindo a sua ativação.

Segundo a Nota Técnica da ANPC n.º 16 [31], o número máximo de sprinklers por cada posto de comando, em instalações de risco ordinário, é de 1000. A EN 12845 [14] define para a mesma classe de risco uma área máxima de cobertura de um posto de controlo de 12000 m². Para as mesmas condições, essa área máxima de cobertura pela NFPA 13 [15] é de 4831 m².

O posicionamento dos defletores dos sprinklers deve ser selecionado com base no tipo de sprinkler e no tipo de construção. Os defletores devem ser alinhados paralelamente a tetos, a telhados ou à pendente de escadas [15].

A escolha do tipo de sprinkler tem a ver com regulamentos ou normas nacionais e, na falta destas, internacionais, e depende do nível de risco dos espaços a proteger, das condições ambientais, das características dos elementos de construção, produtos fabricados e armazenados, entre outros [31].

A norma EN 12845 [14] enquadra dois métodos distintos de estabelecimento da rede de abastecimento aos sprinklers: redes pré-calculadas, em que os diâmetros são atribuídos por aplicação de tabelas; redes totalmente calculadas, em que todos os diâmetros são obtidos por dimensionamento hidráulico. Apresentam-se de seguida os parâmetros de dimensionamento de redes pré-calculadas, para troços de sub-ramais e de distribuição (ramais).

Quadro 4.3 – Diâmetros de troços de sub-ramais para sistemas de risco ordinário [14]

Sub-ramais		Disposição	Diâmetro (mm)	Número máximo de sprinklers
Em extremidade de jusante de ramal	Últimos 2 sub-ramais	2 saídas em montagem lateral	25	1
			32	2
	Últimos 3 sub-ramais	3 saídas em montagem lateral	25	2
			32	3
	Último sub-ramal	Restantes disposições	25	2
			32	3
40			4	
			50	9
Restantes sub-ramais		Todas	25	3
			32	4
			40	6
			50	9

Quadro 4.4 – Diâmetros de troços de distribuição (ramais) para sistemas de risco ordinário [14]

Troços de distribuição	Disposição	Diâmetro (mm)	Número máximo de sprinklers
Nas extremidades da instalação	2 saídas em montagem lateral	32	2
		40	4
		50	8
		65	16
	Restantes disposições	32	3
		40	6
		50	9
		65	18
Entre pontos de controlo e válvula de controlo	Todas	A dimensionar	

Os pontos de controlo referidos no Quadro 4.4 correspondem aos pontos da rede a montante dos quais o cálculo de diâmetros é efetuado por dimensionamento hidráulico, ao invés da sua determinação por tabelas como acontece para jusante dos mesmos.

Os pontos de controlo deverão constituir a ligação entre tubagens de distribuição horizontal e: um sub-ramal, ou uma prumada conectando sub-ramais a troncos de distribuição, ou uma tubagem abastecendo um único sprinkler [14].

4.6 Dimensionamento

4.6.1 Redes de sprinklers

O caudal libertado por um sprinkler pode ser calculado pela seguinte fórmula:

$$Q = K\sqrt{P} \quad (4.2)$$

Q – Caudal (l/min)

K – Fator de escoamento

P – Pressão (bar)

A cada diâmetro de um sprinkler corresponde um fator K , que relaciona o caudal expelido com a pressão, sendo os seus valores fornecidos pelos respetivos fabricantes, tendo em conta uma dada tolerância. Apresentam-se no Quadro 4.5 os diâmetros e fatores K relativos às utilizações-tipo do RT-SCIE [2].

Quadro 4.5 – Diâmetro e fator K dos sprinklers [35]

Utilizações-tipo	Diâmetro (mm)	Fator K
II, III, VI, VII e VIII	15	$80 \pm 5\%$
XII	20	$115 \pm 5\%$

No caso de parques de estacionamento (UT II) o diâmetro preconizado pela norma EN 12845 [14] é também o de 15 mm, sendo que a norma NFPA 13 [15] compreende uma lista mais alargada dos tipos de orifícios e respetivos fatores K [31].

Para a UT II o RT-SCIE [2] define as condições de operação apresentadas no Quadro 4.6. A área de operação considerada deverá ser a hidraulicamente mais desfavorável.

Quadro 4.6 – Critérios de dimensionamento de sistemas fixos de extinção automática por água para a utilização-tipo II “Estacionamentos” [2]

Densidade de descarga (L/min/m ²)	Área de operação (m ²)	Número de sprinklers em funcionamento simultâneo	Calibre dos sprinklers (mm)	Tempo de descarga (min)
5	144	12	15	60

O número de sprinklers a considerar em cada sub-ramal para perfazer o número de sprinklers considerados em funcionamento simultâneo é determinado pela fórmula seguinte [35].

$$N = 1.2 \frac{\sqrt{A_0}}{E_S} \quad (4.3)$$

N – Número máximo de sprinklers no sub-ramal

A_0 – Área de operação (m²)

E_S – Espaçamento entre sprinklers no sub-ramal (m)

Relativamente a sistemas de cortina de água, o dimensionamento é efetuado para um caudal de 10 l/min por m² da superfície do vão a irrigar. As necessidades de água destes sistemas deverão ser consideradas no cálculo das reservas de água e dos sistemas de sobrepressão [34].

As tubagens deverão ser dimensionadas para, segundo a norma EN 12845 [14]:

- Caudal de 1000 l/min;
- Perda de carga máxima admissível até aos pontos de controlo de 0.5 bar;
- Velocidade máxima admissível em qualquer válvula, dispositivo de monitorização ou filtro, de 6.0 m/s;
- Velocidade máxima admissível em qualquer secção da tubagem de 10.0 m/s.

A norma EN 12845 [14] requer que as perdas de carga de percurso determinadas no cálculo do sistema não sejam inferiores às obtidas pela aplicação da fórmula de Hazen-Williams, fórmula também adotada pela norma americana NFPA 13 [15], e que se apresenta de seguida.

$$J = \frac{6.05 \cdot Q^{1.85}}{D^{4.87} \cdot C^{1.85}} 10^5 \quad (4.4)$$

J – Perda de carga de percurso (bar/m)

Q – Caudal (l/min)

D – Diâmetro (mm)

C – Coeficiente de Hazen-Williams

O coeficiente de Hazen-Williams é escolhido em função do material e condições da tubagem, encontrando-se geralmente entre 100 a 150 (por exemplo, 120 para aço galvanizado).

4.6.2 Reservatório de água

Os sistemas de sprinklers deverão ser alimentados através de depósito privativo do serviço de incêndios e central de bombagem, devendo a capacidade máxima do depósito ser função das condições de dimensionamento acima indicadas, acrescentada à capacidade necessária para a

rede de incêndios armada [2]. Exceptuam-se desta condição as UT II da 2ª categoria de risco, quando exclusiva ou quando complementar de outra utilização-tipo não obrigada, em função da sua categoria de risco, a depósito privativo do serviço de incêndios.

A capacidade dos RASI deve ser calculada tendo em consideração o número de dispositivos em funcionamento e a autonomia requerida para os mesmos em função da categoria de risco da utilização-tipo [36]. Para o cálculo da capacidade do reservatório, a altura de referência deve ser medida entre o tubo ladrão e a placa anti-vórtice [36].

A fórmula de cálculo é a seguinte:

$$C = (Q + Q_H + Q_S + Q_C) \cdot T \quad (4.5)$$

C – Capacidade do depósito (l)

Q – Q_1 (se apenas existirem redes de 1.ª intervenção) ou Q_2 (se também existirem redes de 2.ª intervenção):

Q_1 – Caudal de alimentação das redes de 1ª intervenção (l/min)

Q_2 – Caudal de alimentação das redes de 2ª intervenção (l/min)

Q_H – Caudal de alimentação dos hidrantes, se não forem alimentados pela rede pública (l/min)

Q_S – Caudal de alimentação das redes de sprinklers (l/min)

Q_C – Caudal de alimentação das cortinas de água (l/min)

T – Tempo de autonomia do sistema (min)

O tempo de autonomia varia de acordo com a categoria de risco, conforme se resume no Quadro 4.7.

Quadro 4.7 – Tempos de autonomia do sistema [36]

Categoria de risco	Tempo de autonomia (min)
1ª e 2ª	60
3ª	90
4ª	120

Os caudais de alimentação das redes de incêndio são calculados pelas seguintes expressões:

$$Q_1 = n_1 \times 1.5 \text{ l/s} \times 60 \quad (4.6)$$

$$Q_2 = n_2 \times 4 \text{ l/s} \times 60 \quad (4.7)$$

$$Q_H = n_H \times 20 \text{ l/s} \times 60 \quad (4.8)$$

$$Q_S = q_S \times A_S \quad (4.9)$$

$$Q_C = A_C \times 10 \text{ l/min.m}^2 \quad (4.10)$$

n_1 – Número de carretéis a alimentar na rede de 1ª intervenção, considerando metade deles em funcionamento num máximo de quatro

n_2 – Número de bocas de incêndio a alimentar na rede de 2ª intervenção, considerando metade delas em funcionamento num máximo de quatro

n_H – Número de hidrantes a alimentar na rede de hidrantes, num máximo de dois

q_S – Densidade de descarga do sistema de sprinklers, variando com o local de risco a proteger (l/min.m²)

A_S – Área de operação do sprinklers, variando com o local de risco a proteger (m²)

A_C – Somatório das áreas dos vãos a irrigar pelas cortinas de água, apenas no compartimento de fogo mais gravoso (m²)

4.6.3 Bombas principais

A determinação do caudal nominal das bombas faz-se pela expressão seguinte [37], cujas parcelas de caudais (caudais de alimentação da rede de incêndio) são determinadas pelas expressões referidas no ponto anterior para o cálculo do volume de reserva.

$$Q_n = Q + Q_H + Q_S + Q_C \quad (4.11)$$

Q_n – Caudal nominal (l/min)

Para além do ponto de trabalho nominal (caudal e pressão requeridos para o abastecimento simultâneo das instalações servidas pela CBSI) dimensionado para o projeto, a bomba tem de ser capaz de debitar no mínimo 140% do caudal nominal a uma pressão não inferior a 70% da pressão nominal [37]. A pressão não deverá exceder os 1200 kPa, devendo-se prever uma válvula de escape calibrada para esse valor [37].

As bombas devem ser acionadas por motor elétrico ou diesel, que seja capaz de fornecer no mínimo a potência requerida para cumprir com as condições seguintes [37]:

- Para bombas com curva característica de potência não-sobrecarregada, a potência máxima requerida no pico da curva de potência;
- Para bombas com curva característica de potência crescente, a potência máxima para qualquer das condições de carga da bomba desde o caudal zero até ao caudal correspondente a um NPSH (*net positive suction head* – pressão absoluta disponível na aspiração da bomba) requerido da bomba igual a 16 m ou altura estática máxima de aspiração mais 11 m, considerando o valor maior.

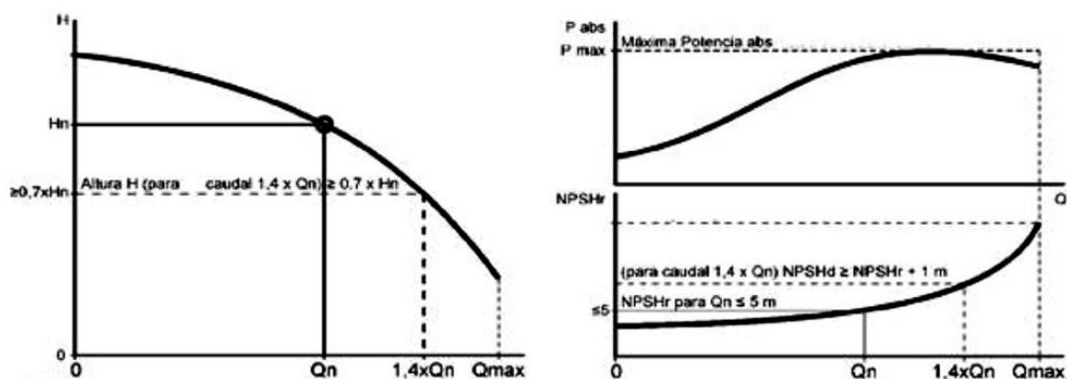


Figura 4.15 – Pontos notáveis das curvas de caudal, potência e NPSH na NT 15 [37]

Sempre que exista mais do que uma bomba principal, as bombas devem poder funcionar em paralelo em qualquer ponto de caudal e ter curvas características compatíveis [37]. No caso de serem instaladas duas bombas principais, cada uma delas deve poder fornecer o caudal total de cálculo à pressão exigida. No caso de serem instaladas três bombas, admite-se que cada uma possa garantir apenas metade daquele caudal à pressão exigida [37].

Em termos de caudal e pressão no sistema para redes pré-calculadas, deverão garantir-se os valores do Quadro 4.8, em que p_s é a diferença de pressão equivalente à diferença de cotas do sprinkler mais elevado relativamente ao posto de comando e controlo [31].

Quadro 4.8 – Requisitos de pressão e caudal para riscos ordinários [14]

Classe de risco e tipo de sistema	Caudal (l/min)	Pressão no posto de comando (bar)	Caudal máximo requerido (l/min)	Pressão máxima requerida no posto de comando (bar)
RO1 húmido e pré-ação	375	$1.0 + p_s$	540	$0.7 + p_s$
RO1 seco e alternado / RO2 húmido e pré-ação	725	$1.4 + p_s$	1000	$1.0 + p_s$
RO2 seco e alternado / RO3 húmido e pré-ação	1100	$1.7 + p_s$	1350	$1.4 + p_s$
RO3 seco e alternado / RO4 húmido e pré-ação	1800	$2.0 + p_s$	2100	$1.5 + p_s$

4.6.4 Tubagens de aspiração

A tubagem de aspiração, incluindo válvulas e acessórios, deve ser dimensionada de forma a garantir que o NPSH disponível à entrada da bomba supera o NPSH requerido, no mínimo, em 1 m, nas condições de caudal máximo e de temperatura máxima da água, segundo a Nota Técnica n.º 15 da ANPC [37], na qual se referem ainda as seguintes condições:

- Em aspiração positiva:
 - O diâmetro da tubagem de aspiração deve ser de pelo menos 65 mm;
 - O diâmetro da tubagem deve ser tal que a velocidade não exceda 1.8 m/s nas condições de caudal máximo;
 - Deverá utilizar placa anti-vórtice devidamente dimensionada;

- Em aspiração negativa:
 - O diâmetro da tubagem de aspiração deve ser de pelo menos 80 mm;
 - O diâmetro da tubagem deve ser tal que a velocidade não exceda 1.5 m/s nas condições de caudal máximo;
 - A tubagem de aspiração deve ser ou horizontal ou com uma pequena inclinação, subindo no sentido da bomba, por forma a evitar a criação de bolhas de ar no seu interior;
 - Deve ser utilizada uma “válvula de pé” com retenção.

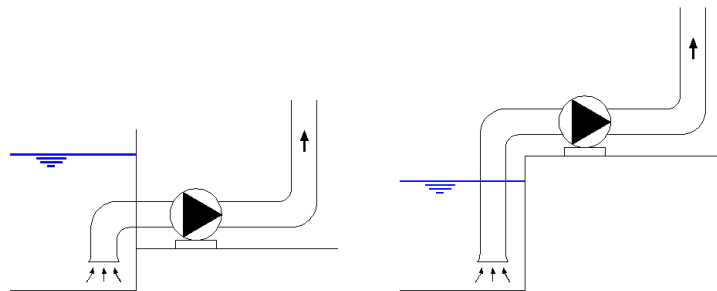


Figura 4.16 – Aspiração positiva e aspiração negativa

O diâmetro da tubagem de aspiração é determinado pela expressão seguinte.

$$d_i \geq 4.6 \sqrt{\frac{Q}{v}} \quad (4.12)$$

d_i – Diâmetro interior (mm)

Q – Caudal de sobrecarga = 1.4 Q_n (l/min)

Q_n – Caudal nominal (l/min)

v – Velocidade (m/s)

A interligação de tubagens de aspiração de diversas bombas só é permitida se forem colocadas válvulas de seccionamento que permitam, através da sua manobra, que cada uma das bombas possa trabalhar isoladamente sempre que necessário [37]. As interligações devem calcular-se tendo em consideração os caudais requeridos [37].

Quando existir mais do que uma bomba em aspiração negativa, não é permitido o recurso a coletores de aspiração, devendo as tubagens de aspiração ser independentes (não interligadas) e de fácil remoção [37]. A altura entre o nível mínimo da água no reservatório e o eixo da bomba não deve exceder 3.20 m [37].

5 Estudo de caso

5.1 Descrição do problema

O parque de estacionamento em estudo corresponde a um edifício implantado sob uma zona de terreno irregular, apresentando um máximo de seis pisos abaixo da superfície. A área total é da ordem dos 35300 m², variando entre 3000 e 7200 m² por piso. O Projeto do edifício compreende um total de 884 lugares de estacionamento para automóveis e 63 lugares de estacionamento para motociclos.



Figura 5.1 – Parque de estacionamento – planta do piso -6

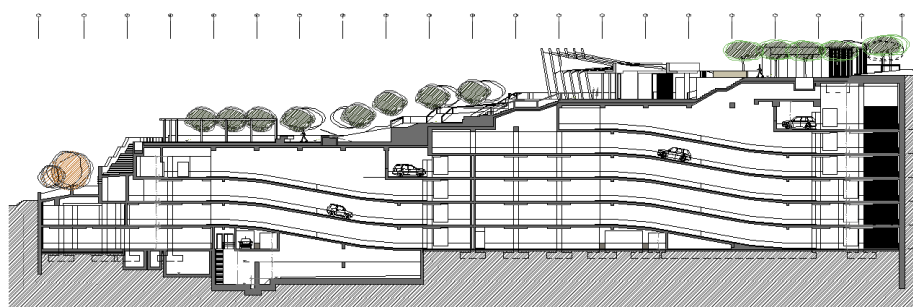


Figura 5.2 – Parque de estacionamento – corte

Salienta-se que para o presente trabalho foi fornecida a arquitetura necessária para o desenvolvimento do Estudo de Caso, sendo que inevitavelmente nela se encontram pré-definidas algumas características relacionadas com as infraestruturas a projetar como sejam as “courettes” de insuflação / extração para controlo de poluentes e desenfumagem ou as aberturas disponíveis para colocação de grelhas. O dimensionamento do Projeto procurará utilizar estas condições de base sempre que aplicável e viável, assumindo que são decorrentes de um correto pré-dimensionamento.

Destaca-se ainda neste âmbito a compartimentação corta-fogo prevista para o parque em situação de incêndio, que consiste na divisão em duas zonas por piso para os pisos de maior área, tal como ilustrado na Figura 5.3, sendo esta compartimentação estabelecida por parede divisória com portas corta-fogo de correr nas aberturas de passagens de viaturas.



Figura 5.3 – Parque de estacionamento – esquema de divisão de zonas

No Quadro 5.1 apresentam-se as áreas úteis dos pisos do parque, por zonas.

Quadro 5.1 – Áreas úteis dos pisos do parque de estacionamento

Piso	Área útil (m ²)		
	Zona A	Zona B	Total
- 1	2853	-	2853
- 2	4048	-	4048
- 3	3580	2116	5696
- 4	3580	2774	6354
- 5	3580	2994	6574
- 6	3580	3025	6605

Como resultado cumprem-se em todos os pisos os valores de 6400 m² definidos no RT-SCIE [2] para as áreas máximas de compartimentação corta-fogo em espaços da UT II enterrados equipados com sistemas de extinção automática. A compartimentação propaga-se por todos os pisos auxiliando a separação eficaz dos sistemas de ventilação de cada uma dessas zonas.

O parque de estacionamento enterrado irá situar-se por baixo de uma zona de lazer com um espaço comercial e um restaurante, tendo este último uma comunicação com o primeiro piso enterrado do parque para uma zona de serviço e armazenamento. Esta zona é isolada do parque de estacionamento mediante compartimentação corta-fogo, e a comunicação vertical para o restaurante serve apenas esse mesmo fim. As vias de evacuação do parque de estacionamento servem apenas o próprio parque de estacionamento, sendo que entre escadas e parque de estacionamento se utilizam antecâmaras com proteção corta-fogo.

5.2 Critérios de concepção e dimensionamento

5.2.1 Enquadramento legislativo e normativo

Sendo um edifício coberto da utilização-tipo II com mais do que cinco pisos, o parque de estacionamento em fase de Projeto de Execução, alvo do presente Trabalho Final de Mestrado, enquadra-se na 4ª categoria de risco, e por conseguinte requer um Projeto de especialidade de SCIE, segundo as condições estabelecidas no RJ-SCIE [1]. Descrevem-se de seguida os principais aspetos relevantes da aplicação do RJ-SCIE [1] e RT-SCIE [2].

Relativamente à classificação de locais de risco, trata-se de um local de risco C dado que é um parque de estacionamento coberto. O piso -5 contém uma área de “*auto-center*” que constitui também um local de risco mas da mesma classificação C. Ao nível do piso -3 encontra-se uma receção que pode ser classificada como local de risco F caso se considere como um posto de segurança (posto de segurança em edifício da 4ª categoria de risco).

A partir da 2ª categoria de risco, com dois ou mais pisos abaixo do piso de referência, deverão considerar-se sistemas fixos de extinção automática de incêndios por água (sprinklers), situação em que se enquadra este parque (4ª categoria de risco). Esta condição será cumprida pela concepção do sistema de combate a incêndio por sprinklers para todos os pisos do parque de estacionamento, considerando-se para além do RT-SCIE [2] as disposições da norma EN 12845 [14] e das notas técnicas da ANPC relevantes (NT 13 [39], NT 14 [36], NT 15 [37] e NT 16 [31]).

Ao nível do controlo de fumo, trata-se de um espaço coberto afeto à utilização-tipo II e como tal deve ser dotado de instalações de controlo de fumo, a ser sempre efetuado por recurso a meios ativos, de preferência por hierarquia de pressões. Esta condição será cumprida pela extração de fumo do parque através de ventiladores de extração, com encaminhamento de ar ao longo do parque através de ventiladores de impulso, e com a admissão de ar no parque por meios passivos, sendo que a concepção deste sistema deverá seguir as regras da norma portuguesa NP 4540 [12].

A obrigatoriedade de controlo de fumo estende-se às vias de evacuação do parque, devendo as escadas que servem pisos no subsolo ser pressurizadas. Esta condição será cumprida pela concepção do sistema de sobrepressão para proteção das vias verticais de evacuação e das respetivas antecâmaras de acesso à zona de estacionamento que constituem compartimentos corta-fogo.

5.2.2 Decisões de projeto

5.2.2.1 Ventilação

Tal como enunciado, o parque de estacionamento divide-se, nos pisos -3 a -6, em duas zonas isoláveis por compartimentação corta-fogo, zonas A e B (os pisos -1 e -2 são constituídos apenas pela zona A). O acesso automóvel entre pisos é efetuado por rampas, que constituem em situação de incêndio um meio de propagação de fumo para os pisos superiores em virtude do efeito de chaminé. Para impedir que o fumo se desloque dessa forma considerou-se a instalação de ventiladores de impulso nas rampas de comunicação entre pisos, com o objetivo de direcionar o fluxo de ar no sentido do piso sinistrado.

O escoamento do fumo entre pisos pode também ser limitado pelo encerramento parcial ou total das rampas recorrendo a componentes resistentes à temperatura do fumo [12]. Considerou-se este critério em detrimento de ventiladores de impulso na primeira rampa de acesso da zona A (entre os pisos -1 e -2) e na primeira rampa de acesso da zona B (entre os pisos -3 e -4), dado que nesses casos a rampa não se entra limitada superiormente por uma rampa no piso acima, constituindo assim uma zona de maior dificuldade de varrimento em sentido contrário ao fumo (jato do ventilador não confinado e efeito de chaminé mais pronunciado) bem como de instalação do próprio ventilador.

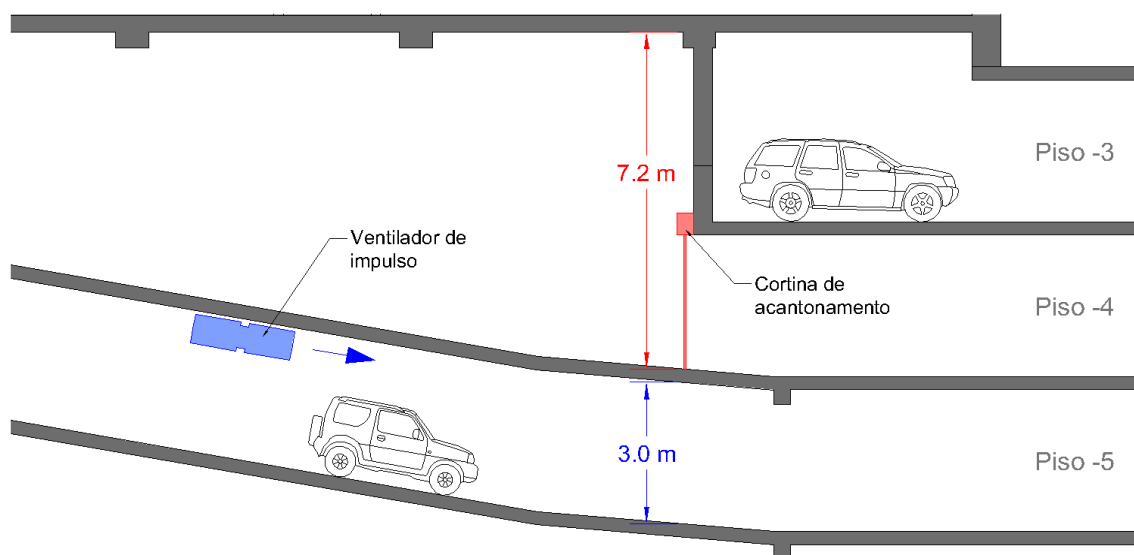


Figura 5.4 – Proteção de rampas de acesso (zona B do parque)

Ao nível da ventilação de impulso do parque, considerou-se a aplicação de ventiladores unidirecionais para varrimento dos espaços para controlo de poluição e desenfumagem, auxiliados quando necessário por ventiladores do tipo bidirecional.

A extração de ar será efetuada por meios mecânicos (ventiladores axiais) e a admissão de ar novo por meios passivos. Utilizam-se as “*courettes*” existentes, com o esquema de entradas e saídas apresentado na Figura 5.5, em que se distinguem as condutas de ar novo (“CA”) a azul e as condutas de extração (“CE”) a vermelho, apresentando-se as respetivas codificações utilizadas no dimensionamento (CE1, CE2, etc). Às entradas de ar por condutas assinaladas acrescem ainda, no piso -1 e na zona B do piso -3, entradas provenientes das aberturas de passagem de automóveis para entrada e saída do parque.

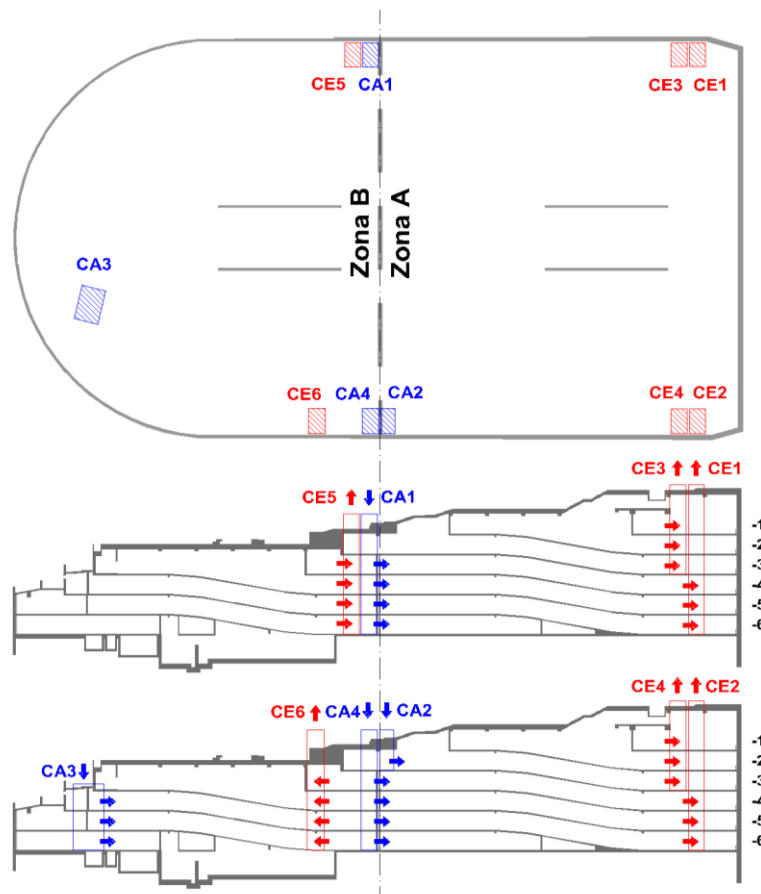


Figura 5.5 – Planta e cortes esquemáticos de condutas de admissão natural e de extração mecânica

Todas as condutas indicadas têm ligação ao nível do piso térreo, para captação de ar novo ou descarga de ar poluído ou fumo. Desenvolvem-se verticalmente até ao último piso que servem (e.g. a conduta CE2 termina no piso -6 e a conduta CE4 termina no piso -3). A admissão de caudal para os ventiladores axiais de extração será regulada por registos de desenfumagem com comando automático. Os ventiladores devem segundo o RT-SCIE [2] ser capazes de resistir durante duas horas à passagem de fumo a 400 °C, critério que se considerou também para as grelhas de admissão de caudal.

Relativamente à avaliação dos caudais de extração necessários para controlo da poluição, admitiu-se que um motociclo equivale a um veículo ligeiro.

5.2.2.2 Rede de sprinklers

Em termos de classificação do sistema segundo a norma EN 12845 [14], o parque em estudo corresponde a uma classe de risco OH2 – riscos ordinários tipo 2 – dado que é exclusivo para estacionamento.

A rede projetada será do tipo húmido convencional, equipada com sprinklers verticais e de parede, optando-se em termos de desenho da rede, de modo geral, pela montagem central. O material previsto das condutas é o aço galvanizado.

Para a divisão da rede por postos de comando, considerou-se no geral um sistema por piso, exceto no caso dos pisos -1 e -2 cuja rede é atuada pela mesma válvula de governo, dado que são dois pisos com menor área a servir. A distribuição de sprinklers resultante com o traçado proposto é a que se apresenta no Quadro 5.2.

Quadro 5.2 – Sistemas de sprinklers

Sistema	Piso	N.º de sprinklers
-1 / -2	-1	223
	-2	321
-3	-3	467
-4	-4	521
-5	-5	553
-6	-6	518

Em termos de pré-dimensionamento de tubagens de sub-ramais e ramais até aos pontos de controlo, aplicaram-se as regras anteriormente referidas da norma EN 12845 [14].

A rede encontra-se servida na sua globalidade por válvulas de seccionamento que possibilitam o corte do fornecimento ao nível dos ramais e dos sub-ramais. Para além do seccionamento, considera-se ainda a instalação de válvulas de descarga e válvulas de teste em todos os pisos do parque de estacionamento.

A central de bombagem ficará anexa ao reservatório de armazenamento de água para combate a incêndios, rega e lavagem de pavimentos. Para além da rede de sprinklers, o parque de estacionamento será servido, como requerido pelo RT-SCIE [2], por rede húmida, sendo esta armada com dispositivos do tipo carretel. A rede de sprinklers e a rede húmida serão alimentadas a partir do mesmo reservatório por centrais de bombagem distintas.

A conduta de compressão dos grupos eletrobomba será ligada ao coletor das válvulas de governo e alarme da rede de sprinklers, e à rede húmida de bocas de incêndio. Este coletor também poderá ser alimentado alternativamente pelo equipamento de fornecimento de água do corpo de bombeiros, através de duas bocas siamesas a colocar no exterior do parque sensivelmente ao nível da entrada no piso -3.

Ao nível da disponibilidade de água para combate a incêndios, o edifício conta com um reservatório enterrado sob o piso -6, formado por três células interligadas entre si por um coletor externo que servirá de coletor de aspiração dos grupos eletrobomba para pressurização das redes de combate a incêndios. As principais características do reservatório são as seguintes:

- Área de cada célula: 67 m²;
- Volume bruto unitário: 154 m³;
- Volume útil unitário: 121 m³.

5.3 Dimensionamento

5.3.1 Considerações prévias

A exposição efetuada nos capítulos anteriores do presente TFM relativamente à conceção e dimensionamento dos sistemas aqui em análise teve como principal base a regulamentação e normalização existente.

Não obstante a necessidade de cumprimento destas especificações, o projeto de instalações técnicas leva frequentemente em linha de conta metodologias complementares às apresentadas, como por exemplo métodos de cálculo empíricos ou sequências de dimensionamento recomendadas por fabricantes.

Este aspeto tem particular incidência na ventilação de impulso, tecnologia relativamente recente e na qual ao longo dos anos os projetistas têm recebido apoio na sua conceção e dimensionamento por parte dos fabricantes (o “*know-how*” destes verifica-se hoje inclusive pela inclusão da modelação em CFD como parte dos serviços que fornecem).

Relativamente às instalações de sprinklers, podem constituir (como no presente TFM) sistemas de grande dimensão e, por conseguinte, de cálculo moroso, beneficiando também o projetista do recurso a ferramentas de cálculo auxiliares para automatização do processo de dimensionamento, como são por exemplo as folhas de cálculo auxiliares da APTA

(Associação de Produtores de Tubos e Acessórios). No presente TFM utilizou-se para dimensionamento das redes de sprinklers um programa de cálculo desenvolvido pelo Eng^o Eduardo Nunes para dimensionamento de acordo com a norma EN 12845 [14].

Por outro lado, o dimensionamento quer dos sistemas de ventilação quer dos sistemas de combate a incêndio requer a aplicação de conceitos de base de mecânica dos fluidos que não constituem em si a matéria alvo do presente TFM.

Assim, na exposição dos dimensionamentos efetuada nos pontos seguintes, apresentar-se-ão formulações e métodos complementares quando relevantes e pertinentes.

5.3.2 Ventilação do parque de estacionamento

5.3.2.1 Caudais de controlo de poluição

O RT-SCIE [2] especifica que se deverão cumprir caudais de exaustão de 300 e 600 m³/h por veículo, para concentrações de monóxido de carbono de 50 e 100 ppm, respetivamente. Os caudais resultantes da aplicação destes critérios são apresentados no Quadro 5.3.

Quadro 5.3 – Caudais de despoluição

Piso	Veículos		Caudal Extração 50 ppm CO (m ³ /h)		Caudal Extração 100 ppm CO (m ³ /h)	
	Zona A	Zona B	Zona A	Zona B	Zona A	Zona B
- 1	66	-	19 800	-	39 600	-
- 2	125	-	37 500	-	75 000	-
- 3	114	37	34 200	11 100	68 400	22 200
- 4	112	82	33 600	24 600	67 200	49 200
- 5	116	87	34 800	26 100	69 600	52 200
- 6	125	83	37 500	24 900	75 000	49 800

Os caudais de desenfumagem em situação de incêndio serão necessariamente superiores aos de controlo de poluição em cada piso, embora ao nível do dimensionamento dos ventiladores de extração possa ser o cenário de funcionamento crítico uma vez que podem servir entre 1 a 4 pisos, sendo que se assume como pior situação a necessidade de despoluição em todos os pisos do parque de estacionamento em simultâneo. Apresentam-se no Quadro 5.4 os caudais de controlo de poluição por conduta de extração. Considera-se que em pisos com mais do que uma saída para extração, o caudal é dividido igualmente pelo número de condutas.

Quadro 5.4 – Caudais de extração para despoluição por conduta vertical

Conduta	Zonas servidas pela conduta e respetivo ventilador						Caudal Extração (m³/h)	
	Piso -1	Piso -2	Piso -3	Piso -4	Piso -5	Piso -6	50 ppm CO	100 ppm CO
CE1				½ Zona A	½ Zona A	½ Zona A	52 950	105 900
CE2				½ Zona A	½ Zona A	½ Zona A	52 950	105 900
CE3	½ Zona A	½ Zona A	½ Zona A				45 750	91 500
CE4	½ Zona A	½ Zona A	½ Zona A				45 750	91 500
CE5			½ Zona B	½ Zona B	½ Zona B	½ Zona B	43 350	86 700
CE6			½ Zona B	½ Zona B	½ Zona B	½ Zona B	43 350	86 700

5.3.2.2 Caudais de desenfumagem

O incêndio a considerar, por aplicação da NP 4540 [12] a um parque de estacionamento com rede de sprinklers, é caracterizado por uma potência calorífica total de 4 MW (com 2.667 MW de potência convectada) respeitante a uma área de 2.5 x 5.0 m². Para o pé direito de 3 metros do parque de estacionamento, admite-se em primeira instância uma altura livre de 2.5 metros, ou seja uma espessura da camada quente $e = 0.5$ m.

Nestas condições, pode-se avaliar o tipo de fonte como de pequena ou grande dimensão, pela aplicação da expressão 2.7:

- $\dot{Q}_{C\ ref} = 2.273$ MW < 2.667 MW = $\dot{Q}_c \rightarrow$ Fonte de grande dimensão.

Sendo uma fonte de grande dimensão, o caudal mássico de fumo é obtido pela expressão 2.5:

- $\dot{M} = 9.44$ kg/s.

Pela expressão 2.9, considerando $K_s = 1$ como recomendado em [11] e uma temperatura ambiente de 20 °C (293.15 K), obtém-se uma temperatura da pluma de $T_s = 572.7$ K.

O caudal volúmico de fumo, calculado com a expressão 2.8, tomando para a densidade o valor de 1.22 kg/m³ à temperatura de 20 °C, atinge então o valor de 15.1 m³/s, pelo que a extração deverá ser superior a este valor para remover o caudal de fumo.

O caudal de fumo determinado com base no incêndio tipificado da norma NP 4540 [12] é na generalidade inferior ao caudal de desenfumagem exigido no RT-SCIE [2], que resulta da aplicação de 600 m³/h/veículo (sendo que este valor é também o definido para situação de controlo da poluição para uma taxa de 100 ppm de CO). A título de comparação, a aplicação da norma BS 7347-6, com um critério de 10 renovações horárias, levaria a caudais da ordem dos 25 a 30 m³/s. Apresentam-se no Quadro 5.5 os caudais de exaustão referidos.

Quadro 5.5 – Cálculo de caudais de extração

Piso	Pé Direito (m)		Caudal de extração (m³/s)				
			Caudal de fumo do incêndio (NP 4540 [12])		RT-SCIE [2] (600 m³/veículo/hora)		BS 7347-6 [13] (10 renovações / hora)
	Zona A	Zona B	Zonas A / B	Zona A	Zona B	Zona A	Zona B
- 1	4	-	15.12	11.00	-	31.70	-
- 2	3	-	15.12	19.33	-	33.73	-
- 3	3	3	15.12	18.00	5.33	29.83	17.63
- 4	3	3	15.12	18.67	11.67	29.83	23.12
- 5	3	3	15.12	19.33	13.00	29.83	23.53
- 6	3	3	15.12	20.83	13.33	29.83	25.21

5.3.2.3 Estratégia de desenfumagem e caudais adotados

O valor da extração a considerar no Projeto será também definido pela estratégia adotada para o encaminhamento do fumo. No caso em estudo, tendo em conta a localização das exaustões e arquitetura do parque de estacionamento, identificam-se dois corredores, pelos quais se procurará efetuar o varrimento de fumo tanto na zona A como na zona B, delimitados pela caixa das rampas de acesso e paredes exteriores do parque. Exemplifica-se na Figura 5.6 este critério para o piso -4. Nestas secções transversais procurar-se-á contrariar o movimento da pluma térmica com o caudal de varrimento.

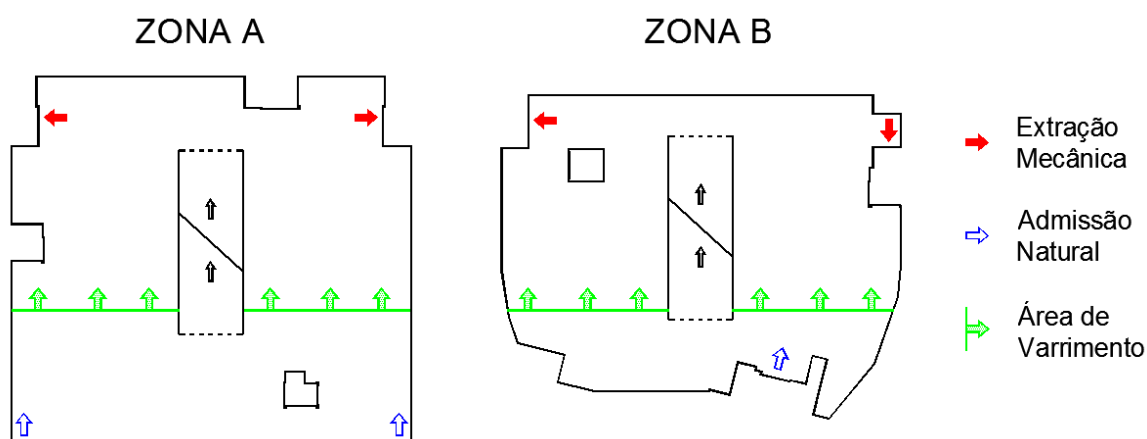


Figura 5.6 – Parque de estacionamento – esquema de ventilação no piso -4

Verificou-se em [27] que um jato de teto com origem na pluma térmica é retido quando a sua velocidade é igual ou inferior à velocidade média, em sentido contrário, desse escoamento, sendo que as grandes velocidades impostas localmente pelos ventiladores de impulso, bastante superiores à do fumo, para além de interromperem o seu movimento diluem também a camada quente reduzindo a sua capacidade de movimento.

Conforme referido na NP 4540 [12], a distância da fonte de calor ao ponto de retenção do escoamento do fumo não deverá ser superior a 40 m. A velocidade do jato de teto será tão mais baixa quanto maior a distância ao foco do incêndio, pelo que a velocidade necessária para interromper o movimento será tão mais baixa quanto maior a distância deste ponto ao foco de incêndio.

Partindo da expressão 2.3, referente ao cálculo da velocidade de jato de teto axissimétrico, para o pé direito do parque de estacionamento em análise, indicam-se no Quadro 5.6 algumas velocidades para o incêndio de 4 MW e diferentes distâncias à origem do fogo.

Quadro 5.6 – Estimativa de velocidades de jato de teto axissimétrico não-confinado

r (m)	u (m/s)
5	1.40
10	0.79
20	0.44
40	0.25
80	0.14

Tendo em conta estas considerações tomou-se como critério de base ao dimensionamento o estabelecimento de um caudal equivalente a uma velocidade transversal nas áreas de varrimento idealizadas da ordem dos 0.4 m/s (este valor enquadra-se na gama de velocidades de varrimento tipicamente utilizada na conceção de desenfumagem de acordo com metodologias de fabricantes). Para uma largura de 27 m e altura de 3 m, o caudal resultante é de 32.4 m³/s (116 640 m³/h), valor que será aplicado em cada ventilador de extração.

A aplicação deste critério irá totalizar um caudal máximo de extração instalado de 64.8 m³/s por piso dado que existem sempre duas condutas de extração a servir cada piso. Numa situação de incêndio pretende-se usar apenas um dos ventiladores de extração (do lado da ocorrência), de modo a manter o caudal de admissão de ar no piso do parque em valores que se traduzam em velocidades de entrada adequadas (refere-se em [13] um máximo de 2 m/s).

Para as condições estabelecidas neste ponto, e considerando as perdas de carga nos circuitos de extração (dutos, grelhas e defletores), os pontos de funcionamento dos ventiladores axiais de extração deverão ser os que se apresentam no Quadro 5.7.

Quadro 5.7 – Pontos de funcionamento dos ventiladores de extração

Conduta	Piso de Instalação	Ventilador de Extração	Pisos Servidos	Caudal (m³/s)	Caudal (m³/h)	Pressão (Pa)
CE1	-1	VE 01 / -1	-4 / -5 / -6	32.4	116 640	425
CE2	-1	VE 02 / -1	-4 / -5 / -6	32.4	116 640	425
CE3	-1	VE 03 / -1	-1 / -2 / -3	32.4	116 640	425
CE4	-1	VE 04 / -1	-1 / -2 / -3	32.4	116 640	425
CE5	-4	VE 05 / -4	-3 / -4 / -5 / -6	32.4	116 640	425
CE6	-3	VE 06 / -3	-3 / -4 / -5 / -6	32.4	116 640	425

5.3.2.4 Análise do dimensionamento e solução final

5.3.2.4.1 Introdução

Da análise da arquitetura do parque de estacionamento, tanto as zonas A como as zonas B dos vários pisos apresentam configurações idênticas – espaços aproximadamente rectangulares com uma caixa de rampas de acesso no seu centro, saídas de extração numa das extremidades do parque e entrada(s) de ar novo na extremidade oposta – que justificam a adoção de uma tática geral de desenfumagem aplicável a todas as zonas.

Dadas estas semelhanças, tendo em conta o número elevado de zonas e processo moroso da respetiva simulação computacional, considerou-se apropriado o dimensionamento para um dos espaços do parque, com o objetivo de se replicar a solução resultante nos restantes locais do parque de estacionamento, optando-se para este efeito pela zona A do piso -3.

Refira-se a necessidade subsequente de adaptações da solução a restantes zonas e pisos, como em algumas zonas B em que se aplicaram ventiladores adicionais de menor caudal para varrimento de zonas de difícil acesso, ou na zona A do piso -2 em que devido à sua maior extensão se colocaram duas linhas de ventiladores. Acrescem ainda à solução projetada, como referido anteriormente, ventiladores nas rampas de acesso entre pisos.

Apresentam-se nos pontos seguintes os principais critérios e passos tomados na elaboração da ventilação do parque de estacionamento com recurso à modelação em CFD. A implantação final dos ventiladores é apresentada nas Peças Desenhadas do Anexo I, apresentando-se no Anexo II os resultados gráficos das simulações.

5.3.2.4.2 Modelo CFD

A modelação CFD foi efetuada com o *software* Fire Dynamics Simulator (FDS), e os seus resultados analisados no *software* Smokeview. O modelo foi criado em ficheiros de texto seguindo a sintaxe e critérios de modelação enunciados na documentação do FDS.

A geometria do parque foi definida de forma aproximada, utilizando-se elementos com alinhamento ortogonal e dimensão adequada à malha adotada. Tendo em conta as exigências de simulação da norma NP 4540 [12], construíram-se modelos com os seguintes parâmetros:

- Combustão de poliuretano [12];
- Fração mássica de partículas de fumo em função da massa de combustível – 0.12 [12];
- Energia calorífica libertada por unidade de massa – 25 MJ/kg [12];
- Curva de potência calorífica para espaços servidos por sprinklers [12];
- Malha de 0.5 m x 0.5 m x 0.5 m (1.0 m x 1.0 m x 1.0 m para ensaios mais expeditos);
- Malha na zona de incêndio de 0.25 m x 0.25 m x 0.5 m;
- Malha nas zonas dos ventiladores de impulso de 0.5 m x 0.25 m x 0.5 m;
- Atraso de 2 minutos entre o início do incêndio e o arranque dos ventiladores;
- Fator de visibilidade de 8, para avaliar a visibilidade de sinais iluminados [12];
- Avaliação da visibilidade ao nível de 1.5 m (2.0 m para ensaios mais expeditos).

5.3.2.4.3 Ventiladores de impulso

A metodologia para definir o número e propriedades dos ventiladores de impulso baseou-se em práticas de projeto decorrentes da informação fornecida por fabricantes. Um método comum de conceção consiste no arranjo do posicionamento dos ventiladores de modo a que as suas áreas de influência cubram em planta as áreas de varrimento preconizadas, sendo estas áreas tipicamente providenciadas pelos fabricantes.

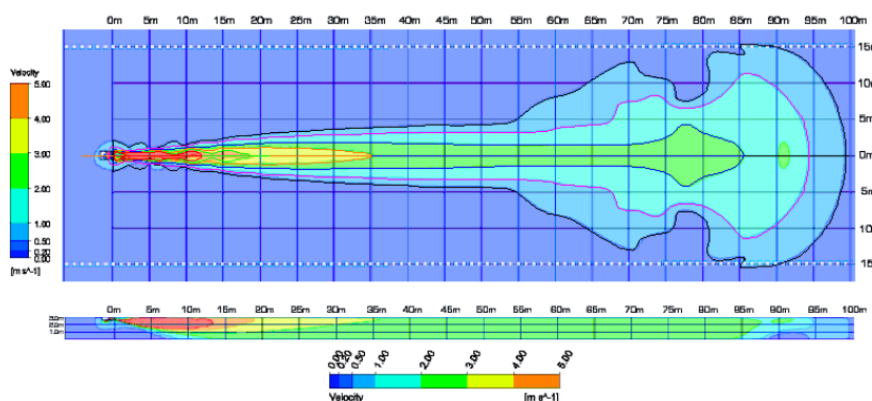


Figura 5.7 – Exemplo de campo de velocidades obtido em CFD para um ventilador de indução [40]

Neste âmbito, considerou-se como critério comum a delimitação desta área pela velocidade de 0.5 m/s [40] [22], como representado acima, sendo essa a velocidade a que se dá a terminação do jato. Efetuou-se a delimitação com base na expressão 3.1, considerando para os parâmetros k_0 e k_i os valores típicos de 6.3 e 0.080 [12], respetivamente.

Como se pode observar na Figura 5.7, as velocidades impostas pelos ventiladores atingem distâncias consideráveis, sendo que na extensão inicial a área de implantação do jato é bastante mais estreita. O afastamento entre ventiladores não deve ser demasiado elevado pois pode permitir o escoamento de fumo em sentido contrário.

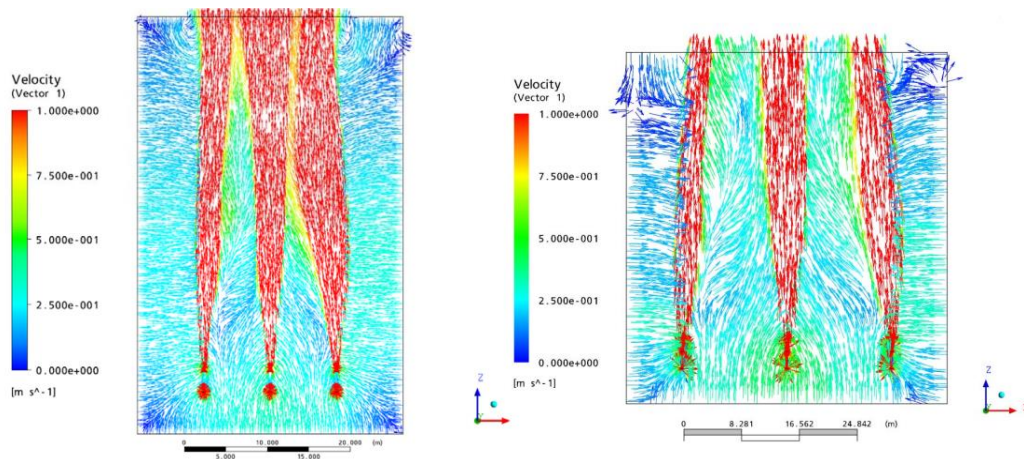


Figura 5.8 – Exemplo de campos de velocidades em CFD para ventiladores de impulso próximos e afastados [40]

Com base no exposto e após análise de áreas tipificadas de vários ventiladores, assumiu-se a colocação generalizada de equipamentos com as seguintes características:

- Diâmetro do impulsor de 355 mm;
- Caudal máximo de 1.94 m³/s e mínimo de 0.99 m³/s;
- Impulso máximo de 45.4 N e mínimo de 10.8 N;
- Potência absorvida máxima de 1.27 kW e mínima de 0.17 kW.

Representa-se de seguida o campo de velocidade obtido analiticamente para este ventilador, com base nas expressões descritas anteriormente, considerado na sua implantação final.

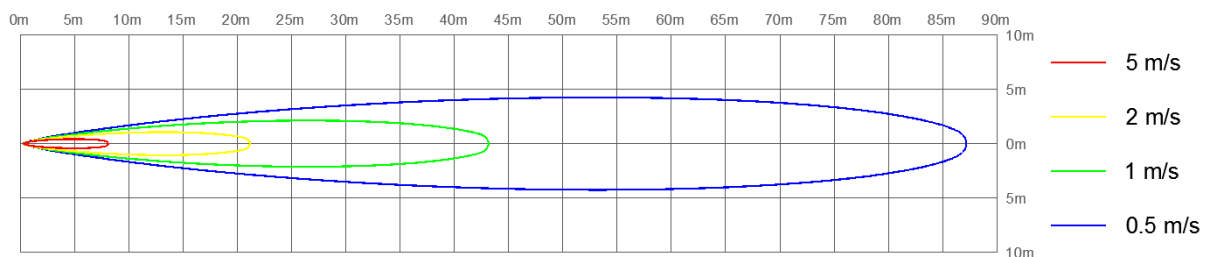


Figura 5.9 – Campo de velocidade longitudinal por cálculo analítico para os ventiladores de impulso principais

Exemplifica-se na Figura 5.10 a implantação tipo considerada de três ventiladores em paralelo por área de varrimento, onde se representam outros ventiladores de impulso auxiliares, perpendiculares aos principais, a montante da primeira linha de ventiladores e junto à parede de fundo. Refira-se que a colocação destes ventiladores é já decorrente de simulações CFD em que se constatou a necessidade de reforço da admissão de caudal na zona a montante dos ventiladores de impulso de desenfumagem, bem como necessidade de encaminhamento do caudal junto à parede de fundo.

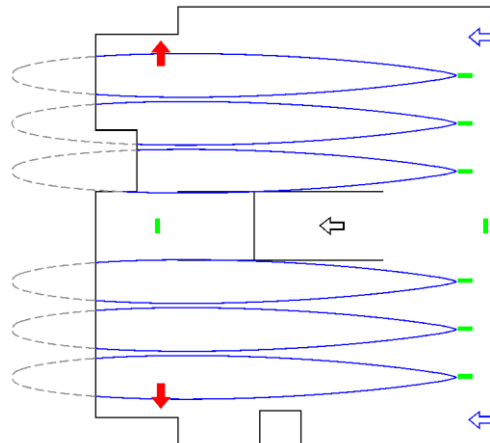


Figura 5.10 – Estudo de implantação de ventiladores de impulso na zona A do piso -3

5.3.2.4.4 Desenfumagem

Resumem-se de seguida os principais passos e conclusões do processo de dimensionamento, do ponto de vista de um caminho mais curto entre a simulação inicial e o sistema final adotado com vista à contenção do fumo com as faixas de varrimento preconizadas. Para tal ilustram-se na Figura 5.11 os componentes considerados nas simulações.

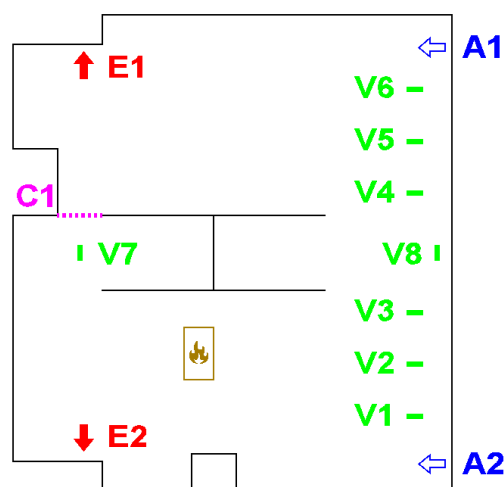


Figura 5.11 – Localização de elementos de modelação – zona A do piso -3

Na avaliação de alternativas não se avançou pela via do aumento do caudal de extração, por um lado para não subir em demasia a já elevada velocidade de admissão de ar novo, e por outro lado porque os caudais de exaustão já se encontram no limite das gamas de caudal de ventiladores axiais comercializados (da ordem dos 127 500 m³/h), o que obrigaria a alterar a solução de exaustão para dois ventiladores por conduta.

Resumem-se então as principais simulações efetuadas, cujos resultados se apresentam no Anexo II, indicando os equipamentos considerados e principais conclusões retiradas:

- Simulação D1 – simulação inicial para varrimento da zona enfumada para a extração E2 – admissões A1 e A2, extração E2, ventiladores V1, V2 e V3:
 - Verificou-se dificuldade de contenção de fumo na zona de incêndio, com fuga de caudal para a zona da extração E1 e redução de visibilidade nessa zona;
- Simulação D2 – simulação alternativa com o dobro do caudal de extração através do encaminhamento do caudal de fuga da zona enfumada para a extração E1 – admissões A1 e A2, extrações E1 e E2, ventiladores V1, V2 e V3:
 - Verificou-se haver *by-pass* entre as admissões e as extrações, com propagação de fumo e condições de visibilidade agravadas em relação à simulação D1;
- Simulação D3 – simulação para procurar conter a massa de fumo na zona de incêndio através de ventiladores transversais – admissões A1 e A2, extração E2, ventiladores V1, V2, V3, V7 e V8:
 - Verificaram-se melhorias na contenção do fumo. Concluiu-se que o uso de duas admissões de ar acarreta perda de eficácia, uma vez que há tendência a entrar mais caudal pela entrada A2, com um trajeto que não se opõe totalmente ao avançar do fumo, e o varrimento restante proveniente da admissão A1 não impede totalmente a sua propagação para a zona desenfumada;
- Simulação D4 – simulação para admissão de ar novo apenas de um dos lados do parque – admissão A1, extração E2, ventiladores V1, V2, V3 e V8:
 - Verificou-se o agravamento do controlo de fumo, uma vez que a maior parte do caudal admitido no parque percorre a sua periferia em direção à grelha de exaustão, contornando a zona de incêndio e, por conseguinte, reduzindo o caudal de fumo extraído propiciando a propagação deste para todo o parque;
- Simulação D5 – simulação para admissão de ar novo no parque apenas por um dos lados do parque, e entrada do ar novo na zona enfumada apenas a montante do

incêndio – admissão A1, extração E2, ventiladores V1, V2, V3, V7 e V8, cortina corta-fogo C1:

- Verifica-se maior eficácia de varrimento da zona enfumada, possibilitando a melhor contenção do fumo na zona de incêndio, com visibilidade aceitável.

A configuração da simulação D5 revelou-se como a mais eficaz na contenção do fumo à zona de incêndio, bem como na garantia de condições de visibilidade para o seu combate e na remoção de todo o fumo até 30 minutos após o término do incêndio. Apresentam-se na Figura 5.12 as respetivas plantas de temperatura e visibilidade para o pico do incêndio.

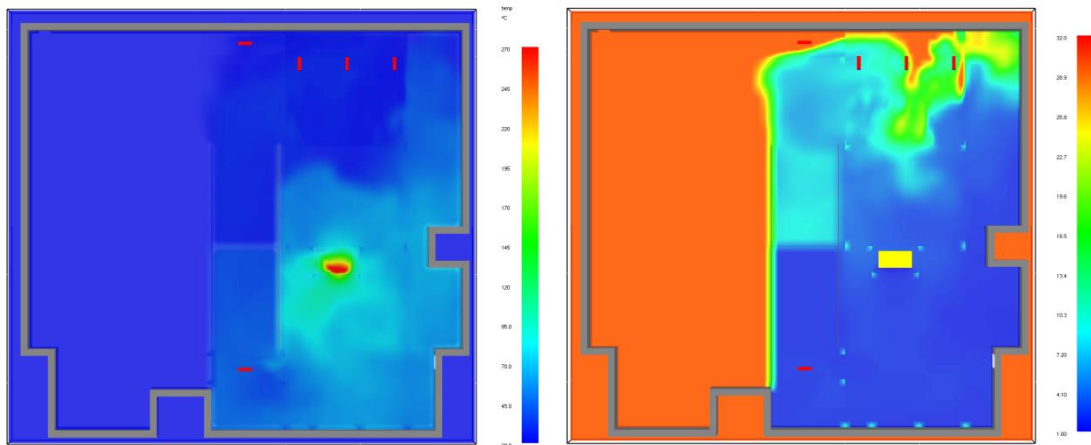


Figura 5.12 – Simulação D5 – temperatura e visibilidade para sinais luminosos no pico do incêndio (t = 1200s)

Com vista ao cumprimento da desenfumagem em todos os pisos, adotou-se a colocação de equipamentos em todas as zonas do parque com configuração análoga à da simulação D5.

5.3.2.4.5 Controlo de poluição

Efetuuou-se a modelação para controlo de poluição com recurso a duas simulações:

- Simulação P1 – concentração de 100 ppm de CO – admissões A1 e A2, extrações E1 e E2 com caudais de 34 200 m³/h, ventiladores V1, V2, V3, V4, V5 e V6 com caudal máximo de 1.94 m³/s;
- Simulação P2 – concentração de 50 ppm de CO – admissões A1 e A2, extrações E1 e E2 com caudais de 17 100 m³/h, ventiladores V1, V2, V3, V4, V5 e V6 com caudal mínimo de 0.99 m³/s.

Verificou-se em ambas as situações o cumprimento do varrimento do parque, ainda que com velocidades baixas junto à parede de jusante, em virtude da localização das grelhas de exaustão, embora acima dos 0.05 m/s referidos na norma NP 4540 [12]. A presença de vórtices é generalizada, embora de pequena dimensão.

Apresentam-se na Figura 5.13 os campos de velocidade para as duas simulações, em que as zonas a preto correspondem a velocidades iguais ou abaixo de 0.05 m/s. Não se constata locais de total estagnação como poderiam ser as zonas de acesso às rampas (o carácter dinâmico do campo de velocidades, possivelmente induzido pela assimetria do parque e equipamentos, providencia algum varrimento nestas zonas), e como tal não se considera indispensável a entrada em funcionamento de outros ventiladores para compensar este aspeto.

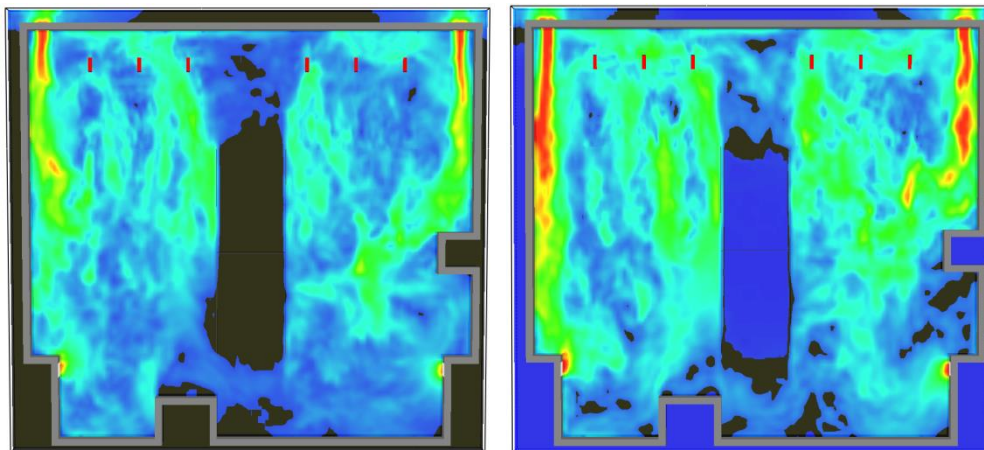


Figura 5.13 – Campos de velocidade à cota Z=1.5m para o controlo de poluição de 100 ppm CO e de 50 ppm CO

5.3.3 Proteção das vias verticais de evacuação

Descreve-se de seguida o sistema para proteção das vias verticais de evacuação no parque de estacionamento em estudo, compostas por caixa de escadas e por antecâmaras que constituem compartimentos corta-fogo entre a caixa de escadas e o interior do parque.

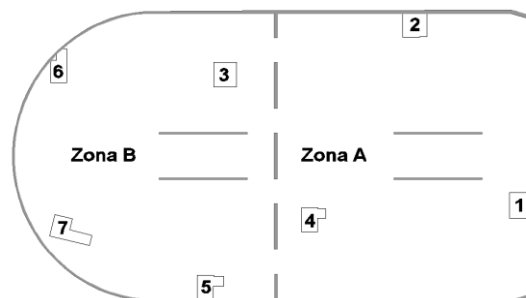


Figura 5.14 – Localização de vias verticais de evacuação

Apresentam-se no Quadro 5.8 os dados resumo ao nível da arquitetura, onde se inclui a avaliação das áreas de fugas por passagens segundo os critérios da norma EN 12101-6 [10], bem como áreas equivalentes relativas a passagens fechadas necessárias ao cálculo do sistema, avaliadas de acordo com a metodologia anteriormente exposta (aplicação das expressões 3.15 a 3.18). Os cálculos subsequentes de caudais para obtenção de diferenciais de pressão e vice-versa serão efetuados por aplicação da expressão 3.14.

Quadro 5.8 – Dados de base para conceção do sistema de sobrepressão

Via de evacuação vertical		1	2	3	4	5	6	7
Zona do parque servida		A	A	B	A	B	B	B
N.º portas para o exterior		1	1	1	1	1	1	1
N.º portas para o interior (n.º pisos servidos)		6	6	4	5	4	4	2
Secções transversais de passagens (m ²)	Caixa de Escadas → Exterior	2	2	2	2	2	2	2
	Caixa de Escadas → Antecâmara	2	2	2	2	2	2	2
	Antecâmara → Parque	2	2	2	2	2	2	2
	Antecâmara → Elevador	1.6	1.6	1.6	0	0	0	0
Áreas de fugas por passagens (m ²)	Caixa de Escadas → Exterior	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
	Caixa de Escadas → Antecâmara	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
	Antecâmara → Parque	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
	Antecâmara → Elevador	0.06	0.06	0.06	0	0	0	0
Áreas equivalentes (m ²)	Antecâmara → Parque (portas fechadas)	0.070	0.070	0.070	0.010	0.010	0.010	0.010
	Caixa de Escadas → Parque (portas fechadas)	0.010	0.010	0.010	0.007	0.007	0.007	0.007
	Total Caixa de Escadas (portas fechadas)	0.079	0.0790	0.060	0.055	0.048	0.048	0.034
	Total Caixa de Escadas (portas fechadas) (excepto um piso)	0.069	0.069	0.050	0.048	0.041	0.041	0.027
	Caixa de Escadas → Parque (portas abertas)	1.414	1.414	1.414	1.414	1.414	1.414	1.414

O esquema de sobrepressão adotado é o de insuflação na caixa de escadas pelo topo, no local da admissão de ar para esse efeito, através da instalação de um ventilador do tipo “*in-line*” na parede da caixa de escadas ao nível da saída desta para o exterior.

Para dimensionamento da sobrepressão, partiu-se da avaliação do diferencial de pressão máximo para abertura de porta com uma força máxima de 100 N (segundo a EN 12101-6 [10]). Para uma porta com 1 m de largura e 2 m de altura, com manípulo a 0.1 m da sua extremidade, e considerando uma força de abertura em condições normais de 30 N, chega-se pela aplicação da expressão 3.17 a um diferencial de pressão máximo de 63 Pa entre a caixa de escadas e as antecâmaras.

Com base neste valor decidiu-se pelo dimensionamento para uma sobrepressão de 50 Pa, valor médio da gama admitida pelo RT-SCIE [2] (20 a 80 Pa) e coincidente com a sobrepressão tipo requerida na norma EN 12101-6 [10]. Apresenta-se no Quadro 5.9 o resumo do cálculo para este critério, considerando-se um fator de segurança de 1.5.

Quadro 5.9 – Determinação de caudais de insuflação para critério de sobrepressão

Via de Evacuação	1	2	3	4	5	6	7
Área de fugas (m ²)	0.079	0.079	0.060	0.055	0.048	0.048	0.034
ΔP pretendida (Pa)	50	50	50	50	50	50	50
Parâmetro n – fugas de grandeza média	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6
Caudal para ΔP pretendida (m ³ /s)	0.760	0.760	0.570	0.530	0.462	0.462	0.327
Fator de segurança	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
Caudal final requerido (m³/s)	1.140	1.140	0.856	0.795	0.693	0.693	0.490

Deverá ainda estabelecer-se uma velocidade mínima de 1 m/s entre a caixa de escadas e o parque de estacionamento quando se encontrem abertas ambas as portas da antecâmara, condição para qual se apresenta o dimensionamento no Quadro 5.10, considerando-se um fator de segurança de 1.15.

Quadro 5.10 – Determinação de caudais de insuflação para critério de velocidade

Via de Evacuação	1	2	3	4	5	6	7
Velocidade de passagem (m/s)	1	1	1	1	1	1	1
Área de passagem de uma porta aberta (m ²)	2	2	2	2	2	2	2
Caudal de passagem por uma porta aberta (m ³ /s)	2	2	2	2	2	2	2
Cálculo de ΔP entre caixa de escadas e parque com portas abertas, para caudal determinado							
Área equivalente de duas portas abertas (m ²)	1.414	1.414	1.414	1.414	1.414	1.414	1.414
Parâmetro n – grandes áreas de passagem	2	2	2	2	2	2	2
ΔP (Pa)	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9
Cálculo de fugas nas restantes passagens fechadas, para ΔP determinado							
Área equivalente de restantes passagens (m ²)	0.069	0.069	0.050	0.048	0.041	0.041	0.027
Parâmetro n – fugas de grandeza média	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6
Caudal (m ³ /s)	0.112	0.112	0.080	0.078	0.067	0.067	0.044
Caudais finais							
Caudal para condições pretendidas (m ³ /s)	2.112	2.112	2.080	2.078	2.067	2.067	2.044
Fator de segurança	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15
Caudal final requerido (m³/s)	2.429	2.429	2.392	2.390	2.377	2.377	2.350

O sistema a instalar para cada caixa de escadas deverá então ser capaz de cumprir os pontos de funcionamento determinados (caudal e pressão), com vista satisfazer as seguintes funções:

- Ventilação nas escadas para garantia de sobrepressão em situação de incêndio;
- Ventilação nas escadas para garantia de varrimento de ar em situação de incêndio;
- Pontualmente, admite-se que seja utilizado para ventilação desse espaço.

O sistema de insuflação deverá ser dotado de regulação de velocidade para que se possa ajustar às diferentes condições de funcionamento, devendo ser efetuado o controlo da variação de velocidade por sensores de pressão.

Por fim, refira-se um aspeto complementar da aplicação do RT-SCIE [2] que é o da obrigatoriedade de renovação do ar nos compartimentos corta-fogo entre escadas pressurizadas e espaços da utilização-tipo II. Para tal concebeu-se um circuito para insuflação do ar novo nas antecâmaras, com admissão de ar ao nível do piso térreo, e cuja movimentação de ar é efetuada por meio de um ventilador centrífugo de instalação em conduta. O circuito de distribuição desenvolve-se verticalmente nas “courettes” para instalações técnicas adjacentes às antecâmaras. Em cada piso, é derivado um ramal para insuflação do caudal de renovação em cada antecâmara através de grelhas de insuflação.

Resumem-se no Quadro 5.11 os dados do cálculo desta insuflação para renovação do ar, sendo que no caso particular da antecâmara da via de evacuação n.º 6 se apresenta um conjunto de valores relativos às duas configurações que esta adota (área de 4.40 m² no piso -3 e de 10.10 m² nos restantes pisos inferiores).

Quadro 5.11 – Cálculo de insuflação de ar novo em câmaras corta-fogo

Via de Evacuação	1	2	3	4	5	6	7
N.º pisos servidos	6	6	4	5	4	4	2
Áreas (m ²)	3.28	4.18	4.76	3.23	4.09	10.10 / 4.40	3.96
Volume (m ³)	9.8	12.5	14.3	9.7	12.3	30.3 / 13.2	11.9
Renovações (h ⁻¹)	5	5	5	5	5	5	5
Caudal de cálculo (l/s)	13.7	17.4	19.8	13.5	17.0	42.1 / 18.3	16.5
Caudal adotado (l/s)	20	20	20	20	20	45 / 20	20
Caudal total (l/s)	120	120	80	100	80	155	40

Com os valores dos caudais de renovação de ar, é possível então dimensionar as condutas de insuflação e determinar as perdas de carga no sistema, obtendo-se por conseguinte os pontos de funcionamento necessários para escolha de ventiladores. Apresentam-se no Quadro 5.12 os dados resumo destas instalações no qual se optou, em virtude dos caudais reduzidos, por condutas circulares em aço galvanizado.

Quadro 5.12 – Propriedades dos circuitos de insuflação de ar novo nas câmaras corta-fogo

Via de Evacuação	1	2	3	4	5	6	7
Caudal total do ventilador (l/s)	120	120	80	100	80	155	40
Dimensão da grelha ou cogumelo de admissão (mm)	300x200	300x200	300x200	Ø200	Ø180	300x200	Ø140
Diâmetro máximo do circuito de insuflação (mm)	200	200	200	200	180	224	140
Diâmetro do ramal com registo de regulação de caudal (mm)	125	125	125	125	125	125 / 140	125
Dimensão das grelhas de insuflação (mm)	200x100	200x100	200x100	200x100	200x100	200x100 / 300x100	200x100

5.3.4 Rede de sprinklers

Para a utilização-tipo II adotam-se, segundo o RT-SCIE [2], sprinklers verticais eretos de 15 mm de diâmetro, com um fator K de 80, e área máxima coberta por cada sprinkler de 12 m².

As bases de cálculo para o sistema são as que se apresentam no Quadro 5.13.

Quadro 5.13 – Bases de cálculo para a rede de sprinklers

Critério	RT-SCIE [2] / Nota Técnica da ANPC n.º 16 [31]
N.º máximo de sprinklers	12
Área de cálculo (m ²)	144.0
Densidade mínima (mm/min)	5.0
Caudal máximo (l/min)	725
Caudal unitário (l/min)	60.4

Para efeitos de cálculo do sistema, os valores de desníveis geométricos mais condicionantes do sistema, quer em relação ao posto de controlo quer em relação à reserva de água são os que se apresentam no Quadro 5.14.

Quadro 5.14 – Desníveis geométricos de cálculo

Piso	N.º de sprinklers	Desnível geométrico do sprinkler mais afastado (m)	
		Ao Posto de Controlo	Ao nível mínimo de água
-1	223	18.0	24.3
-2	321	14.7	21.0
-3	467	11.4	17.7
-4	521	8.1	14.4
-5	553	4.8	11.1
-6	518	1.5	7.8

Em termos de necessidades de caudal e pressão para o sistema, deverão segundo a norma EN 12845 [14] cumprir-se os seguintes pontos de funcionamento, em que p_s representa a a perda de carga estática entre o sprinkler mais elevado da rede e o respetivo ponto de controlo:

- $1.4 + p_s$, para $Q = 725$ l/min;
- $1.0 + p_s$, para $Q = 1000$ l/min.

Para os critérios enunciados, as pressões requeridas são as que se apresentam no Quadro 5.15.

Quadro 5.15 – Pressões requeridas no posto de controlo

Piso	Pressão requerida (bar) para Q = 725 l/min	Pressão requerida (bar) para Q = 1000 l/min
-1	3.16	2.76
-2	2.84	2.44
-3	2.52	2.12
-4	2.19	1.79
-5	1.87	1.47
-6	1.55	1.15

Como referido, utilizou-se um programa de cálculo auxiliar para dimensionamento das tubagens até aos pontos de controlo. Este dimensionamento é feito isoladamente para cada circuito da rede até aos pontos de cálculo pré-determinados (i.e. para cada ponto da rede em que esta deixa de ser dimensionada por pré-atribuição de diâmetros e passa a sê-lo por dimensionamento hidráulico).

O dimensionamento é neste contexto efetuado de modo a garantir velocidades abaixo dos 6 m/s e a cumprir perdas de carga máximas entre o posto de controlo e o sprinkler de 0.5 bar.

Sendo o material adotado o aço galvanizado, utiliza-se um coeficiente de Hazen-Williams de 120, e os diâmetros internos que se apresentam no Quadro 5.16.

Quadro 5.16 – Diâmetros de cálculo para tubagens de aço galvanizado

D nominal (mm)	25	32	40	50	65	80	100	125	150
D interior (mm)	26.6	35.0	40.9	52.5	62.7	77.9	102.0	128.3	153.9

Para esta metodologia de cálculo, estabeleceu-se em primeira instância o layout da rede de sprinklers, efetuando-se o pré-dimensionamento de sub-ramais e de alguns ramais seguindo as regras estabelecidas na norma EN 12845 [14].

A montante dos pontos a partir dos quais não é mais permitido o dimensionamento por tabelas, discretizou-se a rede nos diversos percursos distintos para inserção no programa de cálculo, resultando deste processo 19 redes diferentes a dimensionar, tendo estas sido nomeadas com o número do piso que servem seguido do número da rede nesse mesmo piso.

No Anexo III apresentam-se as Peças Desenhadas do Projeto de Sprinklers, apresentando-se o layout dos sistemas em planta e em esquema isométrico, e assinalando-se as redes e pontos de cálculo considerados no dimensionamento tal como requerido na norma EN 12845 [14]. Os resultados do dimensionamento destes sistemas estão patentes no Anexo IV.

No Quadro 5.17 apresentam-se as pressões resultantes ao nível dos postos de controlo e das centrais de bombagem.

Quadro 5.17 – Pressões na central de bombagem (CB) e no posto de controlo (PC)

Piso	Rede	Desnível geométrico entre CB e PC (bar)	Cálculo para Q = 725 l/min			Cálculo para Q = 1000 l/min		
			Pressão na CB (bar)	Perda de carga entre a CB e o PC (bar)	Pressão no PC (bar)	Pressão na CB (bar)	Perda de carga entre a CB e o PC (bar)	Pressão no PC (bar)
-1	11	0.62	3.93	0.10	3.22	3.90	0.18	3.10
	12		4.07	0.10	3.36	4.01	0.18	3.21
-2	21	0.62	3.60	0.10	2.89	3.49	0.18	2.69
	22		3.91	0.10	3.20	3.75	0.18	2.95
	23		3.83	0.10	3.12	3.70	0.18	2.90
-3	31	0.62	3.48	0.10	2.77	3.42	0.18	2.62
	32		3.90	0.10	3.19	3.76	0.18	2.96
	33		3.41	0.10	2.70	3.28	0.18	2.48
	34		3.49	0.10	2.78	3.33	0.18	2.53
-4	41	0.62	3.13	0.10	2.42	3.05	0.18	2.25
	42		3.06	0.10	2.35	3.03	0.18	2.23
	43		2.63	0.10	1.92	2.64	0.18	1.84
-5	51	0.62	2.92	0.10	2.21	2.84	0.18	2.04
	52		2.89	0.10	2.18	2.81	0.18	2.01
	53		2.81	0.10	2.10	2.73	0.18	1.93
	54		2.88	0.10	2.17	2.87	0.18	2.07
-6	61	0.62	2.29	0.10	1.60	2.33	0.18	1.58
	62		2.74	0.10	2.05	2.55	0.18	1.80
	63		2.41	0.10	1.72	2.28	0.18	1.53

Como se pode constatar, as pressões obtidas ao nível dos postos de controlo são superiores às mínimas exigidas pela EN 12845 [14] para redes pré-calculadas. Assim, com base nos valores obtidos do dimensionamento, considerou-se o dimensionamento da central de incêndio de serviço à rede de sprinklers para as condições de funcionamento mais restritivas, relativas ao serviço ao piso -1:

- Ponto de trabalho nominal:
 - Caudal de 725 l/min a uma pressão de descarga de 4.07 bar;
- Ponto de trabalho máximo requerido:
 - Caudal de 1000 l/min a uma pressão de descarga de 4.01 bar.

Conforme requerido pela Nota Técnica 15 [37] e pela norma EN 12845 [14], o equipamento seleccionado deverá ainda ser capaz de elevar 140% do caudal nominal a uma altura de elevação não inferior a 70% da pressão nominal.

Relativamente à reserva de água para combate a incêndio, efetuou-se o seu cálculo para as seguintes condições:

- Caudal de rede de sprinklers de 12 l/s;
- Caudal da rede de incêndio armada do tipo carretel de $4 \times 1.5 = 6$ l/s;
- Tempo de autonomia, para a 4ª categoria de risco [36], de 120 min.

O volume de reserva mínimo requerido é então de 129.6 m³. Para um volume útil total das três células do reservatório de 361.8 m³ (1.8m de altura útil), afetou-se um volume de 201 m³ para a reserva a incêndio, correspondente a 1 m de altura útil do reservatório.

O controlo da afluência de água ao reservatório será efetuado por meio de válvulas de flutuador. Refira-se por fim que o abastecimento ao tanque deverá poder ser efetuado num prazo máximo de 36 horas, de acordo com o requerido pela norma EN 12845 [14].

6 Conclusões

O presente Trabalho Final de Mestrado aborda a conceção de um leque variado de sistemas no âmbito da proteção contra incêndios: ventilação de desenfumagem e controlo de poluição, ventilação de proteção de vias de evacuação, e rede de extinção automática por água.

Ao nível da ventilação de vias de evacuação e da rede de sprinklers, os documentos normativos analisados estabelecem de modo rigoroso os critérios de conceção, sendo esta efetuada de forma direta e com poucos graus de liberdade para o Projetista, em particular para as redes de sprinklers em que as normas utilizadas têm um carácter bastante prescritivo, desde a colocação de sprinklers até ao dimensionamento de partes da rede por tabelas.

Estes sistemas são regidos por formulações e procedimentos de cálculo bem sedimentados ao longo do tempo, o que se traduz ao nível do conteúdo das respetivas normas. No Estudo de Caso, para além da aplicação das metodologias enunciadas na documentação analisada, o principal trabalho conceptual foi assim o estabelecimento do layout da ventilação das vias de evacuação e dos circuitos da rede de extinção automática de incêndios.

Ao contrário do enquadramento normativo acima referido, no caso da ventilação de impulso só muito recentemente foi lançada a regulamentação ao nível nacional, não a existindo sequer uniformizada ao nível europeu. Sendo que muito do *know-how* destes sistemas é empírico (simulações de CFD e ensaios locais), é mais difícil a conceção direcionada dos sistemas, o que acresce ao carácter iterativo do dimensionamento por CFD, em particular para espaços com geometrias irregulares e diferentes dos casos típicos presentes em bibliografia abordando espaços simples cujo varrimento é suficiente para controlo das zonas enfumadas.

Este aspeto da geometria do espaço teve bastante influência ao nível da eficácia da solução do Estudo de Caso. A forma e obstáculos do parque de estacionamento em análise introduziram dificuldades no equilíbrio da massa de fumo, assim como a localização das admissões e exaustões em cada piso. O aspeto mais condicionante do dimensionamento foi o impedimento da propagação do fumo e conseguinte cumprimento de critérios de visibilidade.

Neste âmbito procuraram-se diferentes abordagens de ventilação, através de combinações de operação de grelhas de admissão de ar novo, ventiladores de extração de fumo, ventiladores de impulso principais e auxiliares, e ainda meios complementares como cortinas corta-fogo, observando-se grande variabilidade na qualidade dos resultados obtidos em termos de contenção de fumo, temperaturas, equilíbrio do momento angular e ainda ocorrência de escoamentos de ar novo em “by-pass” à zona enfumada, os quais condicionam a obtenção da

extração de massa de fumo necessária para evitar a sua propagação. A melhor solução obtida em termos de cumprimento dos parâmetros de dimensionamento foi através da colocação de ventiladores auxiliares transversalmente aos ventiladores principais e cortinas corta-fogo, que possibilitaram a delimitação e encaminhamento do fumo de forma mais eficiente.

Relativamente ao funcionamento do layout final de equipamentos para controlo de poluição, verificou-se o cumprimento dos campos de velocidade em ambas as situações de concentração de monóxido de carbono previstas regulamentarmente.

A análise de sensibilidade permitida pela utilização de CFD com ferramentas de visualização constitui uma vantagem para a conceção e dimensionamento deste tipo de solução, por exemplo pela facilidade de constatação de zonas de recirculação e vórtices e respetiva avaliação da sua relevância para a eficácia do sistema. Neste sentido, importa que a conceção do espaço seja acompanhada o mais cedo possível de uma avaliação preliminar da ventilação para se obterem atempadamente recomendações úteis acerca de aspetos como a localização e dimensão de pontos de entrada de ar, de saída de fumo, e respetivas condutas.

Os resultados do dimensionamento requerem algum sentido crítico, uma vez que a modelação física do parque não inclui potenciais obstáculos ao escoamento como são pilares, vigas de teto, veículos, ou ainda outras instalações técnicas relevantes. No geral, as simplificações adotadas têm como justificação a minimização de tempos de cálculo que atingiriam valores incomportáveis por via da modelação das malhas de reduzida dimensão necessárias com os meios computacionais disponíveis no âmbito do presente TFM.

A simulação cingiu-se a uma zona do parque com apenas uma localização de incêndio, embora se pressuponham condições de replicabilidade da solução final adotada para todo o parque, em função das semelhanças entre as diferentes zonas dos vários pisos, e também porque o layout final compõe zonas de varrimento bastante restritas que deverão propiciar uma operação estável e menos sensível a pequenas alterações nos espaços.

Refira-se que não foi efetuada uma validação da modelação em CFD dos ventiladores de impulso utilizados no parque. Esta poderia ser efetuada através da comparação entre velocidades medidas numa instalação e os resultados de uma simulação para os mesmos equipamentos em condições de instalação semelhantes, embora não estivessem disponíveis dados experimentais para o presente Estudo de Caso. As metodologias de modelação dos ventiladores no *software* utilizado estão bastante sedimentadas e documentadas, considerando-se adequada a aplicação das mesmas para cumprimento dos objetivos

estabelecidos no Estudo de Caso do presente TFM. Reconhece-se no entanto a importância da validação do modelo para a elaboração de um Projeto com confiança nos dados apresentados e em última análise no funcionamento apropriado do sistema.

Embora abrangendo diferentes sistemas, o presente TFM aborda apenas uma parcela das necessidades de proteção contra incêndio, e em particular para os parques de estacionamento, podendo ser complementado com estudos subsequentes. Poder-se-ia prosseguir, em primeira instância, pela conceção dos sistemas mais próximos dos concebidos, nomeadamente os meios de primeira e segunda intervenção ou o sistema de deteção e alarme. Neste âmbito seria ainda útil, para a operação do sistema, o estudo e planeamento do comando das instalações de ventilação em funcionamento automático e em funcionamento manual para todo o parque. A otimização numérica da ventilação, por exemplo da quantidade e posicionamento de ventiladores e respetivos caudais, poderia ser por si própria o objeto de um estudo subsequente.

Referências bibliográficas

- [1] Decreto-Lei n.º 224/2015, de 9 de Outubro. Alteração ao Decreto-Lei n.º 220/2008, de 12 de Novembro. Diário da República n.º 198/2015 – 1.ª Série. Ministério da Administração Interna, Lisboa.
- [2] Portaria n.º 1532/2008, de 29 de Dezembro. Diário da República n.º 250/2008 – 1.ª Série. Ministério da Administração Interna, Lisboa.
- [3] Decreto-Lei n.º 220/2008, de 12 de Novembro. Diário da República n.º 220/2008 – 1.ª Série. Ministério da Administração Interna, Lisboa.
- [4] AUTORIDADE NACIONAL DE PROTECÇÃO CIVIL (ANPC) – Segurança Contra Incêndios em Edifícios, Nota Técnica N.º 5, Locais de Risco. Dezembro de 2013. Lisboa.
- [5] Despacho n.º 2074/2009, de 15 de Janeiro. Critérios técnicos para determinação da densidade de carga de incêndio modificada. Diário da República, n.º 10/2009 – 2ª Série. Ministério da Administração Interna, Lisboa.
- [6] AUTORIDADE NACIONAL DE PROTECÇÃO CIVIL (ANPC) – Seminário sobre segurança contra incêndio em edifícios – Extinção por água e por agentes gasosos – Notas Técnicas da ANPC 13 a 17. Maio de 2015. Lisboa [Consult. 23 Set. 2017]. Disponível em http://www.prociv.pt/bk/SEGCINCENDEDEDIF/Documents/0_Abertura_Enquadramento_do_Processo_de_Revisao_das_NT_13,_14,_15,_16e_17.pdf
- [7] EN 12101-1:2006 – Smoke and heat control systems – Part 1: Specification for smoke barriers. Comité Européen de Normalisation, Bruxelas.
- [8] EN 12101-2:2017 – Smoke and heat control systems – Part 2: Natural smoke and heat exhaust ventilators. Comité Européen de Normalisation, Bruxelas.
- [9] EN 12101-3:2015 – Smoke and heat control systems – Part 3: Specification for powered smoke and heat control ventilators (Fans). Comité Européen de Normalisation, Bruxelas.
- [10] EN 12101-6:2005 – Smoke and heat control systems – Part 6: Specification for pressure differential systems – Kits. Comité Européen de Normalisation, Bruxelas.
- [11] NFPA 92 – Standard for Smoke Control Systems. National Fire Protection Association, 2012.
- [12] NP 4540 – Sistemas de ventilação de impulso em parques de estacionamento cobertos não compartimentados. Instituto Português da Qualidade, Caparica, 2015.

- [13] BS 7346-7:2006 – Components for smoke and heat control systems – Part 7: Code of practice on functional recommendations and calculation methods for smoke and heat control systems for car parks. British Standards Institute, Londres.
- [14] EN 12845:2015 – Fixed firefighting systems – Automatic sprinkler systems – Design, installation and maintenance. Comité Européen de Normalisation, Bruxelas.
- [15] NFPA 13 – Standard for the Installation of Sprinkler Systems. National Fire Protection Association, 2010.
- [16] CEA Insurers of Europe – CEA 4001 – Sprinkler Systems: Planning and Installation. Bruxelas, 2009.
- [17] NFPA 20 – Standard for the Installation of Stationary Pumps for Fire Protection. National Fire Protection Association, 2016.
- [18] COELHO, ANTÓNIO L. – Incêndios em Edifícios. 1ª ed. Edições Orion, 2010.
- [19] WALTON, WILLIAM D.; THOMAS, PHILIP H.; OHMIYA, YOSHIFUMI – Estimating Temperatures in Compartment Fires. SFPE Handbook of Fire Protection Engineering: Springer, 2016, p. 996-1023.
- [20] VIEGAS, JOÃO C. G. – Utilização de Ventilação de Impulso em Parques de Estacionamento Cobertos. 1ª ed. LNEC, 2008.
- [21] ALPERT, RONALD L. – Ceiling Jet Flows. SFPE Handbook of Fire Protection Engineering: Springer, 2016, p. 429-454.
- [22] FLAKT WOODS – Fans in Fire Safety – Fire smoke venting – A practical guide to smoke control for enclosed car parks [Em linha]. [Consult. 12 Jul. 2017]. Disponível em <http://resources.flaktwoods.com/Perfion/File.aspx?id=b96b3560-6af1-4bb2-a8b5-5dda38daa15c>
- [23] KLOTE, JOHN H. – Smoke Control. SFPE Handbook of Fire Protection Engineering: Springer, 2016, p. 1785-1823.
- [24] FLAKT WOODS – Ventilation Solutions. Product Range – Car Park Ventilation, 50 Hz [Em linha]. Essex [Consult. 16 Ago. 2017]. Disponível em <http://resources.flaktwoods.com/Perfion/File.aspx?Id=5bf8dfda-1f74-4706-994f-6c1762a79b8e>

- [25] RODRIGUEZ, ALFREDO LOZANO – Manual de Ventilación y extracción en aparcamientos. AEDICI – Asociación Española de Ingenierías e Ingenieros Consultores de Instalaciones, 2013.
- [26] Decreto-Lei n.º 235/83, de 31 de Maio. Diário da República n.º 125 – 31-5-1983 – 1.ª Série. Ministério da Habitação, Obras Públicas e Transportes, Lisboa.
- [27] VIEGAS, JOÃO CARLOS – Controlo de fumo por varrimento em parques de estacionamento cobertos: aplicação da ventilação de impulso. III Conferência Nacional em Mecânica de Fluidos, Termodinâmica e Energia. Bragança, 2009.
- [28] McGRATTAN, KEVIN; MILES, STEWART – Modeling Fires Using Computational Fluid Dynamics (CFD). SFPE Handbook of Fire Protection Engineering: Springer, 2016, p. 1034-1065.
- [29] NATIONAL INSTITUTE OF STANDARDS AND TECHNOLOGY – Fire Dynamics Simulator Technical Reference Guide Volume 1: Mathematical Model. Austin, Texas, 2017.
- [30] SODECA – Sistemas de controlo de pressurização para escadas, átrios e saídas de emergência [Em linha]. [Consult. 23 Jun. 2017]. Disponível em www.sodeca.pt/upload/imgCatalogos/PT/FO37_SistemasPresurizacion_PT.pdf
- [31] AUTORIDADE NACIONAL DE PROTECÇÃO CIVIL (ANPC) – Segurança Contra Incêndios em Edifícios, Nota Técnica N.º 16, Sistemas Automáticos de Extinção por água. Dezembro de 2011. Lisboa.
- [32] NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION – Automatic Sprinkler Systems Handbook. Quincy, Massachusetts, 2010.
- [33] ASSOCIAÇÃO PORTUGUESA DE SEGURANÇA (APSEI) – Ficha Técnica n.º 27 – Sistemas Fixos de Extinção Automática de Incêndio por Sprinklers. Setembro de 2009. Lisboa.
- [34] AUTORIDADE NACIONAL DE PROTECÇÃO CIVIL (ANPC) – Segurança Contra Incêndios em Edifícios, Nota Técnica N.º 18, Sistemas de Cortina de Água. Dezembro de 2013. Lisboa.
- [35] PEDROSO, VITOR M. R. – Sistemas de Combate a Incêndios em Edifícios de acordo com a nova regulamentação. 4ª ed. LNEC, 2016.

[36] AUTORIDADE NACIONAL DE PROTECÇÃO CIVIL (ANPC) – Segurança Contra Incêndios em Edifícios, Nota Técnica N.º 14, Fontes Abastecedoras de Água para o Serviço de Incêndio (SI) (Despacho n.º 1176/2013, de 14 de outubro), Retificada pela Declaração de Retificação n.º 13042/2013, de 6 de novembro. Lisboa.

[37] AUTORIDADE NACIONAL DE PROTECÇÃO CIVIL (ANPC) – Segurança Contra Incêndios em Edifícios, Nota Técnica N.º 15, Centrais de Bombagem para o Serviço de Incêndio (Despacho n.º 14903/2013, de 18 de novembro). Lisboa.

[38] PREVITOP – Catálogo de fichas técnicas 2017 – Material de combate a incêndio [Em linha]. [Consult. 16 Set. 2017]. Disponível em previtop.pt/img/home/CatálogoFichasTécnicas_2017_PT.pdf

[39] AUTORIDADE NACIONAL DE PROTECÇÃO CIVIL (ANPC) – Segurança Contra Incêndios em Edifícios, Nota Técnica N.º 13, Redes Secas e Húmidas (Despacho n.º 12605/2013, de 3 de outubro). Lisboa.

[40] FLAKT WOODS – Designing a Smoke Control Car Park System in accordance with QCDD, Section 7.2 [Em linha]. [Consult. 03 Jul. 2017]. Disponível em http://www.ashraeqatar.com/images/Car_Parks_Presentation_FlaktWoods.pdf