



Dimensionamento de sistemas mecânicos de controlo de fumos em edifícios

ANDRÉ NUNO FREITAS DE CASTRO CHAVES

outubro de 2025

Dimensionamento de sistemas mecânicos de
controlo de fumos em edifícios

André Nuno Freitas de Castro Chaves

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia Mecânica, Área de Especialização em Energia

Orientador: José Carlos Pereira Lopes da Costa

Júri:

Presidente:

Elza Maria Morais Fonseca, Professor Coordenador, ISEP

Vogais:

José Carlos Pereira Lopes da Costa, Professor Adjunto, ISEP

Maria Odete Magalhães Almeida, Professor Adjunto Convidado, ISEP

Porto, setembro 2025

Agradecimentos

O desenvolvimento deste trabalho contou com o contributo, orientação e incentivo de várias pessoas e instituições, a quem manifesto o meu reconhecimento.

Em primeiro lugar, agradeço ao Eng. José Carlos Pereira Lopes da Costa, orientador no Instituto Superior de Engenharia do Porto, pela sua constante orientação académica, pelas sugestões pertinentes e pela motivação transmitida.

Gostaria de manifestar também o meu sincero agradecimento à Eng. Cristina Bernardo, orientadora na Sodeca Portugal, pela disponibilidade contínua, pela orientação técnica e pela confiança concedida ao longo do estágio. O acompanhamento rigoroso e a partilha de conhecimento teórico e prático constituíram um contributo indispensável para o sucesso deste trabalho.

Aos colaboradores da Sodeca Portugal, manifesto o meu sincero apreço pela forma como me integraram, pelo espírito de cooperação e pela colaboração prestada, sempre marcada pela simpatia e profissionalismo.

Agradeço ainda à minha família e amigos pelo apoio incondicional, paciência e constante incentivo no decorrer desta etapa exigente da minha vida académica.

Resumo

A presente tese pretende explorar o dimensionamento de sistemas mecânicos de controlo de fumos em edifícios, assegurando a proteção dos ocupantes e o cumprimento das exigências regulamentares.

O trabalho aborda os princípios da combustão, a propagação de fumos, os métodos de controlo de fumos e os principais componentes existentes nos sistemas, bem como o enquadramento legal e normativo aplicável. É desenvolvido um caso prático relativo a um edifício de habitação coletiva, no qual são aplicados métodos de cálculo de caudais, seleção e modelação de ventiladores incluídos no sistema, apoiados em ferramentas de modelação digital e seleção de equipamentos. Após a instalação do sistema, foram realizados ensaios experimentais com medições de velocidade e testes com fumo artificial, que permitiram avaliar a eficácia e bom funcionamento da solução implementada.

Embora apresentando discrepâncias pontuais no desempenho de determinados ventiladores, estas não comprometeram o funcionamento global do sistema nem os objetivos definidos. A análise realizada confirma a relevância da integração entre contexto teórico, dimensionamento técnico e validação experimental, contribuindo para a melhoria da segurança contra incêndios em contextos residenciais e reforçando a importância de soluções de engenharia rigorosas tendo em vista a proteção de seres humanos e património.

PALAVRAS-CHAVE: Segurança contra incêndios, Controlo de fumos, Dimensionamento de sistemas de ventilação, Pressurização

Abstract

This thesis aims to explore the design of mechanical smoke control systems in buildings, ensuring the protection of occupants and compliance with regulatory requirements. The work addresses the principles of combustion, smoke propagation, smoke control methods, and the main components of such systems, as well as the applicable legal and normative framework. A practical case study was developed for a residential building, in which airflow calculations, fan selection and modelling were applied, supported by digital modelling tools and equipment specification. After the system was installed, experimental tests were conducted, including air velocity measurements and artificial smoke tests, which allowed for the evaluation of the effectiveness and proper functioning of the implemented solution. Although some punctual discrepancies were observed in the performance of certain fans, these did not compromise the overall functioning of the system or the defined objectives. The analysis confirms the relevance of integrating theoretical background, technical design, and experimental validation, contributing to the improvement of fire safety in residential contexts and reinforcing the importance of rigorous engineering solutions aimed at safeguarding both human life and property.

KEYWORDS: Fire safety, Smoke control, Ventilation system design, Pressurization

Índice

Índice Figuras	x
Índice de Tabelas	xi
Acrónimos e Símbolos	xiii
1 Introdução	1
1.1 Considerações Gerais	1
1.2 Apresentação do Estágio	1
1.3 Objetivos do Estágio	1
1.4 Apresentação da empresa	5
2 Revisão Bibliográfica	7
2.1 Conceitos básicos	7
2.1.1 Princípios das reações químicas	7
2.1.2 Combustão	8
2.2 Classes de fogos	11
2.3 Composição dos fumos	12
2.4 Efeitos a Longo Prazo das Lesões por Inalação de Fumos	12
2.5 Propagação dos fumos	14
2.6 Normas e Regulamentos	16
2.7 Métodos de Controlo de Fumos	16
2.7.1 Varrimento	17
2.7.2 Pressurização	19
2.8 Perdas de Carga em Conduitas de Ar	23
2.9 Componentes principais dos sistemas de controlo de fumos mecânicos	25
2.9.1 Ventilação	25
2.9.2 Compartimentação	26
2.9.3 Sensores de Detecção de Fumos	30
2.9.4 Interruptores de Desenfumagem	30
2.9.5 Sistemas de Controlo de Fumos Inteligentes	31
2.10 Parques de Estacionamento	31
2.10.1 Ventilação de Impulso	32
2.10.2 Presença do Monóxido de Carbono	35
3 Caso de Estudo	39
3.1 Análise do edifício	39
3.2 Dimensionamento do sistema de controlo de fumos	40
3.2.1 Seleção de Equipamentos	46
3.2.2 Modelação e Instalação do Sistema	57

4	Ensaaios experimentais em obra	63
4.1	Resultados obtidos e Análise	64
5	Conclusão	69
	Referências	71
	Anexo A - Tabela de seleção do Exutor EXP	77
	Anexo B - Ficha Técnica THT-CL	79
	Anexo C - Ficha técnica CJBD-ALS	82
	Anexo D - Ficha técnica CI	84
	Anexo E - Ficha técnica BOXPRESS KIT	87
	Anexo F Desenhos Técnicos	90

Lista de Figuras

1.1	Maquete de Pressurização, da Sodeca.	4
1.2	Sede da Sodeca Internacional, na Catalunha [1].	5
2.1	Ilustração da combustão de uma vela [2]	8
2.2	Triângulo do fogo - retirado de [3]	10
2.3	Tetraedro do fogo - retirado de [4]	10
2.4	Estratificação dos fumos [5].	14
2.5	Varrimento passivo exemplificado [6].	17
2.6	Exemplo de um sistema de pressurização instalado num átrio independente [7].	19
2.7	Ação de um sistema de pressurização em função do tempo [7].	22
2.8	Ventilador de desenfumagem THT-CL, da Sodeca [1].	25
2.9	Ventilador de desenfumagem THT-WALL-F, da Sodeca [1].	26
2.10	Equipamento de Pressurização KIT BOXPDS, da Sodeca [1].	26
2.11	Conduta para extração de fumos, da TRIA	27
2.12	Registo corta-fogo CF6, da Sodeca [1]	28
2.13	Esquema de um exemplo de uma Sistema Automático de Detecção de Incêndios (SADI)	30
2.14	Sensor de Detecção de Fumos fotoelétrico, da Panasonic	30
2.15	Interruptor de segurança - modelo IAT, da Sodeca [1]	31
2.16	Esquema de funcionamento de Ventiladores de Impulso	32
2.17	Correta disposição de Ventiladores de Impulso - Rampas	33
2.18	Correta disposição de Ventiladores de Impulso - Estagnação	34
2.19	Correta disposição de Ventiladores de Impulso - Proximidade a obstáculos	34
2.20	Correta disposição de Ventiladores de Impulso - Campo de Velocidade	34
3.1	Descrição do Piso -1	40
3.2	Descrição do Piso-2	40
3.3	Vistas 3D do edifício	40
3.4	VVE e CCF sinalizadas no edifício	42
3.5	Via Vertical de Evacuação do edifício	43
3.6	Tabela A.2 [8]	43
3.7	Esquema de pressurização da Via(s) Vertical(is) de Evacuação (VVE) e Câmara(s) Corta-Fogo (CCF)	45
3.8	Planta do Piso -1 - Ventilador de Impulso	47
3.9	Planta do Piso -2 - Ventilador de Impulso	47
3.10	Tabela de seleção - grelha HO	48
3.11	Representação do Portão do Piso-1 (medidas em mm)	50
3.12	Representação do Portão do Piso-2 (medidas em mm)	51
3.13	Representação do Portão das <i>boxes</i> (medidas em mm)	52

3.14 Planta do Piso -1 - Detetores de CO	55
3.15 Planta do Piso -2 - Detetores de CO	56
3.16 Planta do Piso -1	57
3.17 Planta do Piso -2	57
3.18 Ventiladores de Extração - Pormenor de Instalação	58
3.19 Vista 3D da Extração do parque de estacionamento	58
3.20 Plantas do Piso -1 e Piso -2 - Detalhe Pressurização	59
3.21 Ventiladores de Pressurização - Vista Lateral	59
3.22 Ventiladores de Pressurização - Pormenor de Instalação Interior	60
3.23 Ventiladores de Pressurização - Pormenor de Instalação Exterior	60
3.24 Ventilador de Impulso - Pormenor de Instalação	60
3.25 Kits de Pressurização - Pormenor de Instalação	61
3.26 Vista 3D - Pormenor Exutor de Fumo	61
4.1 MP210 da <i>Kimo Instruments</i>	63
4.2 LSM900W da <i>Ibiza Light</i>	64
4.3 Pontos de medição na porta	64
4.4 Pontos de medição no VED-1	66
4.5 Teste com máquina de fumo no Piso -1	67

Lista de Tabelas

2.1	Classes de reação ao fogo - EN 13501-1:2019 [9]	28
2.2	Limites de Exposição ao Monóxido de Carbono (CO) - OMS 2021 [10]	35
2.3	Caudais de extração mínimos para diferentes concentrações de Monóxido de Carbono (CO) [11]	37
3.1	Número de lugares de estacionamento por piso no parque.	41
3.2	Ventiladores - Caudal	45
3.3	Cálculos relativos às grelhas dos portões dos Pisos -1 e -2	49
3.4	Cálculos relativos às grelhas dos portões dos Pisos -1 e -2	52
3.5	Seleção final dos equipamentos	53
3.6	Seleção final das grelhas	53
3.7	Seleção final dos interruptores	54
3.8	Área dos corredores dos pisos do parque	55
4.1	Medições da velocidade com uma porta aberta	65
4.2	Medições da velocidade com duas portas abertas	65
4.3	Medições da velocidade no VED-1	66

Acrónimos e Símbolos

Lista de Acrónimos

APSEI Associação Portuguesa de Segurança

ASHRAE *American Society of Heating Refrigerating and Air-Conditioning Engineers*

AVAC Aquecimento Ventilação e Ar Condicionado

BIM *Building Information Modeling*

CAD *Computer Aided Design*

CCF Câmara(s) Corta-Fogo

CDI Central de Incêndio

CFD *Computational Fluid Dynamics*

CO Monóxido de Carbono

COHb Carboxihemoglobina

DPOC Doença Pulmonar Obstrutiva Crónica

EMAF Feira Internacional de Máquinas Equipamentos e Serviços para a Indústria

ERP *Enterprise Resource Planning*

ISEP Instituto Superior de Engenharia do Porto

LII Limite Inferior de Inflamabilidade

LSI Limite Superior de Inflamabilidade

OMS Organização Mundial de Saúde

P.PORTO Instituto Politécnico do Porto

PTSD *Post-Traumatic Stress Disorder*

PVC Policloreto de Vinil

RJ-SCIE Regime Jurídico de Segurança Contra Incêndios em Edifícios

RT-SCIE Regulamento Técnico de Segurança Contra Incêndios em Edifícios

SADI Sistema Automático de Detecção de Incêndios

VVE Via(s) Vertical(is) de Evacuação

Lista de Símbolos

ΔP_{linha}	perdas de carga por atrito em Pa
ΔP_{loc}	perdas de carga localizadas em Pa
ΔP_{total}	perdas de carga totais em Pa
Re	número de Reynolds
ν	viscosidade cinemática em $\text{m}^2 \text{s}^{-1}$
ε	fator de rugosidade absoluta do material em m
a	comprimento de um dos lados da conduta em m
A_{fuga}	somatório das áreas de fuga através de portas e janelas em m^2
$A_{\text{mín, Piso -1}}$	área mínima de abertura no Piso -1 em m^2
$A_{\text{mín, Piso -2}}$	área mínima de abertura no Piso -2 em m^2
A_{porta}	área da porta da via vertical de evacuação em m^2
A_{total}	área total da grelha em m^2
$A_{\text{VED-1}}$	área da secção do ventilador VED-1 em m^2
$A_{\text{útil}}$	área útil da grelha em m^2
b	comprimento do lado adjacente da conduta em m
C_p	coeficiente de passagem da grelha
C_v	coeficiente de descarga
D_h	diâmetro hidráulico em m
D_{ef}	diâmetro efetivo em m
f	fator de atrito
K	coeficiente de perda localizada
L	comprimento da conduta em m
m	massa em kg
$Q_{\text{ext, Piso -1}}$	caudal de extração mínimo no Piso -1 em $\text{m}^3 \text{h}^{-1}$
$Q_{\text{ext, Piso -2}}$	caudal de extração mínimo no Piso -2 em $\text{m}^3 \text{h}^{-1}$
Q_{grelha}	caudal de passagem na grelha em $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$
$Q_{\text{porta aberta}}$	caudal para manter a divisão em sobrepressão, com a(s) porta(s) aberta(s) em $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$

$Q_{\text{porta fechada}}$ caudal para manter a divisão em sobrepressão, com a porta fechada em $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$

$Q_{\text{VED-1}}$ caudal do ventilador VED-1 em $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$

R coeficiente de escoamento

V velocidade média do escoamento em m s^{-1}

u_{grelha} velocidade de passagem do ar na grelha em m s^{-1}

u_{porta} velocidade de passagem do ar na porta em m s^{-1}

$u_{\text{VED-1}}$ velocidade de passagem do ar no ventilador VED-1 em m s^{-1}

ΔP diferença de pressão em Pa

ρ massa volúmica em kg m^{-3}

1 Introdução

1.1 Considerações Gerais

O estágio curricular desenvolvido na **SODECA Portugal** foi parte integrante do Mestrado em Engenharia Mecânica, com especialização na área de Energia. Este período de formação prática desempenhou um papel importante na preparação da minha tese de mestrado, permitindo-me enfrentar de forma direta os desafios técnicos e científicos do setor, tal como desenvolver o estudo de casos práticos.

Reconhecida pelo seu envolvimento na produção e distribuição de soluções de ventilação industrial nomeadamente no controlo de fumo, ventilação de túneis, pressurização de escadas e melhoria da qualidade do ar interior a SODECA Portugal ofereceu um ambiente enriquecedor para o aprofundamento de conhecimentos em eficiência energética, sustentabilidade e segurança em sistemas de ventilação.

1.2 Apresentação do Estágio

O estágio curricular que desenvolvi na SODECA Portugal teve como objetivos principais a realização deste trabalho e o aperfeiçoamento de competências técnicas e interpessoais, essenciais para a conclusão do percurso académico.

Na SODECA Portugal, o acompanhamento das atividades e do progresso do estágio esteve sob a responsabilidade da Eng^a Cristina Bernardo, chefe do departamento técnico da empresa. Este departamento desempenha um papel de consultoria e apoio técnico a projetistas e instaladores de Aquecimento Ventilação e Ar Condicionado (AVAC) no âmbito dos sistemas mecânicos de controlo de fumo, simulações de *Computational Fluid Dynamics* (CFD), elaboração e acompanhamento de propostas comerciais, formação e divulgação técnica. A participação contínua no trabalho realizado no gabinete em questão foi crucial para aprofundar conhecimentos técnicos e aplicá-los em contextos práticos, especialmente na área de AVAC e no estudo de sistemas de controlo de fumos mecânicos, que constitui o foco do trabalho.

1.3 Objetivos do Estágio

Além de contribuir para a elaboração da dissertação e a obtenção do título de mestre, o estágio curricular desenvolvido na SODECA Portugal teve como foco principal a análise e criação de soluções de dimensionamento de sistemas de controlo de fumos mecânicos em edifícios. Este propósito envolve a aplicação prática e integrada de todos os conhecimentos adquiridos ao longo da formação. O estágio decorreu no departamento técnico da empresa, envolvendo o apoio a projetistas na elaboração de projetos AVAC de controlo de fumos de incêndio. Esse apoio englobou várias etapas:

- **Análise das regulamentações nacionais e internacionais:**

Enquadrar as exigências legais portuguesas relativas à Segurança Contra Incêndios em Edifícios, com ênfase nos sistemas mecânicos de controlo de fumos e comparar estas regulamentações com padrões e normas internacionais aplicáveis. Seguido desta análise, desenvolver uma visão ampla sobre o papel das normas no dimensionamento de sistemas AVAC e de controlo de fumos.

- **Estudo dos princípios de controlo de fumos**

Compreender os variados métodos de controlo de fumos, realizando uma análise dos fundamentos físicos associados a cada abordagem. Identificar também os objetivos específicos de cada sistema no contexto da segurança em edifícios, com foco na proteção de vidas humanas e na preservação da integridade das instalações.

- **Dimensionamento de caudais e Estimativa de Perdas de Carga**

Com base na análise aos regulamentos em vigor, estabelecer caudais de insuflação e extração necessários de modo a cumprir os requisitos e assegurar a funcionalidade do sistema, no caso de sistemas de ventilação forçada. No caso de sistemas naturais, definir quais as áreas de abertura necessárias no edifício. Tendo em conta a rede de condutas, acessórios e outras perturbações no percurso do ar, estimar as perdas de carga presentes, de forma a garantir um correto dimensionamento do equipamento de ventilação presente.

- **Seleção de componentes e Conceção do Projeto**

Realizar uma seleção de vários componentes pertencentes ao sistema. Selecionar o tipo de ventilador adequado a cada situação tendo em conta a sua localização e função, por exemplo, se irá ser colocado na cobertura de um edifício ou será colocado em linha com as condutas, se irá ser instalado numa zona de risco de incêndio ou não, ou se irá extrair fumos de incêndio ou apenas insuflar ar do exterior. Tomar essas decisões com base numa análise feita aos desenhos técnicos fornecidos pela arquitetura do projeto, interpretados utilizando o software *DWG TrueView*. Este é um software da *Autodesk* que permite visualizar, medir, imprimir e converter ficheiros DWG e DXF. É normalmente utilizado por quem apenas precisa de consultar desenhos técnicos, sem os editar.

Utilizando o caudal e as perdas de carga calculadas, escolher um ventilador adequado a estes valores, tendo sempre atenção se as suas dimensões são apropriadas ao espaço de instalação a que se destina. Esta seleção foi sempre feita utilizando o software **Quick Fan**, da própria **Sodeca**.

Além de ventiladores, determinar quais os acessórios a ser utilizados em conformidade com os ventiladores selecionados.

- **Desenho e Modelação das Soluções**

Após seleção dos equipamentos do projeto a serem instalados, desenhar e modelar o sistema mecânico. Para tal recorrer a dois softwares da *Autodesk*:

- **AutoCAD** - software de *Computer Aided Design* (CAD), usado para criar plantas, esquemas e desenhos técnicos em 2D e 3D em várias áreas como arquitetura, mecânica e elétrica.

- **Revit** - software de *Building Information Modeling* (BIM), dividido em duas vertentes: *Revit Architecture* - focado na arquitetura e design de edifícios e *Revit MEP* - direcionado para a parte técnica/engenharias que inclui instalações elétricas, mecânicas e hidráulicas. Permite criar modelos 3D inteligentes, que incluem não só a geometria, mas também dados sobre materiais, estruturas e instalações. Outra vantagem é permitir a coordenação simplificada entre todas estas especialidades participantes no projeto.

A escolha do software a ser utilizado estava dependente do formato dos desenhos da arquitetura do projeto fornecidos, algo relacionado diretamente com o projetista que solicitava o gabinete técnico da Sodeca.

- **Orçamentação e Documentação Técnica**

Com base na seleção feita, elaborar a orçamentação de todos os componentes para enviar ao cliente. Esta orçamentação foi sempre realizada recorrendo ao software **Microsoft Dynamics AX**, uma solução de *Enterprise Resource Planning* (ERP). Reunir também toda a documentação técnica, tal como desenhos e memórias descritivas, de todos os equipamentos selecionados.

- **Aplicação prática em cenário real**

Acompanhar o desenvolvimento do projeto, prestando apoio aos instaladores. Realizar também testes no local da obra, visando assegurar o correto funcionamento dos equipamentos.

- **Desenvolvimento de competências profissionais e interpessoais**

Aperfeiçoar habilidades práticas, como gestão de tempo, organização e resolução de problemas complexos, essenciais para a prática da engenharia. No contexto da empresa, trabalha em colaboração com diferentes departamentos, desenvolvendo competências de trabalho em equipa multidisciplinar e comunicação interpessoal.

- **Contribuição para a sustentabilidade e segurança em engenharias**

Promover a eficiência energética e a sustentabilidade na construção dos sistemas propostos, assegurando que estejam alinhados com as melhores práticas do setor. No âmbito da proteção contra incêndios, estabelecer um foco na segurança das instalações, integrando soluções que reduzam os seus riscos associados e maximizem a proteção dos ocupantes e dos bens.

Além das etapas listadas, é de destacar a participação em várias atividades relacionadas com o tema abordado em representação da empresa e de enriquecimento técnico profissional:

- Presença e conclusão com sucesso da **Formação Técnica - Específica de Controlo de Fumo e Controlo de Poluição do ar** na Associação Portuguesa de Segurança (APSEI). Esta formação foi essencial para adquirir os conhecimentos que serviram de alicerces para a elaboração deste trabalho. Para além da aprendizagem da componente teórica do controlo de fumo foram introduzidos os documentos jurídicos e técnicos que incidem na matéria, bem

como realizados casos práticos de dimensionamento de sistemas de controlo de fumo com a realização de uma avaliação global final;

- Colaboração na **Feira Internacional de Máquinas Equipamentos e Serviços para a Indústria (EMAF)**, com presença no *stand* da Sodeca. Interação direta com clientes da empresa, assim como a exposição do catálogo a possíveis clientes e esclarecimento das suas dúvidas;
- Presença no seminário "**Eficiência Energética na Ventilação e Soluções para Controlo de Fumos**" realizado no Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP) e promovido pelo Mestrado em Energias Sustentáveis. O seminário em primeiro lugar fez uma introdução sobre o que é a ventilação em geral e como dimensionar os seus equipamentos, passando em seguida para como tornar os sistemas de ventilação mais eficientes energeticamente, expondo as soluções apresentadas pela Sodeca. A segunda parte do seminário, onde tive uma participação direta, incidiu no controlo de fumo e no dimensionamento dos seus sistemas mecânicos.
- Envolvimento na edição do "Café com Segurança" da APSEI com destaque do tema "**Controlo de fumo**" com presença de vários profissionais da área. Entre projetistas, fabricantes e instaladores foi proporcionada uma troca de experiências e conhecimentos de elevada relevância para o trabalho realizado. Além disso, uma participação ativa na apresentação de uma maquete demonstrativa no âmbito deste evento. A maquete ilustra o funcionamento do sistema de pressurização numa caixa de escadas de um edifício, utilizando para esse efeito uma máquina de fumos, um ventilador de pressurização e um quadro de controlo de pressurização - Figura 1.1.



Figura 1.1: Maquete de Pressurização, da Sodeca.

1.4 Apresentação da empresa

O setor da climatização e ventilação em Portugal conheceu um desenvolvimento expressivo a partir da segunda metade da década de 1980, num período marcado por instabilidade política e transformações económicas. Apesar das dificuldades no setor da construção civil, a crescente procura por conforto ambiental e segurança em edifícios residenciais, comerciais e industriais impulsionou a expansão desta área.

Foi neste contexto que, em 1985, surgiu a empresa D.E.C. Flex – Distribuição de Equipamentos e Conduitas Flexíveis, Lda., posteriormente integrada na estrutura internacional da **SODECA**. A sua criação esteve associada à inexistência, no mercado nacional, de soluções diferenciadas no segmento de conduitas flexíveis, à disponibilidade deste tipo de produtos no espaço europeu e à perceção do seu potencial de aplicação em sistemas de ventilação.

Desde então, a empresa contribuiu para a introdução de novas soluções no setor português de ventilação, com destaque para as conduitas flexíveis, e para uma maior valorização de aspetos relacionados com a montagem e a logística destes sistemas. Com a sua evolução, consolidou-se como parte de uma estrutura internacional, desenvolvendo atualmente atividades em várias áreas do setor da ventilação, incluindo a **proteção contra incêndios** especialmente em matéria de controlo de fumo e pressurização de escadas em vias de evacuação. A sede da Sodeca Internacional localiza-se em Espanha, na Catalunha - Figura [1.2](#).



Figura 1.2: Sede da Sodeca Internacional, na Catalunha [\[1\]](#).

Introdução

2 Revisão Bibliográfica

Os sistemas de controlo de fumos mecânicos desempenham um papel importante na engenharia de segurança contra incêndios. Eles são projetados para gerir os fumos produzidos durante incêndios, minimizando os riscos para os ocupantes e facilitando a intervenção das equipas de emergência. Além disso, evitam a propagação de calor e gases tóxicos protegendo a infraestrutura e contribuindo para a resiliência dos edifícios.

O dimensionamento destes sistemas é uma tarefa com um grau elevado de complexidade que envolve o conhecimento de dinâmicas de fluidos, regulamentações técnicas, seleção de equipamentos e simulação computacional.

2.1 Conceitos básicos

As reações químicas são fundamentais para compreender a transformação da matéria, estando sempre associadas a alterações energéticas que podem traduzir-se em absorção ou libertação de energia. Entre elas, a combustão destaca-se pela relevância na produção de energia e pelos riscos relacionados com o seu descontrolo, como os incêndios. Para compreender o comportamento de um incêndio é necessário conhecer os princípios da combustão, abordando os mecanismos de iniciação e propagação, os fatores que condicionam a reação e a influência das condições ambientais.

2.1.1 Princípios das reações químicas

Uma reação química refere-se a um processo em que substâncias denominadas como reagentes se convertem em novas substâncias conhecidas como produtos. Essa transformação acontece devido à quebra e formação de ligações químicas, que resulta na reorganização dos átomos. Os produtos resultantes da reação são física e quimicamente distintos dos reagentes que lhes dão origem. Entre os reagentes e os produtos da reação é verificado também um balanço energético, uma das principais características das reações químicas. [12] [13]

A **energia de reação** consiste na quantidade de energia que está envolvida numa certa reação química. Dependendo se essa energia é absorvida ou libertada, podemos classificar as reações em endotérmicas ou exotérmicas, respetivamente. Numa reação **endotérmica** a energia é fornecida pelo ambiente exterior, resultando numa maior energia dos produtos comparando com os reagentes. Por outro lado, numa reação **exotérmica** o ambiente exterior absorve a energia, logo os reagentes possuem mais energia que os produtos da reação. [12]

Para que uma reação aconteça, a colisão dos reagentes deve ocorrer de forma energizada e na orientação correta. O mínimo de energia indispensável para dar início a uma reação é designado como **energia de ativação**. Quando as moléculas dos reagentes colidem com uma energia igual ou superior a esse limiar, formam um inter-

mediário de curta duração conhecido como estado de transição, que posteriormente leva à formação dos produtos.

As reações químicas são classificadas em diversos tipos, sendo o tipo abordado neste estudo a combustão. Uma reação de combustão acontece quando uma substância reage com o oxigênio, libertando energia. [12] [13]

2.1.2 Combustão

A combustão é um tipo de reação química **exotérmica** que se caracteriza pela oxidação, isto é, pela transformação de substâncias que liberta energia sob a forma de calor e luz. No caso da combustão o agente redutor denomina-se **combustível** e o agente oxidante denomina-se **comburente**. Geralmente, um combustível (como madeira, gasolina, cera ou gás natural) e um comburente (oxigênio) queimam juntos, gerando produtos como dióxido de carbono (CO_2) e vapor de água (H_2O), que variam consoante o combustível. Os combustíveis mais presentes na combustão são madeira, cera, papel, gasolina, álcool e gases inflamáveis e podem estar no estado sólido, líquido ou gasoso. Relativamente ao comburente é geralmente o oxigênio presente no ar, que permite a oxidação do combustível. O ar atmosférico a baixa altitude contém aproximadamente **21%** de oxigênio, sendo necessário pelo menos 16% para sustentar uma chama aberta. Isto verifica-se para a maior parte dos combustíveis, porém, existem outros que necessitam de percentagens de oxigênio inferiores a 10% para se extinguirem. Combustíveis sólidos já conseguem arder, sem chamas, em ambientes com percentagens inferiores a 6%. [12] [13].

Na Figura 2.1 pode-se observar uma ilustração sobre uma simples combustão de uma vela. Está presente o combustível (cera), o comburente (oxigênio) e os produtos (CO_2 e vapor de água (H_2O)).

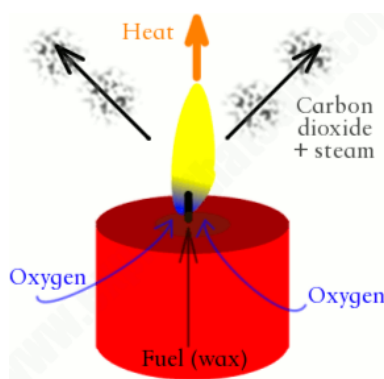


Figura 2.1: Ilustração da combustão de uma vela [2]

A combustão pode ser classificada em dois tipos principais, tendo em conta a quantidade de oxigênio:

- **Combustão completa:** ocorre pela queima de oxigênio e combustível em proporção estequiométrica ou em excesso, resultando em CO_2 e H_2O .
- **Combustão incompleta:** Com o uso de combustíveis sólidos ou líquidos, ocorre a queima em baixa temperatura com escassez de oxigênio e resulta em produtos como monóxido de carbono (CO) e fuligem (carbono sólido). [13]

Quanto à forma de libertação de energia, a combustão também se distingue em dois tipos.

- **Combustão lenta:** A energia apenas é libertada sob a forma de calor.
- **Combustão viva:** A energia é libertada tanto através de calor como via radiação luminosa. Esta combustão é mais conhecida pela denominação **fogo**.

Esta combustão viva é perigosa e deve ser controlada o mais rapidamente possível. Se existir um descontrolo deste fogo, a sua denominação passará a ser um **incêndio**.

[12]

A coexistência de combustível e comburente num determinado espaço e tempo, por si só, não despoleta uma combustão. Esta condição tem de ser satisfeita, mas não é suficiente para iniciar a reação. Para ela acontecer, uma energia classificada como **energia de ativação** é necessária. Esta energia pode ser fornecida sob várias formas, no entanto, a mais comum é uma fonte de calor. Qualquer fonte é considerada energia de ativação quando é capaz de elevar a temperatura do combustível até o seu ponto de ignição, iniciando a combustão. [12] [14]

Esta fonte de calor pode surgir de várias origens. As mais comuns são a **térmica, elétrica, mecânica e química**. Quanto à origem térmica poderá surgir por meio de materiais ou equipamentos como fósforos, isqueiros, fornos, caldeiras, etc. As fontes elétricas são sobretudo descarga de equipamentos elétricos, como interruptores e disjuntores e sobreaquecimento de instalações elétricas. A origem mecânica advém maioritariamente de chispas e sobreaquecimento resultante da fricção mecânica. A combustão espontânea e a reação de substâncias auto-oxidantes protagonizam as principais fontes de origem química. [12]

Para existir um fogo, 3 componentes fundamentais são necessários. O **triângulo do fogo** - Figura 2.2 - representa esses componentes, sendo eles:

1. **Combustível**
2. **Comburente**
3. **Fonte de calor**

Se qualquer um dos três elementos for removido, o fogo extingue-se. Isso forma a base das principais estratégias de prevenção e combate a incêndios:

- **Remover o combustível** - evitando a acumulação de materiais inflamáveis;
- **Reduzir o comburente** - usando espumas e gases inertes como CO₂ para suprimir o oxigénio;
- **Absorver o calor** - através da aplicação de água ou outros agentes de arrefecimento. [14]

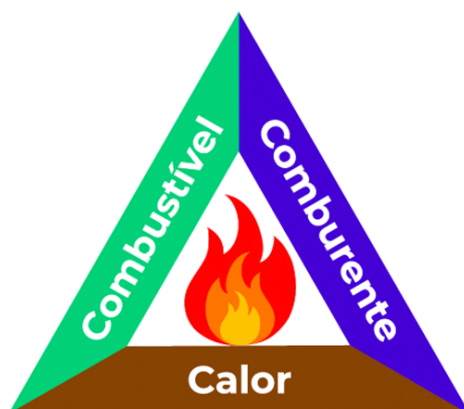


Figura 2.2: Triângulo do fogo - retirado de [3]

Este conceito descreve os elementos que provocam o começo de um fogo, no entanto, ele é desatualizado e simples. Pesquisas mais avançadas demonstraram que, além dos três elementos do triângulo do fogo, existe um quarto fator essencial para que a combustão continue:

4. **Reação química em cadeia** - Quando a combustão começa, ocorrem reações químicas que geram radicais livres, sustentando a queima. Esse processo gera um ciclo onde o calor produzido é suficiente para manter a combustão, vaporizando mais combustível e dando continuidade à reação.

Esta autossustentação da combustão e o seu aumento são asseguradas pela reação em cadeia e originaram um modelo denominado **tetraedro do fogo** - Figura 2.3. Este modelo é essencial para entender porque alguns incêndios são difíceis de extinguir e como certos agentes atuam no seu combate.

Certos agentes químicos utilizados na extinção de incêndios, como o pó ABC, atuam interrompendo a reação em cadeia, impedindo que a combustão continue. Halons - agente extintor de compostos químicos formado por elementos halogênios (flúor, cloro, bromo e iodo) destroem os radicais livres necessários para a sustentação da reação química, extinguindo o fogo rapidamente. [12] [14]



Figura 2.3: Tetraedro do fogo - retirado de [4]

A proporção combustível/ar também influencia a ocorrência ou não de combustão. Os **limites de inflamabilidade** dos combustíveis ditam se a combustão é possível ou não. Estes limites, expressos em percentagem, representam a relação volúmica entre o combustível e o ar. O Limite Inferior de Inflamabilidade (LII) é o valor mínimo da concentração volúmica de combustível no ar que possibilita a combustão, enquanto que o Limite Superior de Inflamabilidade (LSI) representa o valor máximo que permite a reação. Quanto maior for o intervalo de valores entre o LII e o LSI, mais provável é a ocorrência de uma combustão na mistura de um determinado combustível com o ar.

A pressão e a temperatura têm influência nestes valores apresentados pelos combustíveis. Xueling Liu e Qi Zhang [15] realizaram um estudo sobre qual o valor dessa influência no hidrogénio (H_2). Os resultados obtidos demonstraram que este intervalo de inflamabilidade aumenta quando os valores de pressão e temperatura sofrem também um aumento.

2.2 Classes de fogos

De acordo com a norma portuguesa NP 1800/2011 [16] norma, existem 5 classes de fogo distintas:

- **Classe A:** Fogos de componentes sólidos, maioritariamente de natureza orgânica, tais como madeira, papel, têxteis e carvão. Esta combustão ocorre com formação de brasas.
- **Classe B:** Fogos originados por combustíveis líquidos, tais como gasolina, óleos e álcool ou sólidos liquidificáveis, tais como resinas, parafinas e ceras. Esta combustão ocorre sem formação de brasas,
- **Classe C:** Fogos formados por gases combustíveis, tais como gás natural, propano e butano.
- **Classe D:** Fogos de metais leves, tais como magnésio, sódio e potássio.
- **Classe F:** Fogos originados por produtos utilizados na confeção de alimentos, tais como gorduras e óleos, nos equipamentos de cozinha.

Esta definição das classes de fogos é importante para o combate a incêndios, pois ela está na base da escolha do tipo de agente extintor que melhor se adequa a cada situação. Esta sistematização assegura assim um combate eficaz no terreno. A escolha dos sistemas fixos de extinção automática de incêndios por água, mais conhecidos como sprinklers, também é influenciada pelas classes de fogos. [12] [17]

2.3 Composição dos fumos

A dinâmica dos fumos refere-se ao estudo e análise do comportamento dos gases e partículas em suspensão quando libertados em ambientes internos ou externos.

A composição dos fumos de incêndio está dependente do material em questão a ser queimado.

Os materiais naturais, como madeira, papel, algodão e lã, têm alto teor de carbono e hidrogénio. A combustão desses materiais gera produtos típicos, como: monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂), óxidos de nitrogénio (NO), vapor de água (H₂O) e partículas: aerossóis e fuligem.

Os materiais sintéticos, como plásticos, polímeros e espumas, produzem fumos mais tóxicos devido à presença de elementos como nitrogénio, cloro, enxofre e fósforo. Por exemplo, a queima de Policloreto de Vinil (PVC) produz ácido clorídrico (HCl) e os plásticos nitrogenados (Nylon, poliuretano) libertam cianeto de hidrogénio (HCN), amoníaco (NH₃) e óxidos de nitrogénio (NO_x).

Em situações reais de incêndio, muitos materiais queimam simultaneamente, resultando numa mistura de produtos. Estas reações entre diferentes compostos pode aumentar a toxicidade dos fumos. [18]

A disponibilidade de oxigénio afeta também diretamente a composição dos fumos. Uma combustão rica em oxigénio induz à formação de CO₂ e reduz a formação de gases tóxicos, enquanto que uma combustão com défice de oxigénio resulta num aumento de produção de CO, HCN, hidrocarbonetos não queimados e fuligem.

Quanto às partículas libertadas pela combustão em incêndios elas são de variadas dimensões. Estão predominantemente na faixa dos aerossóis finos ($< 2,5 \mu\text{m}$) e são muito prejudiciais à saúde humana, pois penetram no sistema respiratório e podem resultar em irritação e doenças respiratórias.

Relativamente à toxicidade dos fumos, ela não depende só da composição química dos fumos, mas também da concentração e tempo de exposição à substância em causa.

A maioria das mortes provocadas por incêndios é causada pelo monóxido de carbono (CO) pois tem uma elevada afinidade com a hemoglobina, o que resulta numa redução da capacidade do sangue em transportar oxigénio. [18]

O mecanismo tóxico do cianeto de hidrogénio (HCN) e do ácido clorídrico (HCl) é a interferência na respiração celular, podendo levar à asfixia celular. Quanto ao dióxido de carbono (CO₂), embora não seja tóxico, se estiver numa elevada concentração desloca o oxigénio no ambiente, podendo causar hipoxia (os tecidos do corpo não recebem oxigénio suficiente e pode causar danos irreversíveis). Relativamente ao óxido de nitrogénio (NO) ele causa também irritação nas vias respiratórias e danos nos tecidos pulmonares. Os seus efeitos tóxicos podem aumentar se o NO se oxidar e transformar em dióxido de nitrogénio (NO₂), resultando em inflamações severas e risco de edema pulmonar. [18]

2.4 Efeitos a Longo Prazo das Lesões por Inalação de Fumos

As lesões por inalação, resultantes de exposições a fumos tóxicos e gases durante incêndios, têm efeitos imediatos e graves no sistema cardiorrespiratório, sendo frequentemente associadas a maior mortalidade e complicações agudas. No entanto, os efeitos a longo prazo destas lesões, incluindo as suas implicações físicas, psicológicas e

sociais, têm recebido menos atenção científica. Compreender estas sequelas é crucial para melhorar o cuidado e a reabilitação de pacientes a longo prazo. [19]

As lesões por inalação frequentemente resultam em danos significativos ao sistema respiratório, incluindo:

- **Obstrução de vias aéreas:** Ocorre devido à inflamação e à deposição de partículas de fumo no trato respiratório. Estudos relatam que a gravidade da obstrução está relacionada à quantidade de fumo inalado.
- **Disfunção pulmonar:** A progressão para condições como Doença Pulmonar Obstrutiva Crônica (DPOC) ou bronquiectasias é comum em sobreviventes. Casos de falência respiratória progressiva anos após a exposição inicial também foram documentados.
- **Fatores pediátricos:** Em crianças, o impacto a longo prazo pode ser amplificado devido ao desenvolvimento pulmonar incompleto na altura da exposição, podendo levar a restrições severas na função pulmonar. [19]

A reabilitação de pacientes com lesões por inalação enfrenta alguns desafios adicionais como a intolerância ao exercício. Os sobreviventes frequentemente apresentam capacidade reduzida para esforços físicos devido à diminuição da função pulmonar e ao impacto psicológico associado. Estudos apontam que até 2 anos após a recuperação inicial, a tolerância ao exercício permanece reduzida, indicando sequelas duradouras.

Programas de reabilitação com foco em exercícios estruturados demonstraram melhorias na resistência física e na função pulmonar, especialmente em populações pediátricas. O treino físico demonstra assim grandes benefícios.

As lesões por inalação também estão associadas a impactos significativos na saúde mental e na qualidade de vida:

- **Perturbação de stress pós-traumático (*Post-Traumatic Stress Disorder* (PTSD)):** Relatos de PTSD em sobreviventes de grandes eventos de incêndio são comuns, influenciando negativamente a recuperação física e social.
- **Complicações cognitivas:** A exposição durante períodos de tempo elevados a gases tóxicos, como monóxido de carbono, pode causar hipoxia e danos neurológicos, afetando a memória e a função cognitiva dos ocupantes.
- **Fatores sociais:** Problemas na reintegração social, isolamento e falta de apoio adequado são frequentemente relatados, exacerbando os desafios da reabilitação. [19]

Embora existam dados sobre os efeitos imediatos e a curto prazo das lesões por inalação, há uma escassez de estudos que avaliem sistematicamente os desfechos a longo prazo. Uma avaliação constante e documentação das lesões iniciais são essenciais para um acompanhamento regular da função pulmonar. Estes passos são necessários para entender melhor as sequelas causadas pela inalação de fumos. [19]

Como se pode verificar os sistemas de controlo de fumos mecânicos não apenas garantem a segurança imediata durante incêndios, mas também desempenham um papel crucial na prevenção de efeitos adversos a longo prazo associados às lesões por inalação. Uma resposta automática, rápida é imperativa e indispensável para proteger a saúde e a qualidade de vida dos ocupantes, além de minimizar os desafios associados à reabilitação.

2.5 Propagação dos fumos

A propagação dos fumos em incêndios é algo complexo que depende de fatores como o calor gerado, o tipo de ventilação e a geometria do espaço. A extensa análise deste processo é muito relevante para a modelação de sistemas de incêndios e para a elaboração de estratégias de evacuação.

Quando o incêndio acontece, um calor abundante é gerado. Esse calor aquece os gases circundantes o que resulta na redução da sua densidade. A diferença de densidade cria assim um fluxo contínuo e ascendente: o ar mais quente, sendo menos denso sobe, enquanto que o ar mais frio e mais denso desce. Este fenómeno é denominado efeito chaminé. Esta ascensão termina quando os fumos encontram o teto ou outros espaços superiores. [18] [20]

À medida que este fenómeno acontece vai também sendo verificada uma natural estratificação dos fumos. Os gases mais frios permanecem nas regiões inferiores enquanto que os gases quentes encontram-se junto ao teto. A desenfumagem deve respeitar esta estratificação natural dos fumos, devendo as **entradas** de ar ser localizadas no **terço inferior** dos espaços a desenfumar, ao passo que a **extração** deve ser realizada pelo **terço superior** do compartimento. [11]

Estes fumos vão se espalhando horizontalmente, formando assim uma camada de fumo quente que acumula gases e partículas originadas pelo incêndio - Figura 2.4. [21]

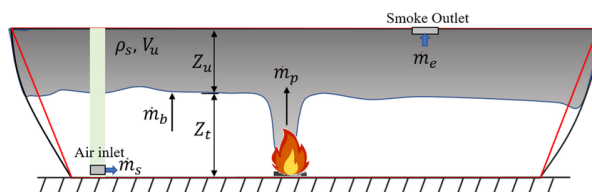


Figura 2.4: Estratificação dos fumos [5].

Ao ritmo que o incêndio se propaga e o ar inferior aumenta de temperatura esta camada vai aumentando de espessura. A distância entre o piso e o início desta camada tem como seu nome **altura da camada de fumo** e é crucial para determinar o tempo de evacuação do espaço. Quando esta altura atinge um valor inferior a 2 metros, considera-se que atingiu a altura crítica. Neste ponto o ambiente torna-se insustentável para a espécie humana devido à falta de visibilidade e à alta concentração de gases tóxicos.

Existem determinados fatores que têm influência nesta estratificação do fumo, tais como a potência calorífica do incêndio, a ventilação, a geometria do espaço e o material que se encontra em combustão.

Em relação à potência podemos naturalmente assumir que quanto mais elevada for, mais quentes serão os fumos e como resultado a camada de fumo será mais alta e mais estável. Se pelo contrário a potência for reduzida, então resultará numa estratificação instável. [18]

Sobre a ventilação ela pode estar presente de duas formas: **natural** (abertura de janelas e portas) ou **forçada** (sistemas AVAC). Ambas as formas podem alterar a estratificação, redistribuindo os fumos e reduzindo também a estabilidade da camada de fumo. [21]

Quanto à geometria do espaço o fator mais relevante é a altura do teto. Se for verificado um teto com altura elevada então a camada de fumo quente permanecerá acima da altura crítica durante mais tempo. Se, por outro lado, a divisão verificar uma altura baixa o tempo de evacuação será inferior, pois a camada de fumos atingirá a zona crítica mais rapidamente. Estes fumos densos em camadas inferiores dificultam em muito a fuga de ocupantes do espaço.

Sobre o assunto do tipo de combustível, embora já tenha sido um pouco abordado anteriormente, podemos usar essa informação para retirar conclusões sobre a influência na estratificação. Relativamente aos materiais sintéticos são produzidos fumos mais densos e tóxicos, o que exacerba a camada de fumos e aumenta a sua opacidade, em comparação com os fumos de materiais naturais. [18]

O estudo de Nilsson & Van Hees [22] explora a utilização de **ar hipóxico** para reduzir o risco de incêndio. O ar hipóxico é simplesmente o ar comum com uma percentagem inferior de oxigénio. Nesse processo, uma quantidade suficiente de oxigénio é removida para evitar a ignição de materiais inflamáveis, mas ainda se mantém o nível de oxigénio num nível seguro para a ocupação humana. Isso permite que as pessoas utilizem o espaço protegido sem notarem grandes diferenças em relação ao ar que respiram normalmente. [23]

O uso de sistemas de ventilação de ar hipóxico como medida de proteção contra incêndios tem se expandido significativamente, sendo aplicados em ambientes como museus, salas de servidores e armazéns. Este sistema reduz a concentração de oxigénio no ambiente, limitando as condições para a ignição e desenvolvimento do fogo, ao mesmo tempo que minimiza danos aos equipamentos sensíveis.

- **Benefícios:**

Diminuição da probabilidade de ignição e maior tempo de ignição para alguns materiais. Redução da velocidade de propagação de chamas, especialmente em configurações horizontais. Sempre ativo, sem necessidade de ativação em caso de incêndio.

- **Dificuldades:**

A eficácia depende do tipo e configuração do combustível, com resultados variáveis para materiais compostos. Produção aumentada de gases corrosivos e fuligem em caso de incêndio, o que pode danificar equipamentos sensíveis. Necessidade de redundância e monitorização constante para assegurar níveis homogêneos de oxigénio em ambientes complexos. [22]

Segundo Nilsson & Van Hees [22], os métodos de teste usados para validar esses sistemas precisam de melhorias significativas. O uso de tochas de oxiacetileno como fonte de ignição, por exemplo, é inadequado devido à sua alta velocidade de queima, que pode não representar cenários reais. Além disso, há a necessidade de incluir a influência da radiação externa e de configurações específicas de combustíveis, como pacotes adjacentes em armazéns.

2.6 Normas e Regulamentos

O dimensionamento de sistemas de controlo de fumos é algo essencial na proteção de vidas humanas e um elemento com grande importância em todas as construções, logo existem normas e regulamentações que necessitam de existir e ser respeitadas integralmente.

Em Portugal esta regulamentação é principalmente feita pelo **Regime Jurídico de Segurança Contra Incêndios em Edifícios (RJ-SCIE)**, definido pelo Decreto-Lei n.º 220/2008 [24], tendo sido posteriormente alterado pelo Decreto-Lei n.º 224/2015 [25] e mais recentemente pelo Decreto-Lei n.º 95/2019 [26]. Este regulamento é complementado pela Portaria n.º 1532/2008 [27], sofrendo depois alterações pela Portaria n.º 135/2020 [11], que define o **Regulamento Técnico de Segurança Contra Incêndios em Edifícios (RT-SCIE)**. Estes dois documentos, embora distintos, estão diretamente interligados.

No que toca aos ventiladores de impulso os critérios são estabelecidos pela norma portuguesa **NP 4540:2015** [28]. Esta norma estabelece os requisitos técnicos para conceção, dimensionamento, execução e verificação de sistemas de ventilação de impulso em parques de estacionamento cobertos não compartimentados.

O RJ-SCIE é um documento legislativo que estabelece a base legal para a segurança contra incêndios em Portugal, contendo também os seus princípios fundamentais. O seu objetivo é definir as diretrizes gerais deste tema.

O RT-SCIE diferencia-se do RJ-SCIE, pois como o seu nome indica é um regulamento técnico. A sua função é complementar o regime jurídico, detalhando os requisitos técnicos e práticos necessários para o cumprimento das suas disposições.

Ambos estes documentos são indispensáveis no dimensionamento de sistemas de controlo de fumos mecânicos em edifícios e embora sendo distintos, são complementares e interdependentes. O RJ-SCIE define as obrigações, enquanto o RT-SCIE detalha como cumpri-las. Ambos estão alinhados com as normas europeias, como as séries EN 12101 e EN 1366, facilitando a aplicação em contextos locais. Estas normas também podem ser utilizadas em Portugal como referência técnica, embora não tenham autoridade de lei direta no país.

2.7 Métodos de Controlo de Fumos

Existem diversos tipos de controlo de fumos, cada um projetado para atender a necessidades específicas do edifício e dos seus compartimentos, como tipo de ocupação, geometria e intensidade do incêndio.

Existem duas vertentes de controlo de fumos: **varrimento** e **hierarquia relativa de pressões**, segundo a Portaria n.º 135:2020 - "(...) O controlo do fumo produzido no incêndio pode ser realizado por varrimento ou pelo estabelecimento de uma hierarquia relativa de pressões (...)" [11].

Os sistemas de varrimento devem garantir a remoção eficaz dos fumos e calor produzidos pelo incêndio, enquanto asseguram a entrada de ar fresco no espaço sinistrado, processo denominado **desenfumagem**.

Esta extração deverá ser feita o mais rapidamente possível, de modo a reduzir os danos humanos e patrimoniais. A distribuição de pressões entre os espaços do edifício necessita também de estar de acordo com esta desenfumagem. Em vários casos é realizada uma **pressurização** dos espaços que requerem proteção, havendo assim

uma sobrepressão destes em relação aos afetados pelo incêndio. Este método permite manter os caminhos de evacuação, sobretudo escadas e câmaras corta-fogo livres dos gases da combustão contribuindo para a segurança dos ocupantes na retirada do edifício. Num panorama mais geral são estes os dois métodos utilizados, sendo que cada um deles tem as suas particularidades que irão ser abordadas adiante.

2.7.1 Varrimento

As operações de extração e insuflação poderão ser realizadas tanto de forma **natural**, como de forma **forçada**. A escolha da forma utilizada deverá estar sempre adequada ao projeto e pese embora a insuflação e a extração devam estar articuladas, a seleção da forma utilizada é independente. O resultado desta particularidade é a existência de quatro combinações possíveis entre a extração e insuflação: natural/natural, forçada/natural, natural/forçada e forçada/forçada. A opção de entrada de ar mecânica e saída natural geralmente não é permitida já que poderá causar sobrepressão do espaço sinistrado, algo completamente não recomendável pois levaria a uma rápida entrada do ar nos espaços adjacentes. Em muitos casos, sistemas híbridos oferecem a solução mais eficaz para edifícios modernos e multifuncionais. [12]

O **varrimento passivo** utiliza tanto a ventilação como a extração natural para controlar o fumo. O efeito-chaminé é a principal ferramenta deste método, embora esteja também presente nas outras combinações de insuflação e extração. Ele é geralmente adotado em edifícios amplos e de grande pé-direito, como pavilhões industriais e centros comerciais, bem como armazéns com elevado volume de armazenamento onde é possível a ventilação natural - Figura 2.5. [29]

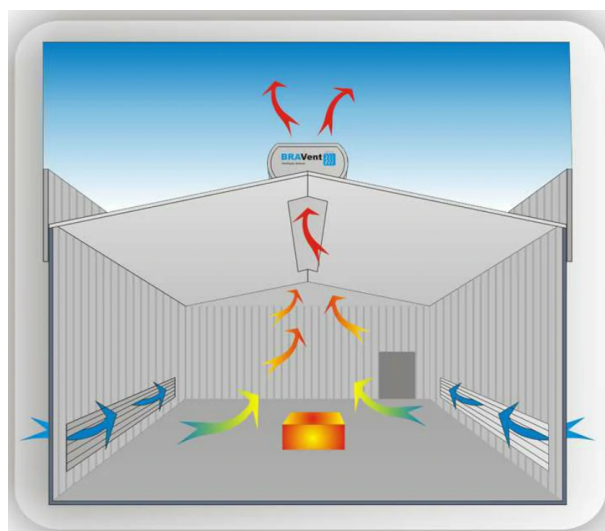


Figura 2.5: Varrimento passivo exemplificado [6].

As suas limitações prendem-se sobretudo com a dependência no clima, pois em ambientes externos quentes ou ventosos a eficiência do efeito chaminé pode ser reduzida já que haverá uma perturbação do escoamento do ar. Também em edifícios com uma altura elevada poderá haver dificuldade na criação de fluxos de ar consistentes. [29]

O **varrimento ativo** é caracterizado pelo uso de ventilação e extração forçada. Este método é adequado para edifícios de alta complexidade ou onde a ventilação

natural é insuficiente (tais como estacionamentos subterrâneos) e estruturas complexas e de elevada taxa de ocupação (tais como centros comerciais ou hotéis). Este sistema garante a remoção eficaz dos fumos independentemente das condições ambientais externas.

Embora este método seja muito mais dispendioso a nível económico devido à implementação de equipamentos mecânicos sofisticados, ele é altamente eficaz e extremamente necessário neste tipo de edifícios. Uma manutenção regular é também muito importante de modo a garantir a funcionalidade deste tipo de sistemas. [29]

De acordo com esta introdução as possibilidades para o controlo de fumos são então:

- **Insuflação natural:** é feita recorrendo a aberturas nos pontos mais baixos do piso sinistrado. Esta localização incentiva o varrimento do ar fresco que promove as correntes de convecção.
- **Extração Natural:** é realizada utilizando aberturas para o exterior nos pontos mais altos do edifício ou do espaço em questão. Os fumos resultantes da combustão concentram-se nesses pontos, devido ao efeito chaminé, justificando assim a posição das aberturas.
- **Insuflação forçada:** A insuflação forçada também recorre a aberturas, tal como a natural, mas neste caso elas localizam-se normalmente nos pontos mais baixos dos edifícios. Esta abertura incorpora um sistema de desenfumagem com condutas que direcionam o caudal de ar novo para os espaços afetados, tendo como terminais bocas de insuflação, que se situam nos pontos inferiores da divisão a proteger. [12]

Deste sistema também fazem parte ventiladores de insuflação, com a função de insuflar o ar para os espaços requeridos e de pressurizá-los em algumas situações. A complexidade deste sistema depende do edifício em questão, já que por vezes um sistema mecânico significa apenas um ventilador, ou um ventilador e um pequeno trajeto de conduta que termina numa grelha instalada na parede ou teto de uma divisão.

- **Extração forçada:** Esta opção pressupõe um sistema de desenfumagem semelhante ao da insuflação forçada, no entanto, com alguns aspetos distintos importantes. Existem bocas de extração colocadas nos pontos mais elevados dos espaços, sendo adicionado no fim deste sistema uma abertura para o exterior localizada num ponto alto do edifício. O seu propósito é permitir uma expulsão dos fumos e gases da combustão sem colocar em risco as pessoas e bens. [12]

Deste sistema fazem também parte ventiladores de extração, que extraem o ar desde os espaços até à abertura exterior através das condutas. A maior particularidade deste sistema é a exigência de todos os seus constituintes serem capazes de funcionar enquanto são atravessados pelos fumos e gases. Esta resistência ao fogo deve ser homologada em conformidade com a norma EN 12101-3 [30], com certificação F-400 (capacidade para operar em temperaturas até 400 °C durante 2 horas). Tal como na insuflação forçada existem sistemas com vários graus de complexidade, dependendo da situação em questão.

A escolha do método de desenfumagem utilizado no edifício depende de diversos fatores, incluindo as características do edifício e a necessidade de integração com outros sistemas de segurança.

2.7.2 Pressurização

A pressurização em sistemas de controlo de fumos mecânicos é uma técnica fundamental para proteger vias de evacuação, tanto verticais como horizontais e outras áreas críticas em edifícios durante incêndios.

Este método utiliza a insuflação de ar para criar uma **sobrepessão** das zonas seguras relativamente às zonas afetadas pelo incêndio, garantindo a ausência de fumos nas áreas protegidas. Estes ventiladores injetam ar nas zonas a proteger, criando assim uma barreira artificial. [7]

Conforme indicado no documento da Sodeca, os sistemas de pressurização seguem normas rigorosas como a EN 12101-13:2022 [8], que estabelece especificações para sistemas diferenciais de pressão. Este método implica a utilização de sistemas de pressurização que podem estar localizados em salas técnicas, na cobertura do edifício ou num átrio independente. Estes sistemas são sobretudo utilizados para proteger **Via(s) Vertical(is) de Evacuação (VVE)**. [7]



Figura 2.6: Exemplo de um sistema de pressurização instalado num átrio independente [7].

A pressurização baseia-se na criação de uma sobrepessão que evita a entrada de fumos nas áreas protegidas. 3 etapas envolvem este processo:

- Insuflação de ar em zonas seguras previamente selecionadas, como escadas e átrios.
- Criação de uma barreira de pressão, bloqueando a propagação dos fumos nas tais zonas.
- Controlo do fluxo de ar, ajustado para manter velocidades adequadas em portas abertas e sobrepessões específicas em portas fechadas. [7]

A diferença de pressão necessita de ser corretamente calculada, de modo a proteger a área indicada sem obstruir a entrada nela. Esta obstrução poderá acontecer se a diferença de pressão for exagerada, resultando assim numa incapacidade de vencê-la ao abrir uma porta. Deste modo, a conceção do sistema deve ter em conta uma força

máxima a aplicar no puxador da porta de **100 N**, segundo a norma EN12101-13:2022 [8].

Este controlo de caudal de ar pressupõe um prévio dimensionamento dos caudais em jogo, obedecendo aos critérios estabelecidos na Portaria nº 135:2020 [11] e na norma EN12101-13:2022 [8]. Para as instalações de controlo de sobrepressão nas VVE de edifícios existe um critério para quando a porta se encontra **fechada** e outro para quando a porta está **aberta**.

Para a primeira situação o dimensionamento do caudal depende da diferença de pressão escolhida, segundo a Portaria nº 135:2020 - "(...) Insuflação de ar nas vias verticais de forma a estabelecer uma diferença de pressão entre a via vertical e os espaços adjacentes a esta no piso sinistrado, compreendida entre os 20 e os 80 Pa (...)" [11] - e da área de fuga através de portas e janelas do espaço, estabelecida pela norma EN12101-13:2022 [8]. Segundo esta norma a equação consiste em

$$Q_{\text{porta fechada}} = C_v \cdot A_{\text{fuga}} \cdot \sqrt{\frac{2}{\rho} (\Delta P)^{\frac{1}{R}}} \quad (2.1)$$

onde C_v é o coeficiente de descarga, A_{fuga} é o somatório das áreas de fuga através de portas e janelas, ρ é a densidade do ar, ΔP é a diferença de pressão e R é o coeficiente de escoamento.

NOTA 1: O coeficiente de descarga pode variar consoante diferentes parâmetros, como a forma da abertura ou a localização das entradas de ar no espaço pressurizado. Normalmente varia entre 0,60 e 0,95. Na ausência de dados adicionais, deve usar-se o valor de 0,65 para os cálculos do sistema.

NOTA 2: Para fendas largas, como as que se encontram em torno de portas ou grandes aberturas, pode assumir-se um valor de $R = 2,0$. Para caminhos de fuga mais estreitos, formados por fendas à volta de janelas, um valor mais apropriado é $R = 1,6$ (escoamento laminar vs. turbulento).

Utilizando os seguintes valores típicos:

- $C_v = 0,65$ (ver NOTA 1)
- $\rho = 1,2 \text{ kg m}^{-3}$
- $R = 2$ (ver NOTA 2)

Obtem-se a equação simplificada:

$$Q_{\text{porta fechada}} \approx 0,8391 \cdot A_{\text{fuga}} \cdot \sqrt{\Delta P} \quad [\text{m}^3 \text{ s}^{-1}] \quad (2.2)$$

A norma EN12101-13:2022 [8] faculta tabelas, que estabelecem valores para cada tipo de porta e janela de modo a realizar esse somatório. Quanto à diferença de pressão, é uma decisão de projeto, sendo adotado de modo geral o valor de **50 Pa**. Este é também o valor máximo definido pela norma.

Para a situação de porta aberta o dimensionamento do caudal depende da velocidade de passagem do ar, em que o seu valor é influenciado pela existência ou não de **Câmara(s) Corta-Fogo (CCF)**, segundo o RT-SCIE [11].

Em construções com ausência da câmara corta-fogo - "(...) velocidade de passagem do ar, na porta (...) não inferior a **0,50 m/s**, se não existir câmara corta-fogo (...)" [11]. A existência de CCF será abordada a seguir.

Desta forma, utiliza-se a equação do caudal volúmico da mecânica dos fluidos com o objetivo de dimensionar o sistema de pressurização.

$$Q_{\text{porta aberta}} = v_{\text{porta}} \cdot A_{\text{porta}} \quad (2.3)$$

Os resultados destas duas situações têm de ser posteriormente analisados, de forma a dimensionar o sistema de pressurização. Este sistema deve ser capaz de atingir **ambos os caudais exigidos**, adaptando-se às duas circunstâncias. O ventilador incorporado no sistema deve assim ser selecionado recorrendo ao caudal com o **valor mais elevado**, segundo os cálculos.

O regulamento menciona também a presença necessária de um **exutor** de fumo de socorro na VVE.

"(...) No topo da via vertical, deve ser ainda instalado um exutor de fumo de socorro, com 1 m² de área útil que satisfaça o disposto do n.º 3 do artigo anterior, de ativação alternativa, cuja abertura deve ser apenas facultada aos delegados de segurança e aos bombeiros. (...)" [11].

N.º 3 do artigo anterior - "(...) O exutor referido no número anterior pode permanecer normalmente fechado, devendo ser dotado de um dispositivo de comando manual de abertura, instalado no interior da escada, no mínimo, ao nível do acesso do plano de referência. (...)" [11].

A instalação deste exutor é assim obrigatória e útil no combate ao incêndio, permitindo aos bombeiros a realização de uma **ventilação tática** aquando da sua chegada ao local se assim for vantajoso. A sua posição natural será sempre fechada, visto que a sua permanente abertura iria afetar a hierarquia de pressões. O caudal que entraria na VVE seria de difícil estimativa e colocaria em causa os cálculos efetuados no âmbito da pressurização.

A seguinte abordagem incide nas **CCF**, elementos importantes e necessários em parques de estacionamento subterrâneos que servem para proteger os ocupantes protegendo as vias de evacuação.

Consultando o RT-SCIE verifica-se a menção destes espaços - "(...) Quando existir câmara corta-fogo de acesso à escada a sua **pressão deve ser intermédia** entre a da via vertical e os espaços com que comunica. (...)"

Além disso, é feita outra sugestão em relação à sua pressão - "(...) No caso de servirem 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**. (...)"

Relativamente à velocidade na porta - "(...) Nas vias verticais com câmara corta-fogo, uma velocidade de passagem do ar entre a câmara e os espaços adjacentes do piso sinistrado não inferior a **1 m/s**, se as duas portas se encontrarem abertas. (...)" [11].

Os caudais destas divisões precisam então também de ser dimensionados respeitando a velocidade exigida na porta e a diferença de pressão relativa aos espaços comunicantes.

Quando se inicia o incêndio o alarme é acionado e conseqüentemente o sistema de pressurização é ativado. Enquanto a porta se encontra fechada, o ventilador mantém o caudal mínimo necessário para manter a diferença de pressão.

Durante a evacuação de um incêndio, as portas das zonas pressurizadas abrem e fecham de forma imprevisível, devido à natureza caótica deste tipo de situações. Os sistemas de pressurização necessitam de se adaptar rapidamente às perturbações introduzidas, nomeadamente em termos de pressão. Esta reação do sistema permite aumentar o caudal insuflado, de modo a assegurar a sobrepressão nos momentos em que a porta se encontra aberta. De acordo com a norma EN12101-6:2005 [31] o intervalo de tempo necessário para o sistema reagir não poderá ultrapassar os 3 segundos, no entanto, a norma mais recente (EN12101-13:2022) [8] permite uma tolerância até aos 5 segundos dependendo de variações do local de instalação.

Como se pode observar na - Figura 2.7 - que ilustra o comportamento do sistema de pressurização da Sodeca [7], o caudal insuflado pelo ventilador de pressurização aumenta no momento da abertura da porta. Conforme o princípio do equilíbrio de pressões utilizado na mecânica de fluídos, quando não existe barreiras entre dois espaços a sua pressão tende a igualar-se. Neste caso a abertura da porta, embora não signifique uma abolição de barreiras, impõe uma conexão entre a via de evacuação e o espaço adjacente, o que resulta numa redução da diferença de pressão. Como se pode observar no gráfico, esta diferença de pressão reduz drasticamente sendo compensada depois pelo aumento do caudal insuflado. No momento seguinte a diferença de pressão sofre um aumento acentuado, seguido de uma redução até estabilização no ponto requerido.

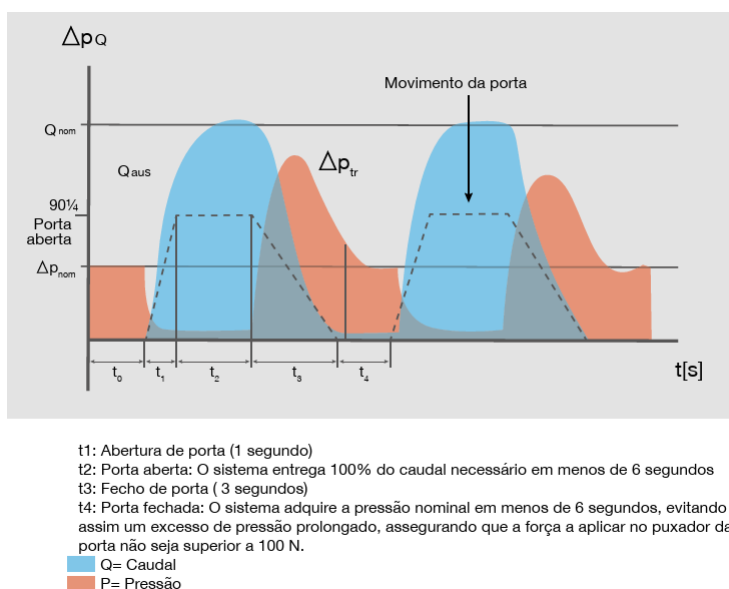


Figura 2.7: Ação de um sistema de pressurização em função do tempo [7].

A pressurização é uma solução indispensável para a segurança contra incêndios, especialmente em edifícios habitacionais altos e complexos. A conformidade com normas portuguesas e europeias e a utilização de equipamentos avançados, garantem operações seguras e eficientes. Este método complementa outras estratégias de controlo de fumos, aumentando significativamente a proteção de vidas humanas e propriedades.

2.8 Perdas de Carga em Conduitas de Ar

O transporte de ar em sistemas de AVAC, onde estão incluídos os sistemas mecânicos de controlo de fumo, envolve o movimento de caudais através de redes de conduitas. Este movimento está sujeito a resistências ao escoamento, que se traduzem em perdas de carga. Segundo a *American Society of Heating Refrigerating and Air-Conditioning Engineers* (ASHRAE) [32], as perdas de carga classificam-se em dois grupos principais:

- **Perdas por atrito (fricção)** – devido ao contacto do ar com as paredes da conduta ao longo do seu comprimento;
- **Perdas localizadas (dinâmicas)** – devido a mudanças de direção, variações de secção, ramificações e acessórios em geral.

O correto cálculo destas perdas é fundamental para dimensionar os ventiladores, minimizar o consumo energético e garantir níveis adequados de conforto acústico e térmico.

A recomendação feita para o cálculo das perdas de carga por **atrito** ou em linha é a utilização da **Equação de Darcy-Weisbach** - Equação 2.4:

$$\Delta P_{\text{linha}} = f \cdot \frac{L}{D_h} \cdot \frac{\rho V^2}{2} \quad (2.4)$$

De forma a utilizar esta equação é necessário em primeiro lugar realizar o cálculo dos valores do fator de atrito e diâmetro hidráulico, pois os restantes são normalmente obtidos diretamente através das características do fluido e da conduta.

Diâmetro Hidráulico - este valor é obtido com A a área da secção transversal e P o perímetro molhado, sendo este o comprimento ao longo do qual há contacto do fluido com uma parede sólida - Equação 2.5. Na situação de uma conduta circular o seu diâmetro é igual ao diâmetro hidráulico.

$$D_h = \frac{4A}{P} \quad (2.5)$$

Fator de Atrito - O fator de atrito é obtido em função do número de Reynolds

$$\text{Re} = \frac{D_h V}{\nu} \quad (2.6)$$

A partir deste número adimensional pode-se tomar conhecimento de qual o tipo escoamento presente: **laminar** ou **turbulento**. Em conduitas comerciais esta transição de regime ocorre quando $\text{Re} \approx 2300$. Dependendo do regime apresentado, existem duas formas de cálculo do fator de atrito. No caso de regime laminar a relação é linear,

$$f = \frac{64}{\text{Re}} \quad (2.7)$$

e no caso de regime turbulento é calculado a partir da equação de **Colebrook**,

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log_{10} \left(\frac{\varepsilon}{3.7 D_h} + \frac{2.51}{\text{Re} \sqrt{f}} \right) \quad (2.8)$$

, ou do diagrama de Moody (representação gráfica desta equação). Para aço galvanizado (o mais comum em condutas de ar), a rugosidade típica é $\varepsilon \approx 0,15$ mm, no entanto, a ASHRAE [32] apresenta uma tabela com valores correspondentes a vários tipos de materiais.

A equação de Colebrook é implícita, pelo que necessita da realização de uma ou várias iterações para conhecer o valor do fator de atrito. Para um cálculo mais célere são utilizadas correlações explícitas, como a Equação de **Haaland**,

$$\frac{1}{\sqrt{f}} \approx -1.8 \log_{10} \left(\frac{6.9}{\text{Re}} + \left(\frac{\varepsilon}{3.7D_h} \right)^{1.11} \right) \quad (2.9)$$

Tanto a relação para escoamento laminar - Equação 2.7 - como as correlações apresentadas nas equações de Colebrook - Equação 2.8 e de Haaland - Equação 2.9, bem como o diagrama de Moody para o regime turbulento, foram desenvolvidas para condutas de secção circular. No entanto, para condutas com secções não circulares, podem ser utilizadas expressões equivalentes. Estas resultam de análises matemáticas no regime laminar e de resultados experimentais no regime turbulento. Uma forma prática e bastante utilizada para estender estas correlações ao caso de condutas não circulares é a introdução do *diâmetro efetivo*, D_{ef} . Este valor relaciona os dados de condutas não circulares com os de condutas circulares, devendo **substituir os valores de D_h** nas equações apresentadas acima [33]. Para condutas retangulares, as mais comuns em sistemas mecânicos de controlo de fumos excetuando as circulares, a relação é estabelecida por [32]:

$$D_{ef} = \frac{1.30 (ab)^{0.625}}{(a + b)^{0.250}} \quad (2.10)$$

As perdas localizadas resultam de perturbações no escoamento causadas por acessórios e equipamentos instalados na conduta (como entradas, saídas, curvas e transições), que alteram a direção e/ou a área da corrente de ar.

O *coeficiente de perda localizada*, K é um coeficiente adimensional obtido de forma experimental pelo fabricante do equipamento. É utilizado para caracterizar a resistência ao escoamento, pois mantém o mesmo valor em escoamentos dinamicamente semelhantes (ou seja, com geometrias proporcionais, números de Reynolds equivalentes e demais condições de semelhança dinâmica). Este coeficiente de resistência representa a razão entre a perda total de pressão localizada e a energia cinética do escoamento:

$$K = \frac{\Delta P_{loc}}{\rho V^2/2} \quad (2.11)$$

Obtendo o somatório de todos os valores de K dos acessórios presentes numa conduta é possível calcular as perdas localizadas. Somar essas perdas às perdas por atrito perfaz as perdas totais numa conduta [33]:

$$\Delta P_{total} = \Delta P_{linha} + \Delta P_{loc} = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \rho \frac{V^2}{2} + \sum K \cdot \rho \frac{V^2}{2} = \rho \frac{V^2}{2} \left(f \frac{L}{D} + \sum K \right) \quad (2.12)$$

Esta adição é possível se as dimensões ou o caudal da conduta não variarem, ou seja, se a sua velocidade não se alterar. Se houver uma alteração da velocidade é necessário realizar um novo cálculo, dividindo assim a conduta em tramos. A soma das perdas de todos os tramos da conduta resulta na perda total da conduta.

2.9 Componentes principais dos sistemas de controlo de fumos mecânicos

Os sistemas de controlo de fumos mecânicos são dimensionados para conter a propagação de fumos e aumentar o tempo disponível para evacuação das pessoas durante os incêndios. Esses sistemas consistem em diversos componentes que funcionam em conjunto. Os componentes podem ser divididos em duas vertentes: **ventilação** e **compartimentação**.

2.9.1 Ventilação

Ventiladores de Desenfumagem :

Estes são ventiladores que retiram os fumos acumulados no ambiente interior, criando zonas de pressão baixa que auxiliam a direcionar o caudal de fumo. Estes equipamentos necessitam de aguentar condições de calor extremas, podendo chegar até aos 400 °C. [18]

Segundo o RT-SCIE - "(...) Os ventiladores de extração do fumo devem resistir, 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 ou em pisos enterrados. (...)". [11]

Apesar do regulamento permitir uma resistência apenas de uma hora, a maioria dos ventiladores fabricados para este propósito aguentam a temperatura de 400°C durante 2 horas. Esta resistência é assegurada pela certificação europeia **F-400**, que está em conformidade com a norma europeia EN 12101-3.

É o caso do THT-CL - Figura 2.8 -, um ventilador axial tubular para trabalhar inserido em zonas de risco de incêndios. O ventilador é instalado diretamente na conduta, necessitando assim de uma flange de acoplamento para facilitar a instalação. Outro acessório indispensável é o conjunto de pés de suporte, utilizado para estabelecer a fixação a superfícies planas. Como referido anteriormente, a sua resistência ao fogo está homologada em conformidade com a norma EN 12101-3 [30], com certificação F-400 (capacidade para operar em temperaturas até 400°C durante 2 horas).

A certificação F-400 apenas é necessária para ventiladores que estejam inseridos em zona de incêndio. Ventiladores de insuflação de ar, mesmo pertencendo ao sistema de controlo de fumos, que estejam fora desta zona não necessitam dessa certificação.



Figura 2.8: Ventilador de desenfumagem THT-CL, da Sodeca [1].

Outra solução comum nos projetos de desenfumagem é o ventilador THT-WALL-F.

Este ventilador é similar ao THT-CL, no entanto, é fixado em paredes exteriores. Esta escolha é feita sobretudo devido a questões de arquitetura, pois permite dissimular a comporta na fachada do edifício.



Figura 2.9: Ventilador de desenfumagem THT-WALL-F, da Sodeca [1].

Equipamentos de Pressurização :

Os sistemas de pressurização mantêm protegidas as áreas seguras e utilizadas para evacuação (nomeadamente escadas e corredores de evacuação) mediante a ativação do alarme de incêndio e seguindo a ordem da matriz de comando. Estas zonas devem apresentar uma pressão positiva em relação às zonas do incêndio, de modo a bloquear a entrada dos fumos. Este sistema utiliza um ventilador que extrai ar do exterior do edifício, introduzindo-o depois nos espaços protegidos e consequentemente aumentando a sua pressão. O equipamento deve ser capaz de variar o caudal conforme se encontra numa situação de porta aberta ou porta fechada, como referido anteriormente. [21] [7]



Figura 2.10: Equipamento de Pressurização KIT BOXPDS, da Sodeca [1].

2.9.2 Compartimentação

Conduas de Exaustão:

As condutas de exaustão transportam os fumos tóxicos para o exterior do edifício, impedindo a sua propagação para outras divisões. Materiais resistentes ao fogo são usados para construir estas condutas de modo a garantir a segurança do sistema. [21] [34]



Figura 2.11: Conduto para extração de fumos, da TRIA

Duas das classificações fundamentais para a segurança passiva contra incêndio das condutas são a **classe de resistência** ao fogo e a **classe de reação** ao fogo dos materiais de construção. Estas classificações referem-se à sua capacidade em caso de incêndio, durante um período de tempo (ex: 15, 30, 60, 90, 120 minutos...).

A classificação EI é definida pelas normas europeias, em particular pela EN 13501-2 e é adotada no RT-SCIE em Portugal. Aplica-se a elementos construtivos e a componentes de sistemas técnicos, como as condutas.

EI significa:

- **E (Estanquidade):** Capacidade de impedir a passagem de chamas e gases quentes;
- **I (Isolamento térmico):** Capacidade de limitar a transmissão de calor para o lado não exposto.

Para condutas, esta classificação refere-se à sua capacidade de manter a integridade e o isolamento térmico durante um período de tempo especificado, mesmo quando expostas diretamente ao fogo ou quando atravessam elementos de compartimentação (paredes ou lajes). Por exemplo uma conduta classificada como EI 60 garante estanquidade e isolamento térmico durante 60 minutos.

A vedação ao fogo e a barreira térmica das condutas evidenciada respetivamente por estas duas características, evitam a propagação direta das chamas através de fendas ou fissuras e as ignições secundárias noutros materiais. São essenciais também para proteger seres humanos em zonas adjacentes às sinistradas e manter a integridade e funcionalidade das vias de evacuação e da compartimentação.

A classe de reação ao fogo diz respeito à capacidade de um material contribuir para o desenvolvimento de um incêndio, ou seja, se arde facilmente, se alimenta o fogo, se liberta muito calor ou fumo, e se gera gotas inflamadas. Esta classificação é também definida pela norma europeia EN 13501-1:2019 [9] e regulada pelo RT-SCIE em Portugal.

A classificação vai de A1 (melhor comportamento) até F (sem comportamento conhecido ou muito inflamável), como se observa na - Tabela 2.1

Adicionalmente, existem subclasses complementares que avaliam a quantidade de fumo libertado (s1, s2, s3) e existência de gotas inflamadas (d0, d1 e d2), no entanto, apenas se aplicam da classe A2 à E.

Esta propriedade (reação ao fogo) caracteriza a propensão à combustão das condutas, que define o comportamento inicial dos materiais em caso de incêndio. Uma conduta com excelente reação ao fogo (classe A1) é importante, pois inflama-se lentamente, gerando menos fumos tóxicos e calor inicial, o que aumenta o tempo

Classe	Comportamento	Exemplos típicos
A1	Totalmente incombustível	Betão, alvenaria, aço, vidro, lã mineral
A2	Muito baixa combustibilidade	Gesso cartonado com aditivos, lã de rocha
B	Pouco combustível, contribui pouco	Painéis compostos, alguns plásticos melhorados
C	Combustível moderado	Revestimentos de madeira tratados
D	Combustível elevado	Madeira natural, laminados
E	Muito combustível, ignição fácil	Espumas, tecidos sintéticos
F	Sem ensaio ou comportamento indefinido	Materiais desconhecidos ou não testados

Tabela 2.1: Classes de reação ao fogo - EN 13501-1:2019 [9]

de evacuação e facilita a intervenção dos bombeiros. Se não forem geradas gotas inflamadas o risco da criação de novos focos de fogo noutras locais é reduzido.

Segundo o RT-SCIE as condutas das instalações de controlo de fumo - "(...) devem ser construídas com materiais da **classe A1** e garantir classe de resistência ao fogo padrão igual à maior das requeridas para as paredes ou pavimentos que atravessem, mas não inferior a **EI 15**, ou ser protegidas por elementos da mesma classe (...)" [11].

Barreiras de fumo:

Estas são barreiras de contenção que são utilizadas para evitar e retardar a entrada do fumo em áreas específicas, mantendo-as livres de fumo. Deverão também permitir canalizar o fumo até ao sistema de desenfumagem. Estas barreiras poderão ser fixas ou móveis e ser ativas automaticamente em resposta ao incêndio.

As barreiras mais utilizadas são registos corta-fogo. Estes dispositivos são instalados nos atravessamentos de condutas entre paredes ou tetos resistentes ao fogo, funcionando como barreiras ativas em situações de emergência. [35]



Figura 2.12: Registro corta-fogo CF6, da Sodeca [1]

Os registos corta-fogo desempenham funções essenciais no âmbito da segurança contra incêndios. A sua ação assegura o confinamento do fogo, evitando a propagação de chamas e gases quentes entre compartimentos e contribuindo para a proteção de pessoas e bens. Os registos possibilitam a gestão de fumos, reduzindo a passagem de gases tóxicos e garantindo condições adequadas de visibilidade em zonas de evacuação e intervenção. Estes equipamentos promovem também a preservação

estrutural, reforçando a estabilidade do edifício e minimizando os danos nas áreas atingidas.

Estes dispositivos são especialmente eficazes em edifícios com grande compartimentação e em sistemas AVAC, onde as condutas podem atuar como canais de propagação rápida de incêndios e fumos. Deverão também ser instalados em sistemas de desenfumagem em situações em que uma conduta principal contém ramificações que servem diferentes divisões, também de modo a impedir a propagação dos fumos para áreas não sinistradas. [35]

Quanto à sua localização e como referido anteriormente eles devem ser instalados nos atravessamentos de condutas entre compartimentos de fogo delimitados por paredes e tetos resistentes ao fogo, conforme descrito no artigo 14.º da Portaria nº 1532/2008 [27].

Estes registos permanecem normalmente abertos durante o seu funcionamento normal, sendo ativados em situação de incêndio. A sua ativação pode ser realizada de diversas formas.

Os **fusíveis térmicos**, como o nome indica, funcionam através da temperatura do ar que os atravessa. Quando é atingida determinada temperatura (72°C no caso do registo CF6 da Sodeca - Figura 2.12) o fusível térmico quebra, accionando assim um mecanismo que fecha a comporta metálica do registo corta-fogo.

Outros registos corta-fogos são accionados **eletricamente**. Para os sistemas de desenfumagem é comum a utilização desta atuação elétrica. Esta opção é feita pois estes sistemas, tal como o sistema de desenfumagem, estão conectados com a Central de Incêndio (CDI), que recebe informação de outros componentes como sensores de deteção de incêndio e botões manuais de alarme de incêndio. Estes detetores e botões manuais emitem sinais à CDI na ocorrência de incêndio, sendo esta central programada para ativar os registos e o sistema de desenfumagem após a receção desse sinal. O sistema geral que engloba todos os componentes referidos denomina-se Sistema Automático de Deteção de Incêndios (SADI) - Figura 2.13 - e está presente na maioria dos edifícios recentes. Nos sistemas de AVAC podem ser utilizadas ambas as opções (fusível térmico e accionamento elétrico), dependendo de cada projeto.

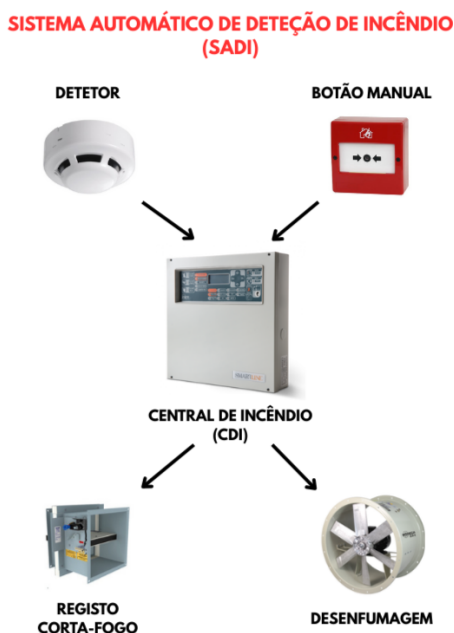


Figura 2.13: Esquema de um exemplo de uma SADI

2.9.3 Sensores de Detecção de Fumos

O equipamento que aciona automaticamente os sistemas de exaustão abordados anteriormente é o sensor de deteção de fumos. Estes sensores detetam a presença de partículas ou gases característicos dos fumos e estão naturalmente integrados nos sistemas de controlo do incêndio, sendo imperial que funcionem de forma rápida e precisa de modo a mitigar o incêndio no menor tempo possível. [21] [34]



Figura 2.14: Sensor de Detecção de Fumos fotoelétrico, da Panasonic

2.9.4 Interruptores de Desenfumagem

Os interruptores são necessários em qualquer tipo de ventilador, no entanto, ventiladores instalados em zona de incêndio requerem interruptores específicos com resistência igual à sua. Tal como os ventiladores, os interruptores necessitam de certificação **F-400**. Esta especificidade assegura a sua funcionalidade mesmo depois de entrarem em contacto com os fumos originados pelo incêndio. Deste modo podem realizar um corte na corrente do ventilador e interromper o seu funcionamento, se assim for necessário.



Figura 2.15: Interruptor de segurança - modelo IAT, da Sodeca [1]

2.9.5 Sistemas de Controlo de Fumos Inteligentes

Yan-yan CHU e Dong LIANG [36] investigaram uma abordagem ao controlo de fumos envolvendo um sistema inteligente. Este sistema utiliza informações em tempo real de sensores e vídeos para ajustar a operação de controladores de portas, sistemas AVAC e ventiladores de exaustão. Esta abordagem visa melhorar as condições de evacuação e retardar a propagação dos fumos.

Os objetivos principais foram desenvolver uma estratégia modificada para controlar fumos e comparar essa estratégia com métodos tradicionais, avaliando melhorias na evacuação e redução de concentrações de fumos tóxicos.

A estratégia focou-se em 3 aspetos: controladores de portas em zonas sem ocupação, sistemas AVAC e ventiladores de exaustão.

Os controladores de portas foram especialmente eficazes na redução do tempo de propagação dos fumos em corredores, aumentando assim o tempo de evacuação dos ocupantes. Quanto ao sistema AVAC a sua importância foi comprovada já que houve uma redução drástica de gases tóxicos em áreas ocupadas, como monóxido e dióxido de carbono.

Estes sistemas inteligentes de controlo de fumos demonstram-se assim viabilidade prática e podem elevar os padrões de segurança em edifícios modernos. Os sistemas são sobretudo de elevada relevância em edifícios altos, onde os incêndios representam um grande risco devido à propagação de fumos. [36]

2.10 Parques de Estacionamento

As áreas urbanas modernas exigem estruturas de estacionamento cobertos e subterrâneos que são instalações essenciais, permitindo uma gestão eficiente do espaço e oferecendo comodidade aos utilizadores. No entanto, essas estruturas apresentam desafios significativos em termos de ventilação e segurança, especialmente devido à acumulação de gases tóxicos provenientes da combustão dos veículos, como o Monóxido de Carbono (CO), e ao risco associado à propagação de fumo em caso de incêndio. Para mitigar esses perigos e proporcionar condições seguras de operação e uso, sistemas de ventilação mecânica devem ser implementados, os quais são integrais para o projeto e operação desses espaços. Os parques de estacionamento estão incluídos nos espaços de utilização-tipo II - Estacionamento, segundo o RJ-SCIE - "(...) corresponde a edifícios ou partes de edifícios destinados exclusivamente à recolha de veículos e seus reboques, fora da via pública, ou recintos delimitados ao ar livre, para o mesmo fim (...)" [26].

Em relação à possibilidade da desenfumagem passiva nos parques de estacionamento **semienterrados**, ela é admitida no RT-SCIE desde que haja condições para um varrimento adequado.

"(...) Os pisos dos parques de estacionamento semienterrados onde, sobre duas fachadas opostas, seja possível garantir aberturas de admissão de ar, ventilação baixa, e saída de fumo, ventilação alta, cujas bocas em ambos os casos tenham dimensões superiores a **0,06 m² por lugar de estacionamento**, em condições que garantam um adequado varrimento (...)" [11].

Sendo assim, a equação que rege a área mínima de abertura no parque, tanto para admissão como para saída de ar é

$$A_{\min} = 0,06 \times N_{\text{lugares}} \quad [\text{m}^2]. \quad (2.13)$$

2.10.1 Ventilação de Impulso

Os parques de estacionamento requerem soluções eficazes de ventilação para garantir a qualidade do ar e a segurança dos ocupantes. Entre as tecnologias modernas mais utilizadas nestes espaços, destaca-se o uso de **ventiladores de impulso**, também conhecidos como **jet fans**. Estes dispositivos desempenham um papel essencial não apenas na ventilação diária, mas também no controlo de fumo em situações de incêndio.

O princípio de base consiste na instalação de ventiladores de impulso, normalmente fixados ao teto, que induzem escoamentos longitudinais no espaço ao acelerar massas de ar a alta velocidade. A energia cinética transferida pelos ventiladores gera um efeito de arrastamento, em que o jato arrasta o ar ambiente, promovendo a renovação do volume de ar sem necessidade de condutas extensas de insuflação. Estes jatos de ar direcionais induzem o movimento do ar poluído, principalmente contendo monóxido de carbono e outros produtos da combustão dos veículos e em situação de incêndio, em direção a pontos de extração. Ao contrário dos sistemas convencionais com extensas redes de condutas, estes permitem uma circulação de ar mais livre, flexível e controlada, reduzindo a complexidade da infraestrutura e facilitando intervenções de manutenção - Figura 2.16. Entre as suas vantagens num âmbito comparativo com um sistema de condutas convencional estão também: um aumento da visibilidade interior, uma menor perda de carga (e conseqüente menor potência instalada), menor atravancamento e maior flexibilidade de instalação.

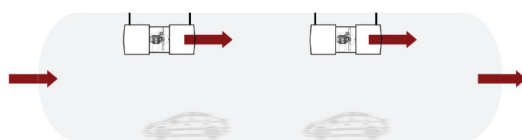


Figura 2.16: Esquema de funcionamento de Ventiladores de Impulso

Estes sistemas são especialmente eficazes em estruturas de estacionamento com acesso limitado à ventilação natural ou com grandes áreas subterrâneas. A ventilação com recurso ao impulso deve ser projetada para prevenir a acumulação de gases perigosos, garantindo a renovação do ar segundo os limites definidos pelas normas locais e internacionais.

Este tipo de ventilação apresenta uma dupla função. Em condições de funcionamento normal, permite controlar as concentrações de poluentes produzidos pela circulação automóvel, em particular o CO, garantindo que não ultrapassem os valores-limite estabelecidos pelas normas e regulamentos. Já em situação de incêndio, o sistema atua no controlo e extração de fumos, criando fluxos organizados que mantêm os corredores livres de fumo, facilitam a evacuação de pessoas e assegurando melhores condições de intervenção aos bombeiros.

O funcionamento eficaz depende de fatores como a orientação dos ventiladores, a distância entre unidades, a geometria do espaço e a localização das aberturas de insuflação e exaustão. A correta disposição dos ventiladores evita zonas mortas ou recirculações que comprometam a qualidade do ar. Existem assim determinadas regras a seguir na elaboração de um projeto que inclua ventiladores de impulso:

- As admissões de ar devem ser realizadas a montante da fonte de calor e as exaustões do fumo devem encontrar-se a jusante desta;
- A extração dos fumos deve ser feita na direção oposta a rampas, pois estas podem ser consideradas caminhos de evacuação ou de acesso aos bombeiros - Figura 2.17. Se necessário colocar um ventilador na entrada da rampa de forma a assegurar a ausência de fumos de incêndio;

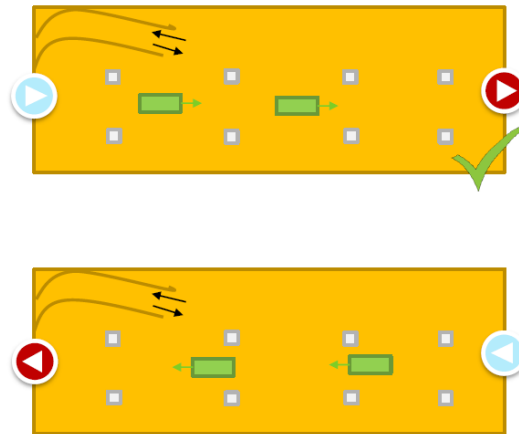


Figura 2.17: Correta disposição de Ventiladores de Impulso - Rampas

- Tomar precauções quanto a possíveis zonas de estagnação, avaliando a sua admissibilidade. A norma NP4540 estabelece que estas zonas devem ser limitadas à distância para a qual seja possível visualizar sinais emissores de luz e estabelece também medidas concretas - "(...) Considera-se esta condição satisfeita se a menor dimensão em planta desta zona de estagnação for inferior a 7 m, se o acesso a esta zona for feito apenas por um lado (ver Figura 2.18). Se o acesso for bilateral, a menor dimensão em planta desta zona de estagnação deve ser inferior a 14 m (...)" [28];

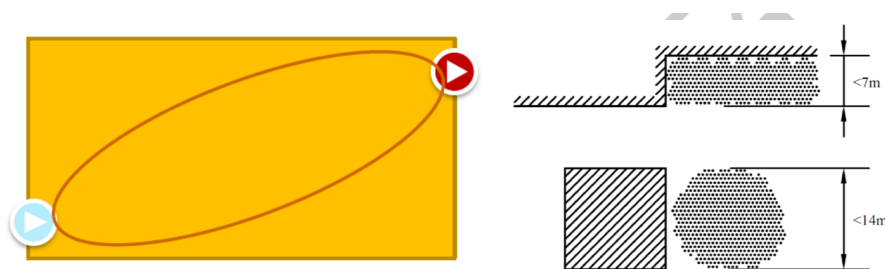


Figura 2.18: Correta disposição de Ventiladores de Impulso - Estagnação

- A localização dos ventiladores não deverá ser próxima a obstáculos a jusante do escoamento. Esta proximidade poderá gerar pressões que conduzam o escoamento para zonas a montante do ventilador, onde a extração do fumo não seja realizada de forma eficiente - Figura 2.19;



Figura 2.19: Correta disposição de Ventiladores de Impulso - Proximidade a obstáculos

- Cada ventilador de impulso possui o seu próprio campo de velocidade, caracterizado por um **cone de alcance teórico** em forma de triângulo isósceles. Quando estes ventiladores se dispõem em série, eles devem ser colocados de modo que na sua distância máxima ocorra uma sobreposição dos seus campos de velocidade.

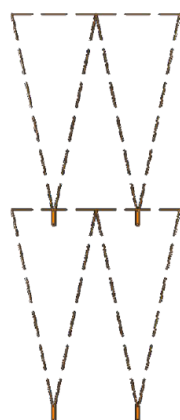


Figura 2.20: Correta disposição de Ventiladores de Impulso - Campo de Velocidade

Como consequência de todas estas nuances, o dimensionamento é frequentemente apoiado por ferramentas de simulação computacional (CFD), que permitem prever a distribuição dos fluxos e validar o desempenho do sistema em diferentes cenários.

A investigação conduzida por J. C. G. Viegas (2008) [37] foi determinante para consolidar a ventilação de impulso como uma tecnologia fiável. Foi demonstrado através de análises experimentais e numéricas, a capacidade destes sistemas em assegurar a diluição de poluentes e em controlar o movimento de fumo em parques subterrâneos. Esta investigação, contribuiu para que a técnica fosse integrada em guias internacionais de projeto e em regulamentos de segurança contra incêndios.

Assim, a ventilação de impulso deve ser entendida como uma solução de engenharia que alia eficiência e segurança, substituindo os sistemas convencionais de condutas por uma abordagem mais direta e dinâmica. O seu sucesso depende, contudo, de um dimensionamento criterioso, apoiado em modelação e ensaios, de forma a garantir que o desempenho previsto se verifica em condições reais de operação e de emergência. [38] [39]

2.10.2 Presença do Monóxido de Carbono

Os parques de estacionamento subterrâneos são ambientes urbanos críticos, frequentemente localizados em grandes centros comerciais, edifícios de escritórios e complexos residenciais. No entanto, devido á acumulação de poluentes, em particular o CO, essas áreas apresentam desafios significativos para a qualidade do ar e para a saúde dos ocupantes.

O CO é um gás inodoro e **tóxico**, emitido principalmente por veículos consumidores de gasolina e *diesel*. Ele é libertado em processos de combustão incompleta, que ocorrem com pouco oxigénio. Também é libertado na queima de carvão e outros materiais ricos em carbono, como os derivados do petróleo. Quando inalado, o CO liga-se à hemoglobina, formando Carboxihemoglobina (COHb), o que impede a hemoglobina de transportar oxigénio para os órgãos e tecidos vitais. Isso resulta em hipóxia, onde os tecidos do corpo não recebem oxigénio suficiente. A exposição a níveis elevados de CO pode causar desde fadiga e dificuldades respiratórias até danos cerebrais, doenças cardiovasculares e até morte em casos mais extremos. [39]

Existem limites estabelecidos para o limite de concentração de CO a que um ser humano deve estar exposto, relativos tanto a exposições longas como a contactos instantâneos. De acordo com o RT-SCIE - "(..) O teor de monóxido de carbono (CO) existente no ar não deve exceder **50 ppm** em valores médios durante **oito horas**, nem **200 ppm** em **valores instantâneos**. (..) "[11]. A *ASHRAE* recomenda um limite mais restrito de 25 ppm em exposições prolongadas para garantir a qualidade do ar interior em espaços públicos fechados, como garagens subterrâneas, no entanto, em Portugal o primeiro regulamento é naturalmente respeitado. Embora os valores adotados sejam estes, a Organização Mundial de Saúde (OMS) estabelece valores ainda mais rigorosos - Tabela 2.2

Período de Exposição	Limite de Concentração (CO)	Equivalente em ppm
Exposição de 24 horas	7 mg/m ³	6 ppm
Exposição de 8 horas (TWA)	10 mg/m ³	8.7 ppm
Exposição de curto prazo (15 minutos)	100 mg/m ³	87 ppm

Tabela 2.2: Limites de Exposição ao Monóxido de Carbono (CO) - OMS 2021 [10]

As diretrizes da OMS são focadas na exposição contínua, com valores baseados em longos períodos de exposição (dias ou semanas), já que os efeitos à saúde ocorrem com exposições prolongadas. Estes valores são direcionados especialmente para

aqueles que passam longos períodos em ambientes fechados, como trabalhadores e motoristas.

Os limites de CO no RT-SCIE podem ser mais altos, pois referem-se a exposições a curto prazo, em cenários de emergência. O risco é mais relacionado ao efeito imediato dos fumos e gases durante um incêndio ou uma libertação de um elevado caudal de poluentes num curto espaço de tempo.

O estudo de Al-Mutairi et al. (2020) [40] investigou a concentração de CO em parques de estacionamento no Avenues Mall, um dos maiores centros comerciais do Médio Oriente, e destacou a importância da ventilação adequada para controlar as concentrações de CO. Este estudo inclui garagens *open space* e garagens fechadas nas estações de inverno e de verão. Um sistema de ventilação já era existente nestes espaços. Naturalmente os valores mais elevados verificaram-se nas garagens fechadas devido ao menor volume existente para o ar circular e diluir o CO. Durante o verão, os níveis de CO foram também superiores nas garagens, podendo ser uma combinação de dois fatores. Em primeiro lugar, as temperaturas elevadas favorecem a evaporação de combustíveis e podem afetar negativamente a eficiência dos sistemas de ventilação, reduzindo a renovação do ar e facilitando a acumulação de poluentes. Em segundo lugar, a ocupação dos parques de estacionamento é geralmente mais elevada nesta estação. Este acréscimo no número de veículos intensifica a emissão de CO, especialmente durante os períodos de entrada e saída, contribuindo para a elevação das concentrações registadas.

Embora as concentrações médias de CO nas garagens estudadas estivessem abaixo dos limites estabelecidos pela ASHRAE e pelo RT-SCIE, o estudo identificou picos de até 40 ppm, especialmente em períodos de alta deslocação de veículos e temperaturas baixas. Esses picos podem representar um risco significativo à saúde dos ocupantes, especialmente se a exposição for prolongada.

Neste contexto, a ventilação de impulso surge como uma solução eficaz, promovendo a circulação e diluição do CO nas garagens subterrâneas. Ao criar fluxos direcionados de ar, ajudam a transportar o CO das áreas de maior concentração para os pontos de extração, reduzindo a acumulação do gás e mantendo os níveis de CO dentro dos limites de segurança recomendados.

O estudo de Teleszewski e Gładyszewska-Fiedoruk (2025) [41] investigou os níveis de CO no interior de uma garagem pertencente a uma casa unifamiliar. Esta garagem tinha um volume pequeno de 43,5 m³, o que significa que a acumulação de CO ocorre de maneira mais rápida em comparação com garagens maiores. Os testes foram realizados utilizando o motor de um carro em funcionamento dentro da garagem, para avaliar a concentração de CO durante um período de 1 hora, com a ventilação ligada e desligada.

O estudo revelou naturalmente que, quando a ventilação de exaustão foi ligada, as concentrações de CO diminuíram. Foram realizadas diferentes medições com a ventilação em operação, sendo a variante o número de renovações horárias do espaço. mas os níveis de CO ainda ficaram acima de 35 ppm após 1 hora de exposição. Em algumas medições, a concentração de CO foi de 350 ppm, ainda acima dos limites seguros.

Sem ventilação e a porta da garagem fechada, a concentração de CO aumentou linearmente, atingindo 2253 ppm após 1 hora de funcionamento do motor. Este nível é extremamente perigoso e bem acima dos limites recomendados pela OMS para exposição prolongada, sendo mesmo uma ameaça à vida humana. Estes valores

são naturalmente elevados devido ao contínuo funcionamento do veículo, algo que muito dificilmente ocorre em situações do dia-a-dia. Embora este estudo aborde um cenário algo raro, é importante para demonstrar como as concentrações de CO disparam em situações de espaços de pequena dimensão e contínua libertação deste componente. Pode-se também retirar que é de extrema importância proceder à abertura da garagem antes de arrancar o motor do veículo, em casos de garagens individuais. Este estudo realça também a devida atenção ao controlo de CO, em *boxes*. Estas estruturas particulares, são abordadas no RT-SCIE onde é referida a necessidade de combater o incêndio no seu interior, algo que irá ser explorado no caso de estudo realizado na tese - "(...) espaço situado num parque de estacionamento coberto, destinado exclusivamente à recolha de **um ou dois veículos** ou seus reboques, de área não superior a **50 m²**, delimitado por paredes com a altura do piso e sem aberturas, possuindo acesso direto aberto ou fechado, desde que, neste último caso, seja possível sem necessidade da sua abertura combater com facilidade um incêndio que ocorra no seu interior (...)" [11].

Teleszewski e Gładyszewska-Fiedoruk (2025) [41] recomendaram a implementação de sistemas automáticos de controlo de CO, como sensores de CO, para ajustar a ventilação automaticamente com base nos níveis de CO detetados.

O RT-SCIE aborda, como referido anteriormente, as duas situações: valores durante oito horas e valores instantâneos. Ambas as situações são dimensionadas de acordo com o número de lugares de estacionamento do parque, no entanto, são naturalmente adotados valores distintos para as duas situações - Tabela 2.3.

Concentração de CO (ppm)	Caudal de extração (m ³ /h por veículo)
50	300
100	600

Tabela 2.3: Caudais de extração mínimos para diferentes concentrações de CO [11]

Tendo em conta que o caudal necessário para 50 ppm é metade do necessário para 100 ppm, os ventiladores terão de ser selecionados para este efeito. Para acautelar as duas situações, são selecionados ventiladores de **duas velocidades**, tanto os de insuflação e extração, como os ventiladores de impulso.

O RT-SCIE aborda também a existência de **detetores de CO** e as suas especificidades - "(...) O sistema de controlo de poluição deve dispor de: a) 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 detetador (...)" [11].

São instalados assim nos edifícios os **detetores de CO**, que estão interligados a **centrais de CO** que funcionam como o "cérebro" do sistema de modo a reconhecer quando a concentração sobe para níveis elevados e qual detetador foi acionado. Ultrapassando os 50 ou 100 ppm, todos os ventiladores entram em funcionamento na 1^a ou 2^a velocidade, respetivamente.

3 Caso de Estudo

A presente tese tem como objetivo o dimensionamento de um sistema de controlo de fumos para um edifício de habitação coletiva - ANEXO E. Estes sistemas são fundamentais para garantir a segurança dos moradores em caso de incêndio, ajudando a manter as vias de evacuação livres de fumo e facilitando o atuação dos bombeiros. O papel do gabinete técnico da empresa foi de auxílio a um gabinete de projeto de uma empresa externa, pelo que este estudo está apenas restringido ao que lhe foi solicitado.

A escolha deste tipo de edifício para tema deste trabalho prende-se com a sua relevância em contextos urbanos, onde a concentração de pessoas e a complexidade dos acessos tornam a segurança contra incêndios uma prioridade. Ao trabalhar num caso real, pretende-se aplicar os conhecimentos adquiridos ao longo do trabalho, respeitando as normas e regulamentos em vigor, como o RT-SCIE, o RJ-SCIE e as normas técnicas europeias.

Este estudo vai incluir a análise do edifício, a identificação dos riscos principais e o cálculo do sistema necessário para controlar o movimento dos fumos. O objetivo final é propor uma solução segura, eficaz e ajustada à realidade do edifício.

O edifício em questão foi modelado no software REVIT. Este é um software de modelação BIM utilizado para projetar, documentar e coordenar edifícios em 3D de forma integrada entre arquitetura, estruturas e instalações. A planta da arquitetura foi fornecida em formato 2D, pelo que o primeiro passo foi projetá-la em 3D neste software. Após esse levantamento da planta foram então colocados os ventiladores e condutas de ar, pertencentes ao projeto mecânico.

3.1 Análise do edifício

O edifício abordado trata-se de uma habitação coletiva, constituída por 6 pisos: 4 pisos superiores (Piso 0,1,2 e 3) e 2 pisos subterrâneos (Piso -1 e -2).

Os pisos superiores são destinados a espaços residenciais. Cada um dos pisos é composto por 10 apartamentos, prefazendo assim um total de 40 habitações.

Os pisos subterrâneos são destinados sobretudo a parques de estacionamento. O piso -1 contém 40 lugares de estacionamento para veículos ligeiros e também uma sala do condomínio. O piso -2 contém 38 lugares de estacionamento. Estes lugares estão agrupados aos pares, sendo estes espaços denominados *boxes*, um compartimento caracterizado pelo RJ-SCIE como demonstrado anteriormente - Figura 3.1 e Figura 3.2. Confirma-se assim de facto a denominação destes compartimentos e neste caso em estudo o acesso direto é fechado, pois trata-se de um portão automático acionado via comando. É assim necessário garantir um combate eficaz ao incêndio mesmo sem a sua abertura, como será demonstrado adiante. O edifício apresenta também uma caixa de escadas que serve a totalidade dos pisos.

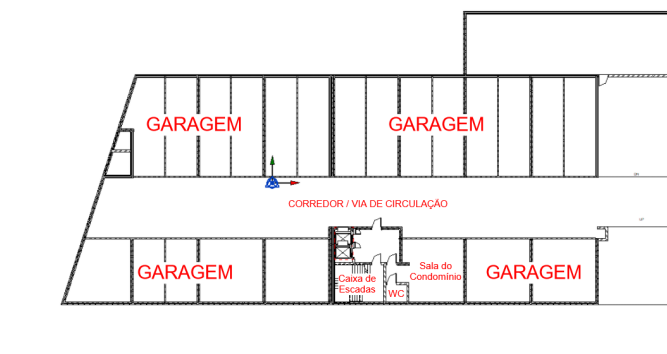


Figura 3.1: Descrição do Piso -1

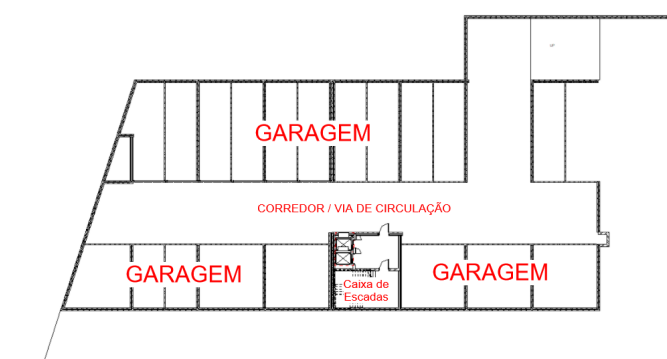


Figura 3.2: Descrição do Piso-2

Como poderá ser verificado adiante, apenas os pisos inferiores e a caixa de escadas do edifício necessitam de sistemas de controlo de fumos, pelo que no levantamento da planta foi tomada a opção de não modelar as restantes divisões. Esta é uma forma de não saturar o modelo e dar ênfase às divisões abordadas - Figura [3.3](#).

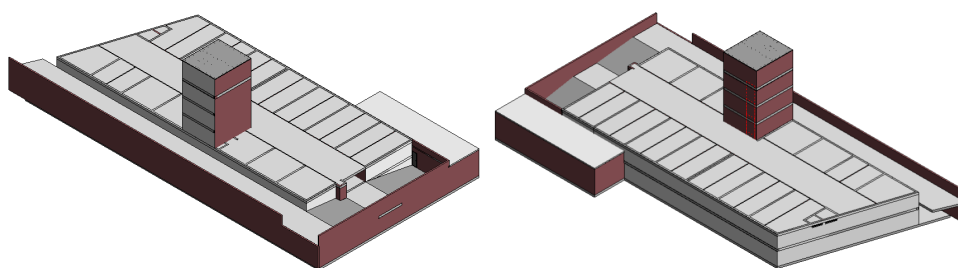


Figura 3.3: Vistas 3D do edifício

3.2 Dimensionamento do sistema de controlo de fumos

Como já referido anteriormente, de acordo com o RJ-SCIE os espaços de utilização-tipo II - Estacionamentos necessitam de controlo de fumos.

Para estes espaços o método utilizado no caso de estudo é o **controlo de fumo** com recurso a ventilação de impulso. Neste caso aplicado pelo reduzido pé direito do parque de estacionamento e **efeito túnel** verificado nos corredores. Este efeito verifica-se devido a serem **estreitos e compridos**.

Deste edifício fazem parte dois pisos de parque de estacionamento. Embora sejam dois pisos semelhantes, têm uma ligeira diferença no número de lugares de estacionamento - Tabela 3.1, algo significativo para o dimensionamento do sistema de desenfumagem.

Piso	N.º de Lugares de Estacionamento
Piso -1	40
Piso -2	38

Tabela 3.1: Número de lugares de estacionamento por piso no parque.

Esta diferença justifica-se sobretudo pela distinta posição da entrada do piso -2, que lhe retira 4 lugares relativamente ao piso -1. Em contrapartida, o piso -1 possui uma sala do condomínio, que lhe retira 2 lugares comparando com o piso -2. Ambas estas nuances justificam assim a superioridade em 2 lugares do piso -1.

Recorrendo ao RT-SCIE, nomeadamente à Tabela 2.3, podemos assim calcular o caudal necessário para extração em cada piso do parque.

Para o Piso -1:

$$Q_{\text{ext, Piso -1}} = 40 \times 600 = 24000 \text{ m}^3/\text{h}. \quad (3.1)$$

Para o Piso -2:

$$Q_{\text{ext, Piso -2}} = 38 \times 600 = 22800 \text{ m}^3/\text{h}. \quad (3.2)$$

Quanto à insuflação de ar presente no sistema de desenfumagem, analisando a arquitetura do parque, chega-se à conclusão que ela poderá ser feita de forma natural. As aberturas presentes em ambos os pisos são suficientes para assegurar o varrimento, partindo do pressuposto que as áreas mínimas são atingidas. Do lado oposto estará o sistema de extração.

Sendo assim, aplicando a equação referida no capítulo anterior - Equação 2.13 - é possível calcular essa mesma área mínima de abertura.

Para o Piso -1:

$$A_{\text{mín, Piso -1}} = 0,06 \times 40 = 2,4 \text{ m}^2. \quad (3.3)$$

Para o Piso -2:

$$A_{\text{mín, Piso -2}} = 0,06 \times 38 = 2,28 \text{ m}^2. \quad (3.4)$$

Quanto aos **ventiladores de impulso**, eles são utilizados com o intuito de promover o varrimento nos pisos do parque de estacionamento como referido no capítulo anterior. No espaço entre a insuflação e a extração dos pisos será colocado um ventilador de impulso. A presença de *boxes* neste parque é algo que oferece características particulares ao movimento do fumo. Nestas situações a sua circulação é geralmente em forma de túnel ao longo do corredor pelo que a utilização do ventilador de impulso é particularmente adequada para a promoção do varrimento longitudinal do fumo de incêndio e os seus poluentes. O caudal movimentado pelo ventilador é algo singular a cada modelo e a sua dimensão, pelo que esse valor só será conhecido quando se realizar a seleção do ventilador adiante.

Passando agora para a **pressurização**, pode-se observar que o edifício possui uma caixa de escadas. Esta caixa de escadas é considerada uma **VVE** e necessita de

ser pressurizada para proteger a evacuação dos ocupantes da habitação coletiva como demonstrado anteriormente. Adjacentes a esta caixa de escada estão presentes outras divisões que conectam com os pisos do parque de estacionamento. Estas divisões são CCF, existindo uma para o Piso-1 e outra para o Piso-2.

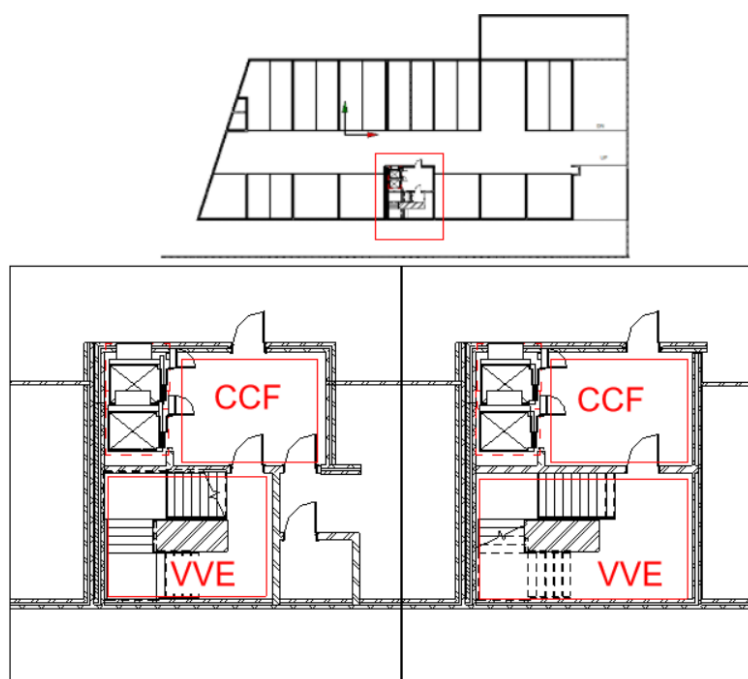


Figura 3.4: VVE e CCF sinalizadas no edifício

O seu dimensionamento é efetuado utilizando as equações referidas no capítulo anterior, Equação 2.2 para situação de porta fechada e Equação 2.3 - para situação de porta aberta.

Para poder utilizar a equação relativa à situação porta fechada é necessário, em primeiro lugar, calcular a área total de fugas da caixa de escadas. De notar que a VVE engloba todos os pisos da habitação coletiva, desde o piso -1 ao piso 4, perfazendo assim 6 pisos pressurizados - Figura 3.5.

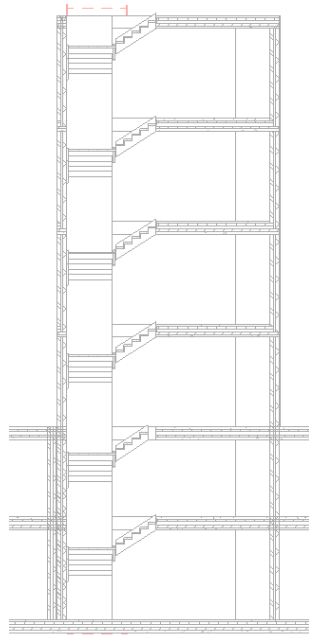


Figura 3.5: Via Vertical de Evacuação do edifício

O cálculo da área de fuga é feito, consultando as tabelas da norma EN12101-13:2022 [8]. A informação presente nas tabelas permite consultar o valor da área de fuga para cada tipo de porta. No caso desta estrutura constata-se que todos os pisos apresentam a mesma disposição - apenas uma porta simples de abertura para o exterior do espaço pressurizado. Sendo assim basta verificar o valor na Tabela A.2 - Tabela 3.6 da norma e multiplicá-lo pelo número de portas.

Table A.2 — Air leakage data from doors

Type of door	Leakage area [m ²] (See note 1)	Pressure differential [Pa]	Air leakage [m ³ /s]
Single-leaf opening into a pressurized space	0,01	50	0,06
		40	0,05
		30	0,05
		20	0,04
		10	0,03
Single-leaf opening outwards from pressurized space	0,02	50	0,12
		40	0,10
		30	0,09
		20	0,07
		10	0,05

Figura 3.6: Tabela A.2 [8]

Analisando assim a Tabela da Figura 3.6, retira-se o valor de **0,02 m²**. A multiplicação pelos 6 pisos, é a seguinte:

$$A_{\text{fuga}} = 0,02 \times 6 = 0,12 \text{ m}^2. \quad (3.5)$$

Este valor é seguidamente aplicado na Equação 2.2. O valor adotado para a diferença de pressão é de **50 Pa**, um valor intermédio do sugerido pelo RT-SCIE (20 a 80 Pa) e é utilizado de modo geral nos projetos. O cálculo é então

$$Q_{\text{porta fechada}} \approx 0,8391 \times 0,12 \times \sqrt{50} \approx 0,712 \text{ m}^3/\text{s} = 2563,2 \text{ m}^3/\text{h}. \quad (3.6)$$

Após obter o caudal em situação de porta fechada é indispensável calcular o caudal para situação de porta aberta. Neste caso é adotado um valor da velocidade da porta de **0,5 m/s**, devido á inexistência de CCF nos pisos superiores ao parque de estacionamento, segundo as exigências RT-SCIE como abordado no capítulo anterior. Para resolver a equação da situação de porta aberta - Equação 2.3 - é imprescindível ter conhecimento da área das portas em questão, sendo assumido no caso deste projeto o valor de **2 m²**.

A resolução da equação, sendo assim, é

$$Q_{\text{porta aberta}} = 0,5 \times 2 = 1 \text{ m}^3/\text{s} = 3600 \text{ m}^3/\text{h}. \quad (3.7)$$

Comparando os dois valores pode-se concluir que o valor do caudal para porta aberta é superior, logo o ventilador de pressurização tem de ser dimensionado utilizando o valor de **3600 m³/h**.

Além da VVE as CCF dos pisos inferiores necessitam de serem pressurizadas, como referido no capítulo anterior.

Devido à presença das CCF deverá ser respeitado o critério da velocidade de 1m/s na porta que interliga este espaço com o parque de estacionamento. Recorrendo novamente à equação para situação de porta aberta - Equação 2.3 - podemos calcular o valor do caudal necessário a insuflar nas CCF.

Utilizando o mesmo valor da área da porta que na situação anterior, a resolução da equação é

$$Q_{\text{porta aberta}} = 1 \times 2 = 1 \text{ m}^3/\text{s} = 7200 \text{ m}^3/\text{h}. \quad (3.8)$$

Verifica-se então a necessidade de insuflar **7200 m³/h** de forma a manter a velocidade na porta situada entre a CCF e o parque, numa situação em que a porta de ligação entre a VVE e a CCF esteja igualmente aberta.

A abertura da primeira porta permite a transferência do caudal insuflado na caixa de escadas para a CCF. Como resultado deste fenómeno, o caudal proveniente da caixa de escadas soma-se ao caudal insuflado na CCF, sendo essa combinação o caudal que passa pela segunda porta.

Em termos numéricos pode-se então concluir que é apenas necessário o ventilador da CCF insuflar **3600 m³/h**, pois a esses são adicionados outros 3600 m³/h perfazendo assim os 7200 m³/h requeridos - Figura 3.7.

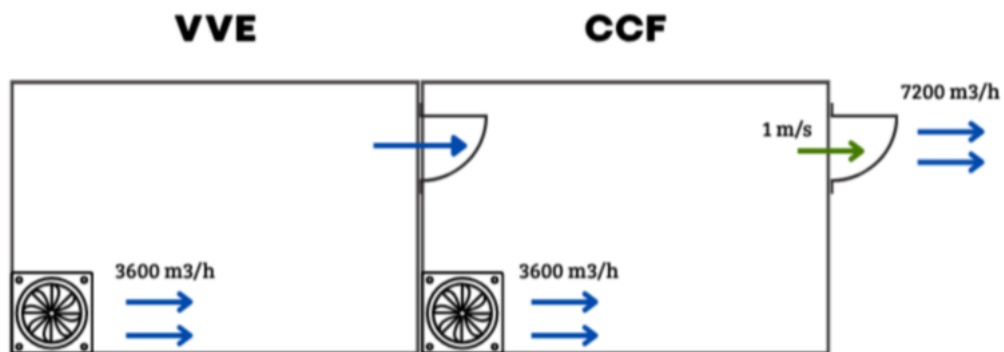


Figura 3.7: Esquema de pressurização da VVE e CCF

Após o cálculo dos caudais necessários, pode-se assim estabelecer o número de ventiladores e a sua funcionalidade - Tabela [3.2](#)

Ref.	Piso	Observação	Caudal (m ³ /h)
VED-1	-1	Extração - Desenfumagem	24000
CI-1	-1	Impulso	-
VP-CCF-1	-1	Pressurização	3600
VED-2	-2	Extração - Desenfumagem	22800
CI-2	-2	Impulso	-
VP-CCF-2	-2	Pressurização	3600
VP-VVE	-1 e -2	Pressurização	3600

Tabela 3.2: Ventiladores - Caudal

3.2.1 Seleção de Equipamentos

Após calcular os caudais e perdas de carga de cada equipamento, é necessário selecionar quais os modelos dos ventiladores a colocar nos respectivos espaços. Naturalmente todos os ventiladores pertencem ao catálogo da empresa onde foi realizado o estágio, a Sodeca.

Como referido anteriormente, esta seleção foi auxiliada pelo programa *Quick Fan*, da Sodeca. O primeiro passo foi a decisão do modelo do ventilador para cada divisão.

Para as CCF e a VVE a escolha recaiu sobre o modelo **CJBD-ALS**. Estes ventiladores serão instalados no exterior do edifício por questões de arquitetura, pelo que a sua estrutura em perfil de alumínio, com isolamento térmico e acústico tal como o seu acabamento resistente à corrosão em chapa de aço pré-lacada e perfil de alumínio foram muito importantes na escolha. Conduitas de ar irão fazer a ligação entre estes equipamentos e os espaços a servir, terminando o trajeto do ar em grelhas interiores. São também ventiladores de dupla aspiração, indicados assim para estas situações de pressurização onde o ar exterior é aspirado antes de ser insuflado no interior dos espaços.

Quanto aos ventiladores de extração serão localizados nos pisos do parque de estacionamento, uma zona de risco de incêndios. Estes serão instalados em paredes interiores e sem qualquer tipo de conduitas, sendo a extração do ar para o exterior realizada através de um poço e de uma grelha colocada na parede exterior. O ventilador **THT-CL** foi o eleito, pois é um ventilador axial tubular para trabalhar inserido em zonas de risco de incêndios, possuindo a certificação F-400 que assegura que o ventilador poderá funcionar durante 2 horas com temperaturas de até 400°C. É também um ventilador que irá funcionar com **duas velocidades**, algo vantajoso neste contexto, pois permite a extração de metade do caudal total projetado em situações em que a concentração de CO é superior a 50 ppm de acordo com o RT-SCIE.

Explorando agora os ventiladores de impulso, o modelo selecionado foi o **CI**. A decisão recaiu sobre este ventilador em detrimento de outros devido à sua reduzida altura de atravancamento. No interior dos parques de estacionamento é necessária uma altura livre de 2,2 metros, algo que não era possível de cumprir com outras alternativas. A seleção deste tipo de ventiladores é distinta dos restantes, pois não é dimensionado um caudal ou perda de carga. Cada ventilador de impulso tem um campo de velocidade definido, dependendo da sua potência. Este campo de velocidade é representado por um triângulo isósceles que indica uma aproximação da zona preenchida pelo ar impulsionado pelo ventilador. Sendo assim é preciso ajustar esse campo ao espaço em questão, selecionando o ventilador adequado. Esta seleção procura evitar obstruções, tais como pilares e paredes, na zona abrangida pelo ar impulsionado.

Neste caso de estudo pode-se observar que o corredor do parque de estacionamento possui dimensões reduzidas, tendo um valor máximo de **6,2 metros** de distância entre dois portões alinhados frente a frente. Devido a esta condição dos pisos -1 e -2 é impossível selecionar um ventilador do modelo CI em que o seu campo não coincida com as paredes da garagem. Verificando as possibilidades, chegou-se à conclusão de que a opção mais favorável seria o ventilador **CI-50** pois é o que apresenta menor alcance (46 metros) e por consequência um menor campo de velocidade. Para designar a posição do ventilador de impulso no espaço, foi utilizado o software de

desenho *AutoCAD*. Tendo já a planta do edifício, foi posteriormente colocado o campo de velocidades de forma a seleccionar a melhor posição. Os ventiladores de impulso devem ser orientados de forma a assegurar o varrimento de todo o espaço do piso do parque de estacionamento, devendo a admissão de ar estar a montante e as exaustão do fumo a jusante - Figura 3.8 e Figura 3.9.

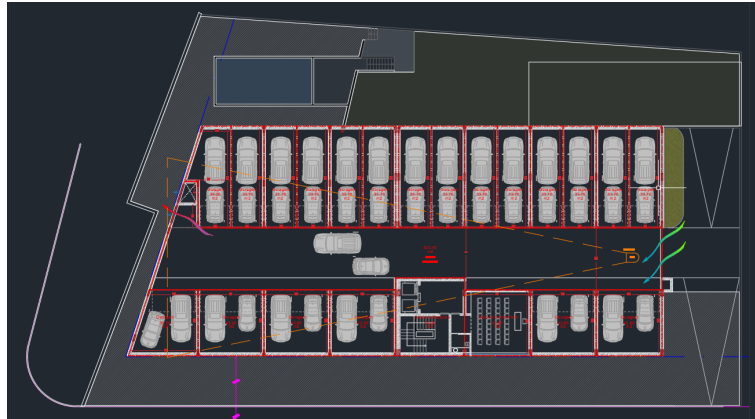


Figura 3.8: Planta do Piso -1 - Ventilador de Impulso

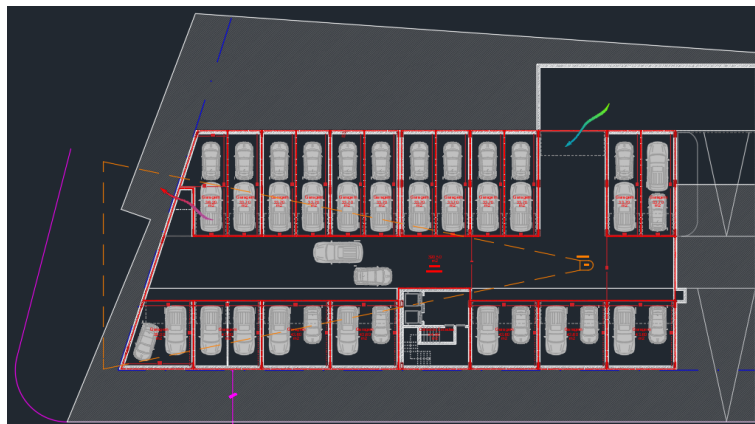


Figura 3.9: Planta do Piso -2 - Ventilador de Impulso

Passando agora para o programa *Quick Fan*, necessita-se naturalmente de colocar *inputs* de modo a obter opções de ventiladores. Esses valores são então os caudais e perdas de carga calculados, tal como o modelo previamente escolhido. De seguida o programa apresenta uma listagem das alternativas que se melhor adequam. Observando essas alternativas, é realizada uma análise tendo em consideração questões como as dimensões do ventilador e a sua potência. No geral quanto mais reduzidas as dimensões do ventilador mais fácil será encontrar um espaço no edifício em que ele possa ser instalado, facilitando assim também a coordenação com a arquitetura e menores serão as dimensões dos seus acessórios, reduzindo assim os custos da obra.

Quanto às **perdas de carga** elas são calculadas no mesmo programa, o *Quick Fan*. Este programa possui uma ferramenta que, baseando-se em todos os princípios referidos no *Subcapítulo 2.8 - Perdas de Carga em Conduitas de Ar*, tem a capacidade de calcular as perdas de carga de conduitas. Os *inputs* relacionados com o tramo da conduta que necessitam de introdução são:

Pode-se observar que a escolha recairia sobre uma grelha de dimensões $500 \times 400 \text{ mm}$, uma opção muito similar à tomada pelo projetista indicando uma escolha correta. Esta grelha teria uma velocidade de saída da grelha de $6,3 \text{ m/s}$ e um ruído de 35 dB(A) para $3000 \text{ m}^3/\text{h}$. Para conhecer o valor da velocidade para $3600 \text{ m}^3/\text{h}$, é utilizada a equação:

$$v_{grelha} = \frac{Q_{grelha}}{A_{\acute{u}til}} \quad (3.9)$$

Onde:

- $Q_{grelha} = 3600 \text{ m}^3/\text{h}$
- $A_{\acute{u}til} = 0,1320 \text{ m}^2$

O valor para o caso de estudo é de **$7,58 \text{ m/s}$** . Estes são valores elevados para um sistema AVAC convencional que serve espaços comuns numa habitação. No entanto, como este se trata de um sistema de pressurização apenas acionado em caso de emergência existe uma tolerância elevada. O objetivo do sistema é evitar a entrada de fumo nos espaços indicados, logo o conforto dos ocupantes é algo relegado para segundo plano. O valor máximo normalmente utilizado é de 10 m/s para tal situação.

No que diz respeito às grelhas presentes nos portões de entrada da garagem, tanto para o Piso -1 como para o Piso -2, elas são **grelhas exteriores**. A sua função é permitir a entrada do ar exterior nos pisos do parque. Estas grelhas foram também uma decisão alheia ao gabinete técnico da empresa, mas tais como as de pressurização é possível realizar uma verificação do dimensionamento. Esta verificação pode ser alcançada através do conhecimento do *coeficiente de passagem*, C_p e recorrendo à Equação [3.10](#) de forma a calcular a $A_{\acute{u}til}$ da grelha - Tabela [3.3](#).

$$A_{\acute{u}til} = A_{\text{total}} \times C_p \quad (3.10)$$

Piso	Dimensões	$A_{\text{total}} [\text{m}^2]$	C_p	$A_{\acute{u}til} [\text{m}^2]$
Piso -1	$5000 \times 200 \text{ mm}$	1,000	0,5	0,500
Piso -2	$7620 \times 800 \text{ mm}$	6,096	0,5	3,048

Tabela 3.3: Cálculos relativos às grelhas dos portões dos Pisos -1 e -2

Analisando os resultados e comparando-os com os valores de áreas mínimas obtidos previamente - Equação 3.3 e Equação 3.4 - pode-se concluir que apenas o Piso -2 cumpre os requisitos. De forma a contornar a dimensão reduzida da grelha instalada no portão do piso -1 a opção foi proceder à **abertura total automática** do portão em situação de incêndio, estando este comando diretamente conectado com a CDI. Esta é uma decisão de recurso e advém do facto da altura do portão ser reduzida (2,4 metros), permitindo apenas uma altura da grelha de 0,2 metros tendo em conta a necessidade de **2,2 metros livres** de altura em parques de estacionamento - Figura 3.11. Embora possa ser um risco do ponto de vista da segurança do edifício, é uma escolha necessária de modo a assegurar uma eficaz remoção dos fumos de incêndio do parque.

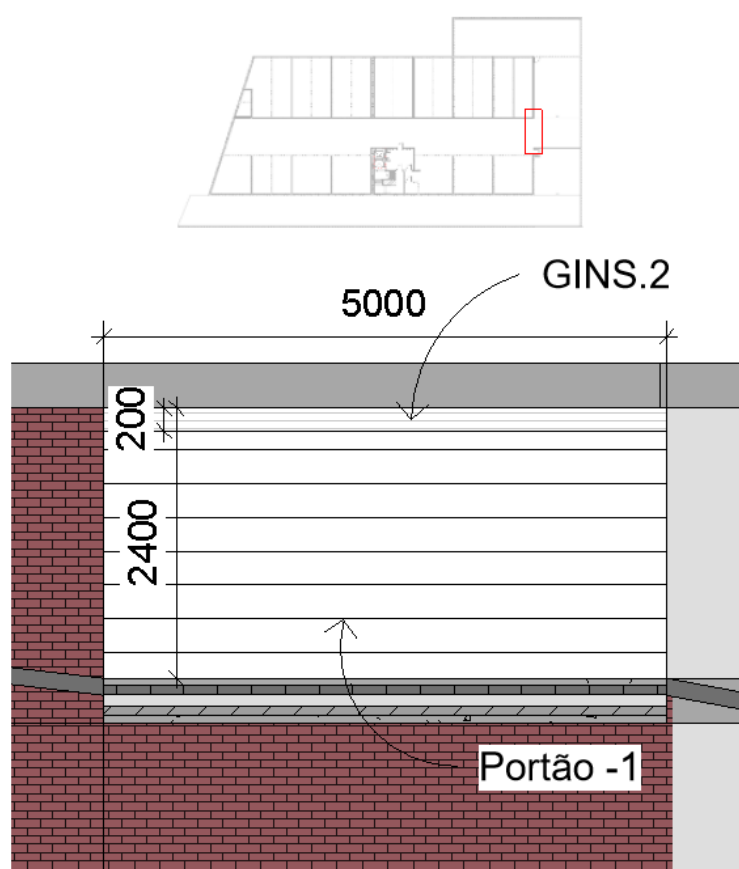


Figura 3.11: Representação do Portão do Piso-1 (medidas em mm)

Focando agora as atenções no Piso-2, a altura total do portão é superior (3,4 metros), permitindo assim a colocação de uma grelha que satisfaça a área útil mínima sem que os 2,2 metros livres de altura sejam comprometidos - Figura 3.12. Este piso possui também uma porta de acesso ao seu interior para os habitantes do edifício. As áreas mínimas calculadas para ambos os pisos são assim conseguidas, assegurando a conformidade com o RT-SCIE.

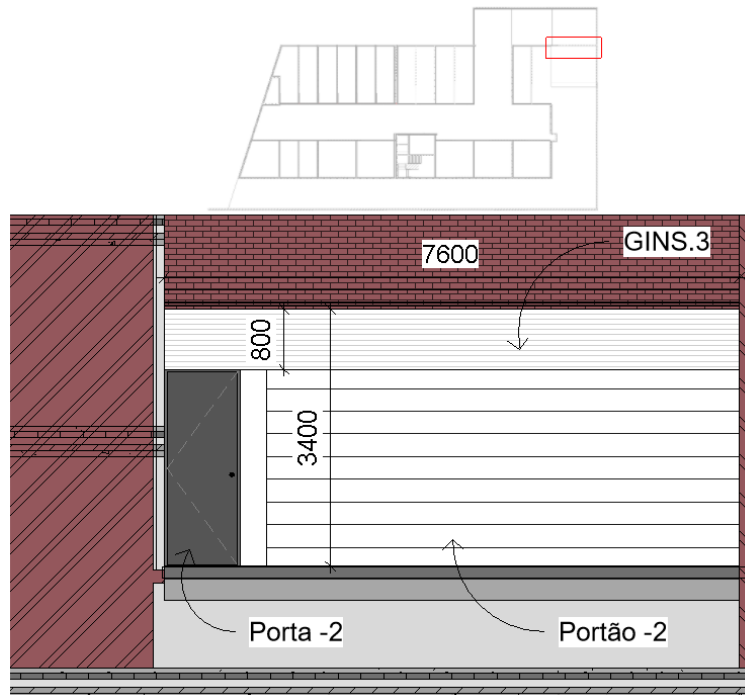


Figura 3.12: Representação do Portão do Piso-2 (medidas em mm)

Uma particularidade deste parque de estacionamento, como mencionado anteriormente, é a existência de *boxes*. É imperativo encontrar uma solução para o escoamento do fumo de incêndio caso ele ocorra nestes compartimentos, visto que a sua permanência nestes espaços é extremamente perigosa para os ocupantes e bens materiais.

Segundo a norma NP 4540:2015 [28] este escoamento deve ser feito através do corredor do parque de estacionamento. Este espaço é o único capaz disso, pois não apresenta obstáculos que possam impedi-lo. Para conduzir o fumo desde a *box* até ao corredor serão necessários meios, podendo estes ser ativos ou passivos. Neste caso de estudo a opção recaiu nos meios passivos, devido à altura reduzida (2,275m) dos compartimentos que complica a instalação de meios ativos.

A norma estabelece os valores necessários para as aberturas superiores e inferiores nestes casos - "(...) Se a desenfumagem for realizada por meios passivos, deverá incluir aberturas na parte superior da *boxe* (por exemplo na parede ou no portão), para exaustão do fumo para as vias de circulação ou diretamente para o exterior, pelo menos de **0,8 m² de área útil**, devendo existir aberturas na parte inferior da *boxe* para admissão de ar novo (diretamente do exterior ou das vias de circulação) de área pelo menos de 50% da área de exaustão do fumo (...)" [28]. Deste modo foi colocada uma grelha na parte superior de dimensões **3100×530mm** e duas grelhas na parte inferior de dimensões **300×150mm**. - Fig. 3.13. Estas grelhas são também grelhas exteriores como as colocadas no Portão-1 e Portão-2. Além de escoarem os fumos de incêndio do compartimento, as grelhas garantem um combate eficaz ao incêndio mesmo sem a abertura do portão da *box* ao permitir aos bombeiros o contacto com o seu interior.

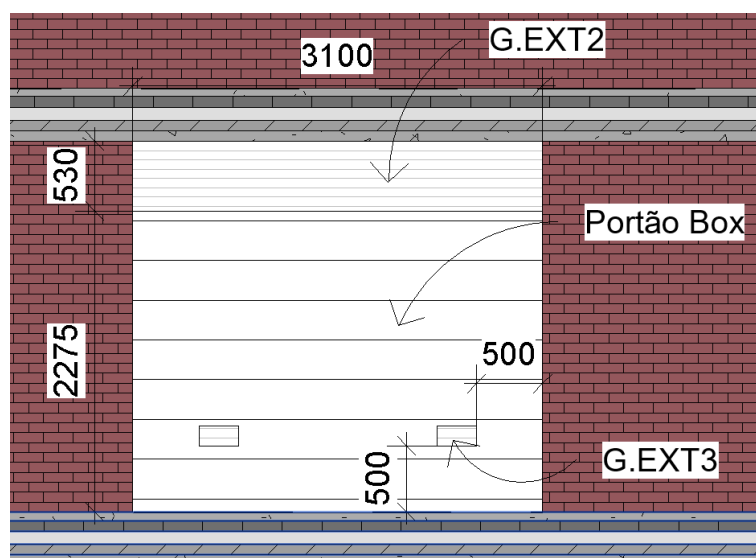


Figura 3.13: Representação do Portão das *boxes* (medidas em mm)

Utilizando novamente a Equação 3.10 pode-se verificar se a área útil das grelhas é suficiente.

Localização	Dimensões	A_{total} [m ²]	C_p	$A_{útil}$ [m ²]
Superior (exaustão)	3100×530mm	1,643	0,5	0,822
Inferior (ar novo)	300×150mm (×2)	0,090	0,5	0,045

Tabela 3.4: Cálculos relativos às grelhas dos portões dos Pisos -1 e -2

Analisando os resultados - Tabela 3.4 - chega-se à conclusão que nem todos os requisitos são cumpridos. Enquanto que a grelha superior (exaustão) tem uma área útil maior que 0,8 m², cumprindo assim a norma, a soma das áreas úteis das grelhas inferiores (ar novo) é menor que 50% da área de exaustão. O valor mínimo necessário é de 0,411 m², sendo que a área útil tem o **valor insuficiente** de 0,045 m². A decisão de colocar as grelhas com a área apresentada foi tomada pelo dono da obra. Esta opção está errada pois, como verificado, desrespeita a norma em vigor e deverá ser uma alteração futura a realizar neste edifício.

Para garantir uma sobrepressão de 50 Pa na VVE e nas CCF, como dimensionado anteriormente, será também necessário selecionar equipamentos para esse efeito. O **BOXPRES KIT** é um equipamento que é conectado ao ventilador de pressurização de forma a garantir esse valor de diferença de pressão, através da regulação da tensão do ventilador a ele ligado, incluindo para esse propósito um regulador de tensão. Além do regulador, esta unidade inclui uma sonda de pressão diferencial. Serão assim selecionados 3 kits, um para cada um dos ventiladores: VP-VVE, VP-CCF-1 e VP-CCF-2. Para realizar a seleção do kits de pressurização é necessário o conhecimento de duas características dos ventiladores: potência e tipo de alimentação elétrica, monofásica (230V) ou trifásica (400V). Neste caso todos os ventiladores em questão são iguais, possuindo uma potência de 0,55 kW e alimentação monofásica. Com este conhecimento foi feita a seleção de equipamentos com uma potência superior e mais próxima possível à dos ventiladores e uma alimentação monofásica.

A seleção final dos equipamentos está representada na Tabela 3.5 e a seleção final das grelhas na Tabela 3.6. As fichas técnicas de todos os equipamentos selecionados encontram-se nos ANEXOS B, C e D.

Ref.	Piso	Observação	Modelo	Pot. (kW)	Motor	Nº Vel.	Q (m³/h)	Pressão (Pa)
VED-1	-1	Extração - Desenfumagem	THT/CL-80-4/8T-4-F-400 400V	3,00 / 0,60	T	2	24000	200
CI-1	-1	Impulso	CI-50-4/8T-F-400 400V	1,20 / 0,30	T	2	-	-
VP-CCF-1	-1	Pressurização	CJBD/ALS-2525-4M 3/4 230V	0,55	M	1	3600	150
	-1	Kit de Pressurização	BOXPRES KIT-0.75KW 230V	0,75	M	-	-	-
VED-2	-2	Extração - Desenfumagem	THT/CL-80-4/8T-4-F-400 400V	3,00 / 0,60	T	2	22800	200
CI-2	-2	Impulso	CI-50-4/8T-F-400 400V	1,20 / 0,30	T	2	-	-
VP-CCF-2	-1	Pressurização	CJBD/ALS-2525-4M 3/4 230V	0,55	M	1	3600	150
	-1	Kit de Pressurização	BOXPRES KIT-0.75KW 230V	0,75	M	-	-	-
VP-VVE	-1 e -2	Pressurização	CJBD/ALS-2525-4M 3/4 230V	0,55	M	1	3600	150
	-1 e -2	Kit de Pressurização	BOXPRES KIT-0.75KW 230V	0,75	M	-	-	-

Tabela 3.5: Seleção final dos equipamentos

Ref.	Tipo	Dimensões (mm)	Quantidade
GINS.1	Grelha de Insuflação	550x300	3
GINS.2	Grelha Exterior	5000x200	1
GINS.3	Grelha Exterior	7600x800	1
G.EXT1	Grelha Exterior	2000x350	2
G.EXT2	Grelha Exterior	3100x530	1
G.EXT3	Grelha Exterior	300x150	2

Tabela 3.6: Seleção final das grelhas

Quanto aos interruptores de corte, são obrigatoriamente instalados em todos os ventiladores presentes no projeto. A sua função é a de cortar a corrente do equipamento, para poder ser manuseado em segurança. No catálogo da Sodeca existem duas variantes na escolha de um interruptor: a zona onde se insere o ventilador a ele associado, o número de velocidades que apresenta e o tipo de alimentação elétrica. Relativamente à zona onde o ventilador está instalado existem duas opções, que ditam qual o tipo de interruptor:

- **INT** - destinados a ventiladores inseridos fora da zona de incêndio;
- **IAT** - destinados a ventiladores inseridos na zona de incêndio, com certificação **F400 - 400°C/2h**.

O tipo de alimentação elétrica e o número de velocidades informa qual o número de pólos que o ventilador deverá ter:

- Ventiladores monofásicos ou trifásicos, selecionar interruptor de **3 pólos (3CA)**;
- Ventiladores monofásicos ou trifásicos, selecionar interruptor de **6 pólos (6CA)**.

Analisando assim as características dos ventiladores escolhidos - Tabela [3.5](#) - é possível realizar uma seleção dos interruptores a ser instalados na obra.

Os 3 ventiladores de pressurização estão instalados no exterior do edifício, logo fora da zona de incêndio. O ar que os atravessa é também proveniente do meio exterior, logo está a temperaturas baixas (na ordem dos 20°C). Tendo em conta estes aspetos e o facto de serem ventiladores monofásicos, a decisão foi de instalar um interruptor de 3 pólos sem certificação F-400.

Ambos os ventiladores de extração são projetados para transportar fumos de incêndio e estão inseridos em zona de risco, necessitando assim de interruptores com certificação F-400. Os dois ventiladores são trifásicos e operam em duas velocidades, resultando assim na necessidade de interruptores de 6 pólos. Depois desta pré-seleção é preciso selecionar o modelo adequado para cada situação, tendo em conta a intensidade a que o interruptor opera. Esta intensidade deve ser igual ou superior à do ventilador em questão, recaindo sempre a opção no modelo com menor intensidade possível. O objetivo é escolher o equipamento com menor custo possível. A seleção final encontra-se exposta na Tabela [3.7](#)

Ref.	Modelo	Intensidade (A)	Nº pólos	F-400	Ventiladores
INT.1	INT-KG-20/3CA	25	3	Não	VP-VVE, VP-CCF-1, VP-CCF-2
INT.2	IAT-400-20/6P	20	6	Sim	VED-1, VED-2

Tabela 3.7: Seleção final dos interruptores

Para o correto funcionamento dos ventiladores aquando da presença de CO nas divisões, é necessário a instalação de **centrais** e **detetores de CO**. Segundo o RT-SCIE, e como mencionado anteriormente, os detetores devem estar distribuídos uniformemente em vários pontos do parque de estacionamento de modo a abranger toda a sua área e detetar eficazmente a presença de CO. É referido também no regulamento que cada detetor deve cobrir áreas inferiores a 400 m². O detetor de CO selecionado foi o **FM-DP500** da Sodeca e na sua ficha técnica pode-se consultar que cobre no máximo 200 m² de superfície [1]. Analisando as plantas do edifício fornecidas em *AutoCAD* verificam-se os seguintes valores de áreas dos corredores de ambos os pisos do estacionamento, espaços que irão ser abrangidos pelos detetores - Tabela 3.8.

Piso	Área do corredor (m ²)
Piso -1	323.10
Piso -2	390.50

Tabela 3.8: Área dos corredores dos pisos do parque

Observando estes valores e introduzindo-os na Equação 3.11, pode-se extrair o número de detetores necessário em cada piso.

$$N^{\circ} \text{ de detetores} = \frac{\text{Área do corredor (m}^2\text{)}}{\text{Área de cobertura do detetor (m}^2\text{)}} \quad (3.11)$$

Para ambos os pisos, o valor inteiro por excesso mais próximo do valor calculado é de 2 detetores. Embora seja este o valor, a opção final foi de instalar **3 detetores** adicionando assim uma segurança extra ao sistema e precavendo algum tipo de falha que possa ocorrer num detetor. A discrepância do comprimento (51,33 metros) em comparação com a largura (6,2 metros) do corredor contribuiu também para esta decisão, pois os 3 detetores permitem uma melhor distribuição ao longo do comprimento - Figura 3.14 e Figura 3.15. Foram assim incluídos 6 detetores FM-DP500 no projeto. A central de CO selecionada foi a **FMC-C-501**.

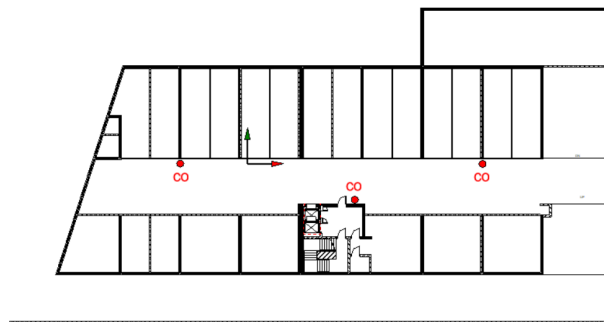


Figura 3.14: Planta do Piso -1 - Detetores de CO

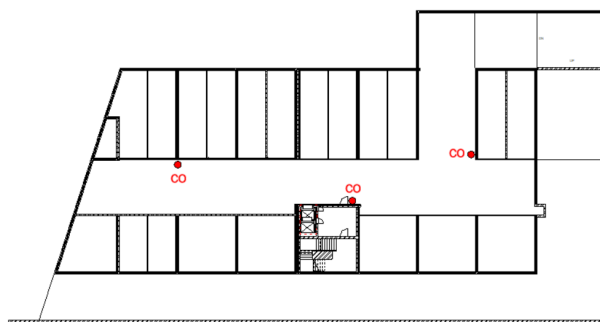


Figura 3.15: Planta do Piso -2 - Detetores de CO

3.2.2 Modelação e Instalação do Sistema

Os equipamentos de extração de ar (VED-1 e VED-2) foram colocados no extremo do parque oposto à entrada, procurando assim privilegiar o fluxo do fumo em direção aos ventiladores com o auxílio do ar natural admitido no portão da garagem e dos ventiladores de impulso, que irão ser abordados adiante. Desta forma, assegura-se um varrimento total do espaço na trajetória mais curta. Esta disposição verifica-se nos dois pisos - Figura 3.16 e Figura 3.17.

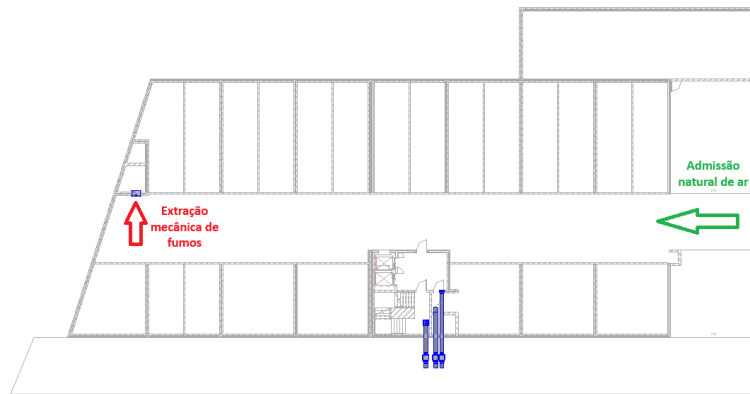


Figura 3.16: Planta do Piso -1

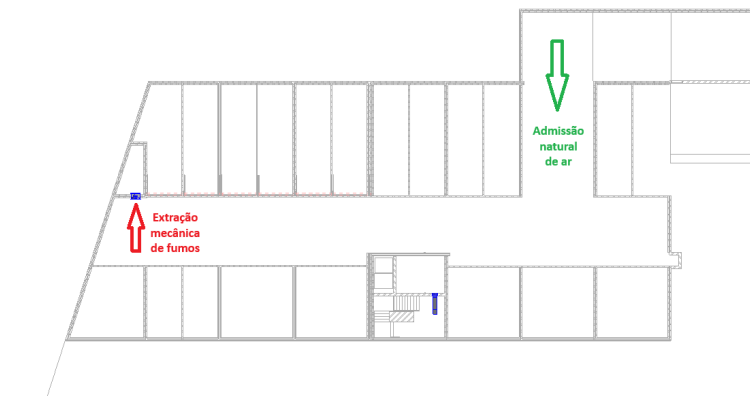


Figura 3.17: Planta do Piso -2

A entrada de ar nos dois pisos é feita em pontos não exatamente coincidentes devido à localização do portão ser diferente em cada piso. Quanto à extração mecânica dos fumos, é realizada em pontos coincidentes, tendo sido incorporados dois poços na arquitetura deste edifício de forma a oferecer uma saída para esses mesmos fumos. A existência dos poços permite assim a instalação direta dos ventiladores na parede do parque, evitando a utilização de condutas o que resulta numa redução de custos - Figura 3.18. Esta libertação dos fumos é executada ao nível do piso -1, tendo sido feita a instalação de duas grelhas de dimensões **2000×350mm** na parede do edifício para esse efeito - Figura 3.19.



Figura 3.18: Ventiladores de Extração - Pormenor de Instalação

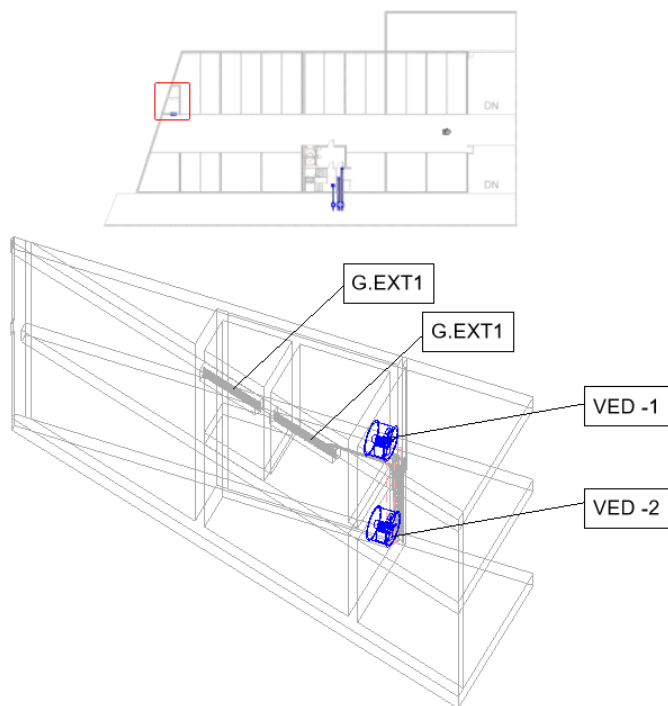


Figura 3.19: Vista 3D da Extração do parque de estacionamento

Relativamente aos ventiladores de pressurização (**VP-VVE**, **VP-CCF-1** e **VP-CCF-2**) estes foram colocados na parte exterior do edifício de forma a facilitar a captação do ar que será posteriormente insuflado nos espaços. Conduitas de ar foram também instaladas, conectando assim os ventiladores com as grelhas de insuflação que servem os espaços - Figura 3.20 e Figura 3.21. As grelhas de insuflação instaladas têm as dimensões **550×300mm**.

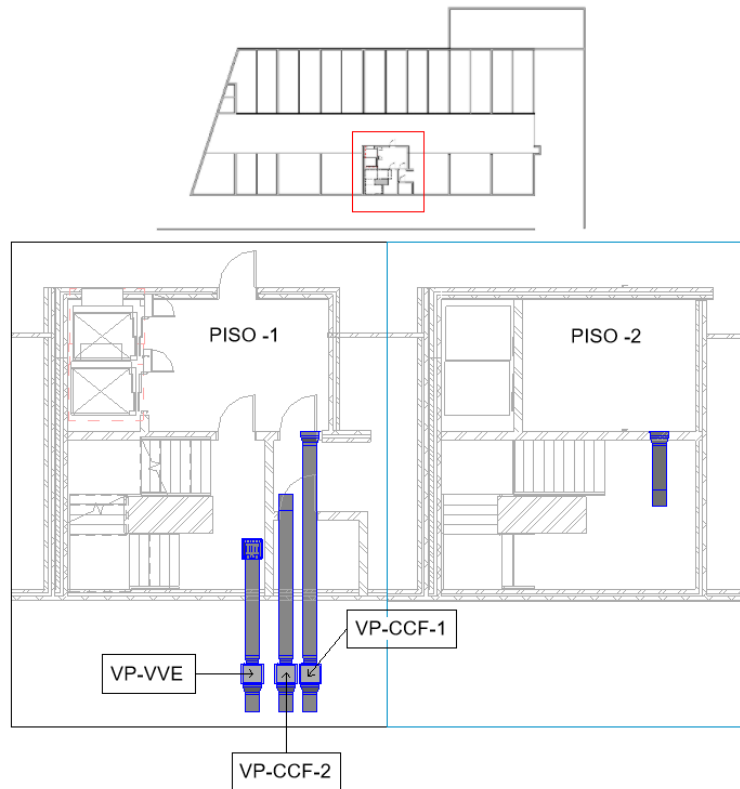


Figura 3.20: Plantas do Piso -1 e Piso -2 - Detalhe Pressurização

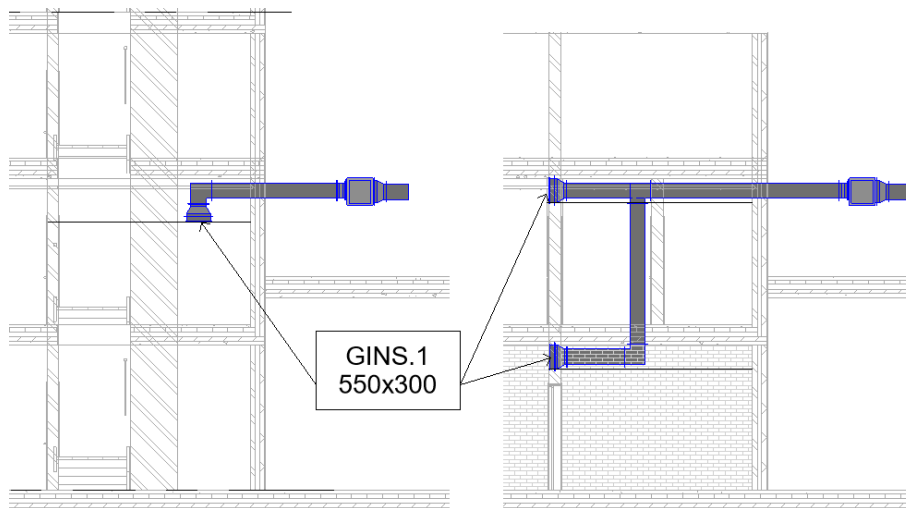


Figura 3.21: Ventiladores de Pressurização - Vista Lateral

Nestas divisões foi projetado um teto falso de modo a acomodar as condutas retangulares que atravessam o interior do edifício. Desta forma elas mantêm-se invisíveis para os ocupantes, mantendo a estética do edifício. Os únicos equipamentos observáveis são as grelhas de insuflação, com fixação ao teto no caso da VVE e fixação na parede no caso das CCFs - Figura 3.22. No que toca aos ventiladores que se encontram no exterior, eles foram incorporados sob as escadas da entrada da habitação coletiva, com o mesmo objetivo de não afetar a estética - Figura 3.23



Figura 3.22: Ventiladores de Pressurização - Pormenor de Instalação Interior

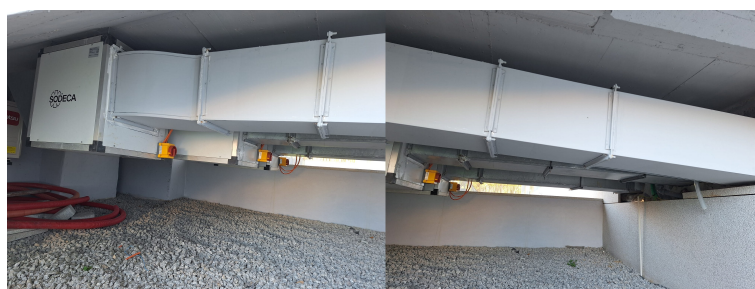


Figura 3.23: Ventiladores de Pressurização - Pormenor de Instalação Exterior

A posição dos ventiladores de impulso no parque de estacionamento já foi abordada no capítulo anterior, faltando apenas a sua instalação. Este tipo de ventiladores nunca necessita de condutas, sendo a sua instalação executada diretamente no teto dos pisos em questão - Figura [3.24](#).



Figura 3.24: Ventilador de Impulso - Pormenor de Instalação

Avançando agora para os kits de pressurização BOXPRES KIT, eles foram instalados na zona técnica do edifício destinada ao controlo de fumo - Figura [3.25](#)



Figura 3.25: Kits de Pressurização - Pormenor de Instalação

Naturalmente cada um dos 3 equipamentos está ligado diretamente ao seu respetivo ventilador e após sinal da CDI entra em funcionamento regulando a sua tensão de forma a assegurar uma sobrepressão de 50Pa. A sua sonda está a medir pressão em 2 pontos: interior do espaço a que se destina e interior do espaço adjacente que se pretende que esteja em sobressão.

Como referido no *subcapítulo 2.7.2 - Pressurização* é necessária a instalação de um **exutor de fumo** no topo da via vertical - Figura 3.26. O exutor selecionado foi do modelo EXP. Este equipamento permanece normalmente fechado e é dotado de um dispositivo de comando manual de abertura, de forma a ser utilizado como forma de ventilação tática pelos bombeiros responsáveis pelo combate ao incêndio. A sua área útil é de no mínimo 1 m², pelo que as dimensões selecionadas foram de **1200×1200mm** de acordo com o seu catálogo - ANEXO A.

Os desenhos técnicos elaborados no âmbito do Caso de Estudo encontram-se no ANEXO F.

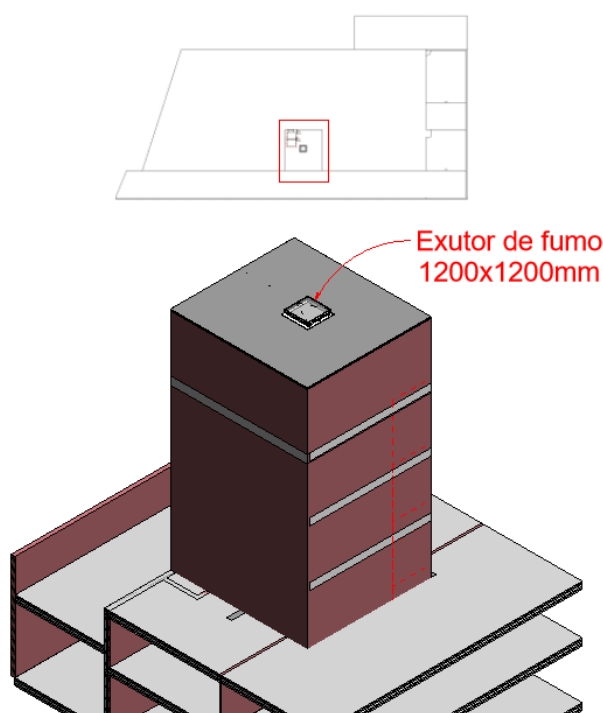


Figura 3.26: Vista 3D - Pormenor Exutor de Fumo

4 Ensaios experimentais em obra

Passado a fase do dimensionamento e seleção dos equipamentos, ocorreu a instalação dos mesmos em obra. Após essa instalação foram realizados testes no local. São assim apresentados os resultados obtidos após a instalação e ensaio do sistema mecânico de controlo de fumos projetado no edifício em estudo, bem como a sua análise crítica. Inicialmente são descritos os procedimentos de teste realizados no local, que incluíram medições de velocidade do ar em pontos estratégicos e a realização de ensaios recorrendo a uma máquina de fumo. Posteriormente, são expostos os valores registados e comparados com os parâmetros projetados, de modo a avaliar a conformidade do sistema com as exigências regulamentares.

As medições realizadas foram as seguintes:

- Velocidade na porta da VVE com uma porta aberta no Piso -1
- Velocidade da porta da CCF-1 com duas portas abertas no Piso -1
- Velocidade do ventilador de extração do Piso -1 (VED-1)

Para realizar estas medições foi utilizado o seguinte equipamento: **Termo-anemomanómetro MP210 da *Kimo Instruments*** - Figura [4.1](#).



Figura 4.1: MP210 da *Kimo Instruments*

O MP 210 é um equipamento multifuncional que atua como termo-anemómetro e manómetro digital. Este dispositivo portátil permite a medição simultânea de até três parâmetros e suporta até seis canais de medição. As funcionalidades principais incluem medições de pressão diferencial, velocidade e caudal de ar, temperatura, deteção de fugas de gás (CH_4), CO e medições com sonda de fio quente e hélice.

Além da medição destas velocidades, foi realizado um teste com uma **máquina de fumo**. A máquina de fumo operada foi a **LSM900W da Ibiza Light** - Figura [4.2](#).



Figura 4.2: LSM900W da *Ibiza Light*

Para realizar a avaliação dos desvios entre o valor ideal da velocidade e o valor obtido na medição, recorreu-se às seguintes equações - Equação [4.1](#) e Equação [4.2](#).

$$\text{Desvio Absoluto} = |\text{Valor Obtido} - \text{Valor Ideal}| \quad (4.1)$$

$$\text{Desvio Percentual} = \left(\frac{|\text{Valor Obtido} - \text{Valor Ideal}|}{\text{Valor Ideal}} \right) \times 100 \quad (4.2)$$

4.1 Resultados obtidos e Análise

Abordando em primeiro lugar as medições nas portas, elas foram realizadas em vários pontos para atenuar possíveis erros de medição e verificar diferenças no escoamento do ar na passagem na porta, derivadas da sua geometria. Foram assim selecionados 5 pontos - Figura [4.3](#).

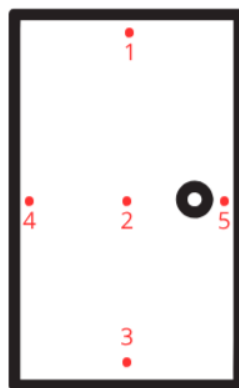


Figura 4.3: Pontos de medição na porta

Os resultados obtidos para a porta da **VVE na situação de uma porta aberta** estão expostos na Tabela [4.1](#).

Os resultados obtidos para a porta da **CCF-1 na situação de duas portas abertas** estão expostos na Tabela [4.2](#).

Ponto	Velocidade (m/s)
1	0,25
2	0,80
3	0,25
4	0,50
5	0,50
Velocidade média	0.46

Tabela 4.1: Medições da velocidade com uma porta aberta

Ponto	Velocidade (m/s)
1	0,80
2	1,10
3	0,80
4	1,00
5	1,00
Velocidade média	0.94

Tabela 4.2: Medições da velocidade com duas portas abertas

Para a situação de uma porta aberta o valor ideal que foi projetado é de **0,5 m/s**. Observando a velocidade média dos 5 pontos pode-se concluir que existe um desvio absoluto de **0,04 m/s** (Equação 4.3) e um desvio percentual de **8%** (Equação 4.4).

$$\text{Desvio Absoluto} = |0,46 - 0,50| = 0,04 \text{ m/s} \quad (4.3)$$

$$\text{Desvio Percentual} = \left(\frac{|0,46 - 0,50|}{0,50} \right) \times 100 = 8\% \quad (4.4)$$

Estes resultados demonstram que o valor medido está próximo do valor ideal, indicando que este espaço se encontra de acordo com o regulamento em vigor. O caudal de 3600 m³/h atravessa efetivamente a porta em questão e impede o fumo de entrar na VVE.

Para a situação de duas portas abertas o valor ideal que foi projetado é de **1 m/s**. Observando a velocidade média dos 5 pontos pode-se concluir que existe um desvio absoluto de **0,06 m/s** (Equação 4.5) e um desvio percentual de **6%** (Equação 4.6).

$$\text{Desvio Absoluto} = |0,94 - 1| = 0,06 \text{ m/s} \quad (4.5)$$

$$\text{Desvio Percentual} = \left(\frac{|0,94 - 1|}{1} \right) \times 100 = 6\% \quad (4.6)$$

Neste caso o desvio absoluto é superior em comparação com o primeiro caso, no entanto o desvio percentual é menor devido à diferença entre os dois valores ideais. Esta percentagem mantém-se abaixo dos 10%, demonstrando que o caudal foi bem dimensionado e os ventiladores bem instalados. O caudal de 7200 m³/h que atravessa a porta permite manter a sua velocidade muito próxima da regulamentada e assim proteger os ocupantes do parque quando as duas portas estiverem abertas.

Seguindo agora para as medições relativas ao ventilador de extração do Piso -1 (**VED-1**), foram da mesma forma adotados diferentes pontos de medição. Foram

escolhidos 8 pontos, de modo a abranger uma área próxima da total do ventilador - Figura 4.4.

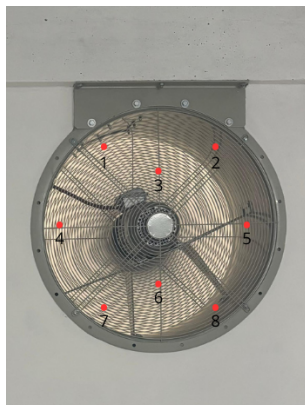


Figura 4.4: Pontos de medição no VED-1

O ensaio foi realizado com o ventilador a trabalhar no seu caudal máximo - 24000 m³/h. Os resultados obtidos estão expostos na Tabela 4.3.

Ponto	Velocidade (m/s)
1	8,50
2	7,50
3	9,20
4	9,70
5	9,00
6	10,20
7	8,80
8	10,20
Velocidade média	9,14

Tabela 4.3: Medições da velocidade no VED-1

De forma a comparar estes valores de velocidade com os valores projetados, é necessário primeiro calcular a velocidade no ventilador recorrendo ao seu caudal projetado e à área da sua secção:

$$v_{VED-1} = \frac{Q_{VED-1}}{A_{VED-1}} \quad (4.7)$$

Onde:

- $Q_{VED-1} = 24000 \text{ m}^3/\text{h}$
- $A_{VED-1} = 0,636 \text{ m}^2$

Esta área pode ser consultada na ficha técnica - ANEXO B. Resolvendo a equação obtém-se o resultado de: $v_{VED-1} = 10,48 \text{ m/s}$. O próximo passo é a análise dos desvios:

$$\text{Desvio Absoluto} = |9,14 - 10,48| = 1,34 \text{ m/s}; \quad (4.8)$$

$$\text{Desvio Percentual} = \left(\frac{|9,14 - 10,48|}{10,48} \right) \times 100 \approx 12,8\%. \quad (4.9)$$

Avaliando os resultados obtidos, verifica-se um desvio demasiado acentuado. Realizando o cálculo inverso obtém-se um caudal real de extração de 20 934 m³/h, um valor distante do dimensionado e que não cumpre o regulamento em vigor pondo em causa a eficiência do sistema no que toca à remoção do fumo de incêndio. As causas para esta discrepância poderão estar relacionadas com uma instalação deficiente do equipamento, que poderá causar algum tipo de obstrução no escoamento do ar ou uma anomalia elétrica que poderá não permitir ao ventilador atingir a potência necessária para extrair o caudal pretendido. A etapa seguinte foi o **teste com a máquina de fumo** - Figura 4.5. O teste foi realizado no piso -1 do edifício e com todos os ventiladores do projeto em funcionamento. O objetivo foi verificar a eficácia real do sistema para extrair fumo deste espaço e qual a influência do aumento da área da entrada natural de ar (portão) nessa mesma eficácia. Para isso o teste ocorreu em duas situações: com o **portão fechado** e com o **portão aberto**.



Figura 4.5: Teste com máquina de fumo no Piso -1

Este teste procurou simular a situação de incêndio no parque, embora sendo verificadas diferenças entre o fumo da máquina e o fumo de um incêndio real. A principal diferença foi a temperatura do fumo, já que é naturalmente impossível realizar um teste com as temperaturas elevadas de um incêndio, pois colocaria em risco a segurança do edifício e os seus ocupantes. Esta diferença de temperatura influencia também o comportamento do fumo. A estratificação verificada num incêndio real não se verifica neste caso, já que o seu principal causador (a elevada temperatura) não está presente. No teste o fumo teve um comportamento mais inconstante, tendo sido projetado desde o nível do chão e assumindo uma distribuição irregular ao longo do plano do parque.

Apesar desta nuance, foi possível verificar o varrimento do espaço enquanto o sistema projetado funcionava. Em ambas as situações verificou-se uma extração total do fumo e nenhuma quantidade de fumo entrou na CCF adjacente ao espaço, demonstrando assim uma eficaz pressurização do espaço. A diferenciação entre as duas situações foi no tempo necessário para esta extração acontecer. Na situação em

que o portão se encontrou aberto, o intervalo de tempo verificado entre a presença inicial de fumo e a sua extração total foi menor. Este resultado demonstra que a decisão de conectar a abertura do portão à CDI era completamente necessária e foi acertada, embora interfira com a segurança do parque. Recorrer apenas às grelhas exteriores instaladas no portão do Piso -1 leva a um varrimento ineficiente e demasiado demorado. Esta conclusão realça também a validade dos valores de área mínima de abertura presentes no regulamento, demonstrando que valores inferiores a esses não asseguram um tempo de evacuação suficiente para salvaguardar os ocupantes do edifício.

5 Conclusão

O desenvolvimento desta tese teve como objetivo principal o estudo e o dimensionamento de sistemas mecânicos de controlo de fumos em edifícios, com foco na proteção de vidas humanas, na minimização de riscos associados a incêndios e no cumprimento rigoroso das exigências normativas em vigor. Ao longo do trabalho foi realizada uma revisão bibliográfica abrangente, que permitiu contextualizar os fundamentos teóricos da combustão, a propagação dos fumos e os seus efeitos nocivos, bem como explorar as diferentes metodologias de controlo disponíveis, desde o varrimento natural e forçado até às estratégias de pressurização e à aplicação de sistemas inteligentes. Esta análise teórica evidenciou a complexidade destes sistemas, que resultam da necessidade de articular princípios da mecânica de fluidos, requisitos regulamentares, critérios de segurança e soluções técnicas viáveis tendo em conta a arquitetura do edifício.

A aplicação prática num caso de estudo, relativo a um edifício de habitação coletiva, possibilitou a consolidação dos conhecimentos adquiridos, traduzindo-os em soluções concretas de projeto. O processo envolveu a análise das características do edifício, a determinação dos caudais necessários para a desenfumagem e pressurização, a estimativa de perdas de carga e a seleção criteriosa dos ventiladores e respetivos acessórios. Adicionalmente, recorreu-se a um software de modelação digital, que permitiu não apenas a representação tridimensional das soluções propostas, mas também a sua articulação com os restantes sistemas técnicos do edifício. A fase de instalação, acompanhada de perto, confirmou a importância da compatibilização entre projeto e obra, destacando a relevância da comunicação entre projetistas, instaladores e fabricantes.

Os ensaios experimentais realizados em obra constituíram uma etapa essencial para a validação da solução implementada. As medições de velocidades do ar em pontos estratégicos e os testes utilizando a máquina de fumo permitiram aferir a eficácia dos sistemas de extração, de ventilação por impulso e de pressurização. De um modo geral, verificaram-se resultados satisfatórios, com desvios médios reduzidos em relação aos valores projetados, situando-se entre 6% e 12,8%. Estes resultados confirmam a conformidade com as exigências regulamentares e asseguram a eficiência do sistema na evacuação de fumos e na proteção das vias de evacuação, mesmo em cenários de maior complexidade como os verificados nos parques de estacionamento com *boxes*. Ainda que tenham sido identificadas algumas limitações, nomeadamente associadas a condicionantes físicas do edifício e a discrepâncias pontuais no desempenho de determinados ventiladores, estas não comprometeram o funcionamento global do sistema nem os objetivos definidos.

O trabalho desenvolvido permitiu, assim, validar a importância da integração entre fundamentação teórica, dimensionamento técnico rigoroso e validação experimental em contexto real. A combinação destes três pilares revela-se indispensável para garantir a fiabilidade dos sistemas de controlo de fumos e para sustentar a confiança

Conclusão

dos projetistas e utilizadores na sua eficácia. Para além do cumprimento dos requisitos regulamentares, o estudo demonstrou também o contributo destas soluções para a sustentabilidade e resiliência dos edifícios, uma vez que sistemas bem dimensionados não apenas aumentam a segurança dos ocupantes, como reduzem potenciais danos materiais e facilitam a intervenção das equipas de socorro.

Em termos prospetivos, considera-se relevante que futuros trabalhos incidam sobre a introdução de sistemas inteligentes de controlo de fumos, capazes de ajustar em tempo real os parâmetros de funcionamento em função das condições do incêndio e da ocupação do edifício. A utilização de sensores avançados, algoritmos de otimização e integração com plataformas de gestão técnica poderá representar uma evolução significativa na área. Da mesma forma, a investigação sobre materiais mais eficientes e a aposta em soluções que reduzam o consumo energético sem comprometer a segurança constituem áreas de interesse.

Referências

- [1] Sodeca, [Acessado: 14-09-2025]. [Online]. Available: <https://www.sodeca.pt/compania>
- [2] Combustão de uma vela. Acessado em: 28 de fevereiro de 2025. [Online]. Available: <https://www.explainthatstuff.com/candles.html>
- [3] Triângulo do fogo. [Acessado: 18-04-2025]. [Online]. Available: <https://blog.mocelin.ind.br/triangulo-de-fogo-saiba-o-que-e-e-qual-a-diferenca-entre-fogo-e-incendio/>
- [4] Tetraedro do fogo. [Acessado: 22-04-2025]. [Online]. Available: <https://www.getwet.com.br/tetraedro-do-fogo/>
- [5] X. Wu, Y. Zhang, J. Jia, X. Chen, W. Yao, and S. Lu, “Experimental and theoretical analysis of the smoke layer height in the engine room under the forced air condition,” *Fire*, vol. 6, no. 1, p. 16, 2023. [Online]. Available: <https://www.mdpi.com/2571-6255/6/1/16>
- [6] Bravent, [Acessado: 05-06-2025]. [Online]. Available: <https://bravent.com.br/sistemasnaturais/ventilacao-natural-efeito-chamine.php>
- [7] Sodeca, “Sistemas de controlo de pressurização,” [Acessado: 29-03-2025]. [Online]. Available: https://www.sodeca.pt/repositoryComponents/documentos/05_08_PressurizacaoViasProtegidas.pdf
- [8] Comité Europeu de Normalização (CEN), *EN 12101-13:2022 - Smoke and heat control systems - Part 13: Pressure differential systems (PDS) - Design and calculation methods, installation, acceptance testing, routine testing and maintenance*, Std., 2022. [Online]. Available: <https://standards.cen.eu>
- [9] *EN 13501-1:2019 – Fire classification of construction products and building elements – Part 1: Classification using data from reaction to fire tests*, European Committee for Standardization (CEN) Std., 2019.
- [10] World Health Organization, *WHO Global Air Quality Guidelines: Particulate Matter (PM_{2.5} and PM₁₀), Ozone, Nitrogen Dioxide, Sulfur Dioxide and Carbon Monoxide. Executive Summary*. Geneva: World Health Organization, 2021. [Online]. Available: <https://www.who.int/publications/i/item/9789240034433>
- [11] M. da Administração Interna, “Portaria n.º 135/2020, de 2 de junho,” *Diário da República n.º 107/2020, Série I de 2020-06-02, páginas 2 - 214*, 2020. [Online]. Available: <https://diariodarepublica.pt/dr/detalhe/portaria/135-2020-134991810>

Referências

- [12] C. F. de Castro e José Barreira Abrantes, *Manual de segurança contra incêndios em edifícios*, 2nd ed., ser. Cadernos temáticos. Sintra: Escola Nacional de Bombeiros, 2004.
- [13] M. Bishop, *An Introduction to Chemistry*, 2nd ed. Benjamin Cummings, 2001. [Online]. Available: <https://tech.chemistrydocs.com/Books/General%20Chemistry/An-Introduction-to-Chemistry-by-Mark-Bishop.pdf>
- [14] P. V. Association, *Basic Fire Fighting Manual: Firefighting and Personal Safety*, Passenger Vessel Association, 2005. [Online]. Available: <https://www.atlanticarea.uscg.mil/Portals/7/CG%20022%20PVA%20Manuals%20Firefigthing%20and%20Personal%20Safety.pdf>
- [15] X. Liu and Q. Zhang, “Influence of initial pressure and temperature on flammability limits of hydrogen–air,” *International Journal of Hydrogen Energy*, vol. 39, no. 12, pp. 6774–6782, 2014. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360319914003279>
- [16] *NP 1800:2011 - Segurança contra incêndios; extintores de incêndios; classes de fogos; agentes extintores*, Instituto Português da Qualidade (IPQ) Std., 2011, norma Portuguesa.
- [17] R. J. V. da Silva, “Dimensionamento de redes de sprinklers,” Dissertação de Mestrado Integrado em Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2012.
- [18] D. Drysdale, *An Introduction to Fire Dynamics*, 3rd ed. Wiley, 2011.
- [19] T. L. Palmieri, “Long term outcomes after inhalation injury,” in *Journal of Burn Care and Research*, vol. 30. Lippincott Williams and Wilkins, 2009, pp. 201–203.
- [20] J. A. Chiarello and P. Alegre, “Ventilação natural por efeito chaminé-estudo em modelo reduzido de pavilhões industriais,” 2006.
- [21] SFPE, *Handbook of Fire Protection Engineering*. Springer, 2022.
- [22] M. Nilsson and P. V. Hees, “Advantages and challenges with using hypoxic air venting as fire protection,” *Fire and Materials*, vol. 38, pp. 559–575, 2014.
- [23] P. Pequito, “05 informação técnica,” [Acessado: 20-05-2025]. [Online]. Available: https://www.p2i.pt/wp-content/uploads/2020/01/PROTEGER5_Ar-Hip%C3%B3xico.pdf
- [24] M. da Administração Interna, “Decreto-lei n.º 220/2008, de 12 de novembro,” Diário da República n.º 220/2008, Série I de 2008-11-12, páginas 7903 - 7922, 2008. [Online]. Available: <https://diariodarepublica.pt/dr/detalhe/decreto-lei/220-2008-439866>
- [25] —, “Decreto-lei n.º 224/2015, de 9 de outubro,” Diário da República n.º 198/2015, Série I de 2015-10-09, páginas 8740 - 8774, 2015. [Online]. Available: <https://diariodarepublica.pt/dr/detalhe/decreto-lei/224-2015-70497202>

- [26] —, “Decreto-lei n.º 95/2019, de 18 de julho,” Diário da República n.º 136/2019, Série I de 2019-07-18, páginas 35 - 45, 2019. [Online]. Available: <https://diariodarepublica.pt/dr/detalhe/decreto-lei/95-2019-123279819>
- [27] —, “Portaria n.º 1532/2008, de 29 de dezembro,” Diário da República n.º 250/2008, Série I de 2008-12-29, páginas 9050 - 9127, 2008. [Online]. Available: <https://diariodarepublica.pt/dr/detalhe/portaria/1532-2008-444380>
- [28] Instituto Português da Qualidade, *NP 4540:2015 – Sistemas de ventilação de impulso em parques de estacionamento cobertos não compartimentados*. Instituto Português da Qualidade (IPQ), 2015.
- [29] M. A. P. Fernandes, “Desenfumagem (controlo de fumo) em edifícios de grande extensão,” Relatório de Projeto de Mestrado em Engenharia Civil – Especialização em Construções Civas, Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, 2008.
- [30] Comité Europeu de Normalização (CEN), *EN 12101-3: Smoke and heat control systems – Part 3: Specification for powered smoke and heat control ventilators*, Std., 2015. [Online]. Available: <https://standards.cen.eu>
- [31] —, *EN 12101-6:2005 - Smoke and heat control systems – Part 6: Specification for pressure differential systems – Kits*, Std., 2005. [Online]. Available: <https://standards.cen.eu>
- [32] ASHRAE, “Duct design,” in *2009 ASHRAE Handbook—Fundamentals (SI Edition)*. Atlanta, GA: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc., 2009, ch. 21.
- [33] C. S. Santos and F. A. Castro, *Sebenta de Mecânica dos Fluidos*, Instituto Superior de Engenharia do Porto, sebenta da unidade curricular de Mecânica dos Fluidos - Edição de junho 2022.
- [34] N. 92, *Standard for Smoke Control Systems*. NFPA, 2021.
- [35] Contimetra, “Manuais de instalação e operação dos registos corta fogo.” [Online]. Available: www.contimetra.com
- [36] Y. Y. Chu and D. Liang, “Study on an intelligent smoke control system in a modern building,” in *Proceedings - 7th International Conference on Intelligent Computation Technology and Automation, ICICTA 2014*. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 1 2015, pp. 674–679.
- [37] J. C. G. Viegas, “Utilização de ventilação de impulso em parques de estacionamento cobertos,” Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), Lisboa, Tech. Rep., 2008.
- [38] ASHRAE, *2019 ASHRAE Handbook - HVAC Applications*. Atlanta, GA: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2019, ch. Chapter 16: Enclosed Vehicular Facilities.
- [39] S. Portugal, “Apontamentos fornecidos pela empresa no âmbito da tese,” 2025, documento interno não publicado.

Referências

- [40] N. Z. Al-Mutairi, T. Almutairi, and H. B. Matar, “Concentration of carbon monoxide in an enclosed parking garage,” *American Journal of Engineering and Applied Sciences*, vol. 13, no. 3, pp. 402–408, 2020. [Online]. Available: <https://thescipub.com/abstract/ajeassp.2020.402.408>
- [41] K. Teleszewski, Tomasz Janusz e Gładyszewska-Fiedoruk, “Carbon monoxide concentration in the garage of a single-family house—experiment and one-dimensional model of carbon monoxide concentration,” *Applied Sciences*, vol. 15, no. 3, p. 1146, 2025. [Online]. Available: <https://www.mdpi.com/2076-3417/15/3/1146>

Declaração de Integridade

Declaro ter conduzido este trabalho académico com integridade. Não plagiei ou apliquei qualquer forma de uso indevido de informações ou falsificação de resultados ao longo do processo que levou à sua elaboração. Declaro que o trabalho apresentado neste documento é original e de minha autoria, não tendo sido utilizado anteriormente para nenhum outro fim.

Declaro ainda que tenho pleno conhecimento do Código de Conduta Ética do P.PORTO,

NOME: André Nuno Freitas de Castro Chaves

ISEP, Porto, 14 de setembro de 2025

Declaração de Integridade

Anexo A - Tabela de seleção do Exutor EXP

Tipo de exutor	A x B [m x m]	A _{GE} [m ²]	A _{UE} [m ²]
EXP 100	1,0 x 1,0	1,00	0,740
EXP 120	1,2 x 1,2	1,44	1,066
EXP 140	1,4 x 1,4	1,96	1,431
EXP 150	1,5 x 1,5	2,25	1,643
EXP 160	1,6 x 1,6	2,56	1,869
EXP 180	1,8 x 1,8	3,24	2,365
EXP 200	2,0 x 2,0	4,00	2,920
EXP 100/140	1,0 x 1,4	1,40	1,022
EXP 100/150	1,0 x 1,5	1,50	1,095
EXP 100/200	1,0 x 2,0	2,00	1,440
EXP 100/220	1,0 x 2,2	2,20	1,584
EXP 120/150	1,2 x 1,5	1,80	1,296
EXP 120/170	1,2 x 1,7	2,04	1,448
EXP 120/180	1,2 x 1,8	2,16	1,534
EXP 140/200	1,4 x 2,0	2,80	2,044
EXP 150/180	1,5 x 1,8	2,70	1,970
EXP 160/180	1,6 x 1,8	2,88	2,102

Anexo B - Ficha Técnica THT-CL

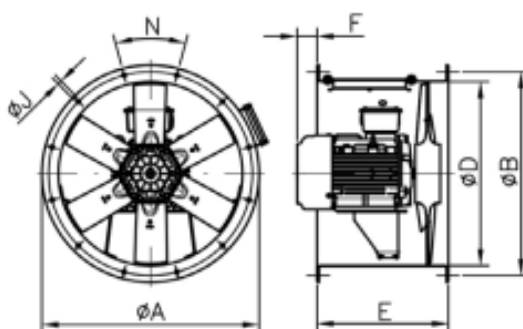


Características técnicas

Modelo	Velocidade (r/min)	Intensidade máx. admissível (A)			Potência instalada (kW)	Ângulo de inclinação pás (°)	Caudal máximo (m³/h)	Nível pressão sonora¹ dB (A) Aspiração	Peso aprox. (Kg)
		230V	400V	690V					
THT/CL-71-6T-1.5 IE3	945	4,73	2,72		1,10	34	19930	61	69
THT/CL-71-6/12T-1.5	940 / 460		3,52 / 2,00		1,20 / 0,30	34	19930 / 9760	61 / 46	77
THT/CL-80-4T-3 IE3	1435	7,86	4,52		2,20	12	25450	75	79
THT/CL-80-4/8T-3	1415 / 670		4,80 / 1,85		2,20 / 0,45	12	25450 / 12550	75 / 60	91
THT/CL-80-4T-4 IE3	1430	11,01	6,33		3,00	16	30250	74	88
THT/CL-80-4/8T-4	1420 / 710		6,45 / 2,28		3,00 / 0,60	16	30250 / 15060	74 / 59	101
THT/CL-80-4T-5.5 IE3	1440		7,95	4,61	4,00	18	32750	73	94
THT/CL-80-4/8T-5.5	1450 / 715		7,88 / 2,87		3,80 / 1,00	18	32750 / 16150	73 / 58	127
THT/CL-80-6T-1.5 IE3	945	4,73	2,72		1,10	18	21450	63	78
THT/CL-80-6/12T-1.5	940 / 460		3,52 / 2,00		1,20 / 0,30	18	21450 / 10500	63 / 48	86
THT/CL-80-6T-2 IE3	945	6,25	3,62		1,50	26	25950	64	87
THT/CL-80-6/12T-2	960 / 470		4,46 / 3,43		1,60 / 0,40	26	25950 / 12700	64 / 49	91
THT/CL-80-6T-3 IE3	950	9,78	5,62		2,20	32	29930	65	94
THT/CL-80-6/12T-3	940 / 475		5,62 / 3,32		2,20 / 0,55	32	29930 / 15120	65 / 51	100
THT/CL-80-8T-0.75	700	3,48	2,00		0,55	20	17540	57	71
THT/CL-80-8T-1	710	5,06	2,92		0,75	28	20650	58	78
THT/CL-90-4T-4 IE3	1430	11,01	6,33		3,00	8	33580	79	110
THT/CL-90-4/8T-4	1420 / 710		6,45 / 2,28		3,00 / 0,60	8	33580 / 16720	79 / 64	124
THT/CL-90-4T-5.5 IE3	1440		7,95	4,61	4,00	12	38890	78	117
THT/CL-90-4/8T-5.5	1450 / 715		7,88 / 2,87		3,80 / 1,00	12	38890 / 19170	78 / 63	150
THT/CL-90-4T-7.5 IE3	1430		10,40	6,04	5,50	18	46140	77	143
THT/CL-90-4/8T-7.5	1455 / 725		11,40 / 3,86		5,50 / 1,10	18	46140 / 22910	77 / 62	157
THT/CL-90-4T-10 IE3	1460		14,20	8,17	7,50	22	50140	76	154
THT/CL-90-4/8T-10	1455 / 725		15,10 / 5,16		7,50 / 1,50	22	50140 / 24900	76 / 61	157
THT/CL-90-6T-2 IE3	945	6,25	3,62		1,50	16	28780	66	110
THT/CL-90-6/12T-2	960 / 470		4,46 / 3,43		1,60 / 0,40	16	28780 / 14090	66 / 51	114
THT/CL-90-6T-3 IE3	950	9,78	5,62		2,20	24	34000	66	116
THT/CL-90-6/12T-3	940 / 475		5,62 / 3,32		2,20 / 0,55	24	34000 / 17180	66 / 52	123
THT/CL-90-6T-4 IE3	945	12,80	6,36		3,00	30	38900	69	142
THT/CL-90-6/12T-4	970 / 485		7,37 / 3,53		2,80 / 0,70	30	38900 / 19450	69 / 54	143
THT/CL-90-8T-1	710	5,06	2,92		0,75	18	22900	60	100
THT/CL-90-8T-2	700	7,32	4,21		1,50	30	29490	63	116
THT/CL-90-8T-3	705	9,30	5,35		2,20	32	30850	64	134
THT/CL-100-4T-7.5 IE3	1430		10,40	6,04	5,50	10	46850	82	151
THT/CL-100-4/8T-7.5	1455 / 725		11,40 / 3,86		5,50 / 1,10	10	46850 / 23260	82 / 67	165
THT/CL-100-4T-10 IE3	1460		14,20	8,17	7,50	16	57400	79	162
THT/CL-100-4/8T-10	1455 / 725		15,10 / 5,16		7,50 / 1,50	14	54710 / 27170	80 / 65	165
THT/CL-100-4T-15 IE3	1455		20,70	11,99	11,00	22	66300	79	215
THT/CL-100-4/8T-15	1470 / 730		20,70 / 7,19		11,00 / 3,00	22	66300 / 32880	79 / 64	215
THT/CL-100-4T-20 IE3	1460		27,80	16,03	15,00	28	76150	80	230
THT/CL-100-4/8T-20	1470 / 725		31,72 / 11,75		15,00 / 3,80	28	76150 / 37560	80 / 65	230
THT/CL-100-4T/9-15 IE3	1460		20,70	11,99	11,00	18	55340	80	224
THT/CL-100-4T/9-20 IE3	1460		27,80	16,03	15,00	22	63260	80	239
THT/CL-100-4T/9-25 IE3	1475		35,40	20,39	18,50	26	70625	80	269
THT/CL-100-4T/9-30 IE3	1475		42,20	24,44	22,00	30	74845	82	286
THT/CL-100-6T-3 IE3	950	9,78	5,62		2,20	16	37600	70	124
THT/CL-100-6/12T-3	940 / 475		5,62 / 3,32		2,20 / 0,55	16	37600 / 18990	70 / 56	130
THT/CL-100-6T-4 IE3	945	12,80	6,36		3,00	20	41150	69	150
THT/CL-100-6/12T-4	970 / 485		7,37 / 3,53		2,80 / 0,70	20	41150 / 20580	69 / 54	151
THT/CL-100-6T-5.5 IE3	970		8,37	4,82	4,00	26	47780	70	162
THT/CL-100-6T/9-5.5 IE3	970		11,00	6,35	4,00	20	39020	70	165
THT/CL-100-6T/9-7.5 IE3	970		12,30	7,07	5,50	26	46765	71	173
THT/CL-100-6T/9-10 IE3	970		15,20	8,83	7,50	34	52255	74	213
THT/CL-125-4T/6-20 IE3	1460		27,80	16,03	15,00	10	78600	87	318
THT/CL-125-4/8T/6-20	1470 / 725		31,72 / 11,75		15,00 / 3,80	10	78600 / 38770	87 / 72	318



Dimensões mm



Tamanho motor	ØA	ØB	ØD	E	F*	ØJ	N	
THT/CL-40	80	490	450	410	400	-	12	8x45°
THT/CL-40	90S	490	450	410	400	-	12	8x45°
THT/CL-40	90L	490	450	410	400	29	12	8x45°
THT/CL-45	80	540	500	460	400	-	12	8x45°
THT/CL-45	90S	540	500	460	400	-	12	8x45°
THT/CL-45	90L	540	500	460	400	29	12	8x45°
THT/CL-45	100	540	500	460	400	35	12	8x45°
THT/CL-50	80	600	560	514	400	-	12	12x30°
THT/CL-50	90S	600	560	514	400	-	12	12x30°
THT/CL-50	90L	600	560	514	400	29	12	12x30°
THT/CL-50	100	600	560	514	400	35	12	12x30°
THT/CL-50	112	600	560	514	400	56,5	12	12x30°
THT/CL-56	80	660	620	560	400	-	12	12x30°
THT/CL-56	90S	660	620	560	400	-	12	12x30°
THT/CL-56	90L	660	620	560	400	29	12	12x30°
THT/CL-56	100	660	620	560	500	-	12	12x30°
THT/CL-56	112	660	620	560	500	60,5	12	12x30°
THT/CL-56	132S	660	620	560	500	15	12	12x30°
THT/CL-56	132M	660	620	560	500	53	12	12x30°
THT/CL-63	80	730	690	640	400	-	12	12x30°
THT/CL-63	90S	730	690	640	400	-	12	12x30°
THT/CL-63	90L	730	690	640	400	29	12	12x30°
THT/CL-63	100	730	690	640	500	-	12	12x30°
THT/CL-63	112	730	690	640	500	-	12	12x30°
THT/CL-63	132S	730	690	640	500	43	12	12x30°
THT/CL-63	132M	730	690	640	500	81	12	12x30°
THT/CL-63	160M	730	690	640	650	-	12	12x30°
THT/CL-63	160L	730	690	640	650	29	12	12x30°
THT/CL-71	80	810	770	710	430	-	12	16x22°30'
THT/CL-71	90S	810	770	710	430	-	12	16x22°30'
THT/CL-71	90L	810	770	710	430	19	12	16x22°30'
THT/CL-71	100	810	770	710	430	24	12	16x22°30'
THT/CL-71	112	810	770	710	500	-	12	16x22°30'
THT/CL-80	90L	900	860	800	430	27	12	16x22°30'
THT/CL-80	100	900	860	800	500	-	12	16x22°30'
THT/CL-80	112	900	860	800	500	-	12	16x22°30'
THT/CL-80	132S	900	860	800	600	-	12	16x22°30'

* A cota F unicamente para modelos F430.

Tamanho motor	ØA	ØB	ØD	E	F*	ØJ	N	
THT/CL-90	100	1015	970	900	600	-	15	16x22°30'
THT/CL-90	112	1015	970	900	600	-	15	16x22°30'
THT/CL-90	132S	1015	970	900	600	-	15	16x22°30'
THT/CL-90	132M	1015	970	900	600	-	15	16x22°30'
THT/CL-100	112	1115	1070	1000	600	-	15	16x22°30'
THT/CL-100	132S	1115	1070	1000	600	-	15	16x22°30'
THT/CL-100	132M	1115	1070	1000	600	-	15	16x22°30'
THT/CL-100	160M	1115	1070	1000	700	-	15	16x22°30'
THT/CL-100	160L	1115	1070	1000	700	2	15	16x22°30'
THT/CL-100	180M	1115	1070	1000	700	11	15	16x22°30'
THT/CL-100	180L	1115	1070	1000	700	49	15	16x22°30'
THT/CL-125	132M	1365	1320	1250	700	-	15	20x18°
THT/CL-125	160M	1365	1320	1250	700	-	15	20x18°
THT/CL-125	160L	1365	1320	1250	700	-	15	20x18°
THT/CL-125	180M	1365	1320	1250	900	-	15	20x18°
THT/CL-125	180L	1365	1320	1250	900	-	15	20x18°
THT/CL-125	200	1365	1320	1250	900	-	15	20x18°
THT/CL-125	225	1365	1320	1250	1000	-	15	20x18°
THT/CL-125	250	1365	1320	1250	1000	25,5	15	20x18°
THT/CL-125	280	1365	1320	1250	1200	-	15	20x18°
THT/CL-140	132S	1515	1470	1400	650	-	15	20x18°
THT/CL-140	132M	1515	1470	1400	650	-	15	20x18°
THT/CL-140	160L	1515	1470	1400	700	5	15	20x18°
THT/CL-140	180L	1515	1470	1400	900	-	15	20x18°
THT/CL-140	200	1515	1470	1400	900	-	15	20x18°
THT/CL-140	225	1515	1470	1400	1000	-	15	20x18°
THT/CL-140	250	1515	1470	1400	1000	5,5	15	20x18°
THT/CL-140	280	1515	1470	1400	1200	5,5	15	20x18°
THT/CL-160	132S	1735	1680	1600	650	-	19	24x15°
THT/CL-160	132M	1735	1680	1600	650	-	19	24x15°
THT/CL-160	160L	1735	1680	1600	700	5	19	24x15°
THT/CL-160	180L	1735	1680	1600	900	-	19	24x15°
THT/CL-160	200	1735	1680	1600	900	-	19	24x15°
THT/CL-160	225	1735	1680	1600	1000	-	19	24x15°
THT/CL-160	250	1735	1680	1600	1000	30,5	19	24x15°
THT/CL-160	280	1735	1680	1600	1200	-	19	24x15°

Anexo C - Ficha Técnica CJBD-ALS

CJBD/AL



CJBD/AL: Ventilation units with aluminum profiles and pre-lacquered sheet, acoustically insulated

CJBD/ALS: Ventilation units with double insulating wall, pre-lacquered sheet metal and aluminum profiles

CJBD/ALF: Ventilation units with pre-lacquered sheet metal, built-in filter and aluminum profiles



CJBD/AL
CJBD/ALS



CJBD/ALF

- Fan:**
- CBD series double inlet fans.
 - Aluminium profile structure with thermal insulation and soundproofing.
 - Forward curved impeller in galvanised sheet steel.
 - Glands for cable entry.

- Motor:**
- Enclosed motors with built-in thermal protector, class F, with ball bearings, IP54 protection.

- Single-phase 220-240 V 50 Hz and three-phase 220-240/380-415 V 50 Hz.
- Working temperature: -25 °C +60 °C.

- Finish:**
- Anti-corrosive in pre-lacquered steel sheet and aluminum profiles.

- On request:**
- With circular outlet.

Order code

CJBD/AL – 2525 – 6M – 1/3

CJBD/AL	–	2525	–	6M	–	1/3
CJBD/AL: Ventilation units with aluminum profiles and pre-lacquered sheet, acoustically insulated		Impeller size mm		Number of motor poles		Motor power (HP)
CJBD/ALS: Ventilation units with double insulating wall, pre-lacquered sheet metal and aluminum profiles		mm	inch	4=1400 r/min 50 Hz 6=900 r/min 50 Hz	M = Single-phase T = Three-phase	
CJBD/ALF: Ventilation units with pre-lacquered sheet metal, built-in filter and aluminum profiles		1919	7/7			
		2525	9/9			
		2828	10/10			
		3333	12/12			
		3939	15/15			

Technical characteristics

Model	Speed (r/min)	Maximum admissible current (A)		Installed power (kW)	Maximum flow rate (m ³ /h)	Sound pressure level ¹ dB (A)		Approx. weight (Kg)	
		230V	400V			Inlet		CJBD	CJBD/AL
1919-4M 1/5	1230	1.40		0.15	1605	52		20	22
1919-6M 1/10	820	0.85		0.08	1465	47		20	22
2525-4M 1/2	1320	3.30		0.37	2950	60		28	32
2525-4M 3/4	1310	4.50		0.55	3950	64		29	32
2525-6M 1/5	850	1.50		0.15	2615	53		27	30
2525-6M 1/3	830	2.20		0.25	2945	55		28	32
2828-4M 1/2	1320	3.30		0.37	2490	59		33	38
2828-4M 3/4	1310	4.50		0.55	3545	64		34	38
2828-6M 1/3	830	2.20		0.25	3500	55		33	37
3333-6T 1 1/2	850	6.60	3.80	1.10	6600	68		48	54
3333-6M 3/4	850	4.30		0.55	4580	57		47	52
3333-6M 1	850	6.00		0.75	6000	64		48	54
3939-6T 3	890	10.90	6.30	2.20	10400	71		72	80

1. The noise level values are pressures in dB(A) measured at a distance of 3 metres in a free field.

Anexo D - Ficha Técnica CI

CI

Ventiladores de impulso centrífugos de indução com baixo perfil, e de grande alcance 300 °C/2h e 400 °C/2h, para funcionar na zona de risco do incêndio



Ventilador:

- Envolvente em chapa de aço.
- Turbina com pás recuadas em chapa de aço de grande robustez.
- Interruptor de segurança, série IAT incluído no ventilador.
- Pés fixação incluídos.

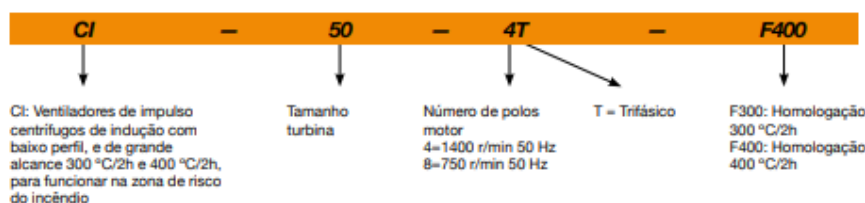
Acabamento:

- Resistente à corrosão em resina de poliéster polimerizada a 190 °C, desengorduramento prévio com tratamento nanotecnológico sem fosfatos.

Motor:

- Motores classe H para uso contínuo S1 e uso de emergência S2. Com rolamentos de esferas, proteção IP55 e 1 ou 2 velocidades conforme o modelo.
- Trifásico 230/400 V 50 Hz.
- Temperatura máxima do ar a transportar: Serviço S1 -25 °C a +40 °C contínuo. Apto também para climas quentes com temperaturas até 50 °C. Serviço S2 300 °C/2h, 400 °C/2h.

Código de pedido



Características técnicas

Modelo	Velocidade (r/min)	Intensidade máx. admissível (A)		Caudal máximo (m³/h)	Impulso (N)	Velocidade impulso (m/s)	Potência instalada (kW)	Nível pressão sonora¹ (dB (A))	Peso aprox. (Kg)
		230V	400V						
CI-50-4T	1395	5,00	2,90	6050	50	23,5	1,20	64	83
CI-50-4/8T	1395 / 650		2,90 / 1,20	6050 / 2820	50 / 23	23,5 / 10,9	1,20 / 0,30	64 / 47	83
CI-75-4/8T	1450 / 730		5,20 / 2,05	8080 / 4070	75 / 38	26,3 / 13,2	2,20 / 0,37	65 / 50	139
CI-100-4T	1445	9,90	5,70	9340	100	30,0	2,40	67	141
CI-100-4/8T	1445 / 715		5,70 / 2,20	9340 / 4625	100 / 49	30,0 / 14,8	2,40 / 0,55	67 / 51	141

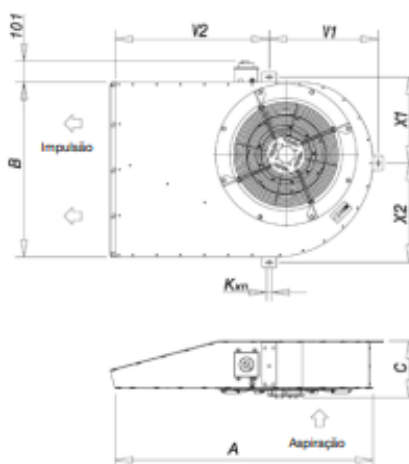
¹ Nível de pressão sonora em dB(A) a 10 m de distância a caudal máximo.

Características acústicas

Espectro de potência sonora Lw(A) em dB(A) por banda de frequência em Hz

	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
CI-50-4T	63	75	82	86	88	85	81	75	CI-75-4BT (2V)	52	67	69	73	74	68	64	62
CI-50-4BT	63	75	82	86	88	85	81	75	CI-100-4T	68	85	87	89	90	85	80	73
CI-50-4BT (2V)	45	58	65	69	71	68	64	58	CI-100-4BT	68	85	87	89	90	85	80	73
CI-75-4BT	65	82	84	88	89	83	79	75	CI-100-4BT (2V)	52	69	71	73	74	69	64	57

Dimensões mm



	A	B	C	V2	V1	X1	X2	Km
CI-50-F300	1240	840	272,5	741,5	524,5	413	477	12x26
CI-50-F400	1240	840	261,5	741,5	524,5	413	477	12x26
CI-75-F300	1778	1040	311	1143	662	494	596	12x26
CI-75-F400	1778	1040	299	1143	662	494	596	12x26
CI-100-F-300	1778	1040	323	1143	662	494	596	12x26
CI-100-F-400	1778	1040	323	1143	662	494	596	12x26

Acessórios



Anexo E - Ficha técnica BOXPRESS KIT



KIT SOBREPRESIÓN



Sistema de pressurização de escadas ou vias de evacuação. Mantém uma pressão diferencial de 50 Pa em uma única etapa, concebido de acordo com a norma europeia EN 12101-6

KIT DE SOBREPRESSÃO DE ESCADAS Para equipamentos trifásicos



KIT SOBREPRESSÃO DE ESCADAS

• Kit sobrepresão de escadas, formado por um quadro de controlo (BOXPRES KIT) e unidades de impulsão (CJHCH ou CJBD), para a pressurização das escadas e vias de evacuação. Também disponível para equipamentos monofásicos.

KIT SOBREPRESIÓN COM VENTILADOR DE RESERVA

• Kit de sobrepresão com ventilador de reserva, formado por um quadro de controlo (BOXPRES KIT II), que incorpora um sistema de comutação automático para manter a sobrepresão em caso de falha do ventilador principal e unidades de impulsão de ar com ventilador de reserva.
• O quadro de controlo BOXPRES, para além de cumprir as maiores exigências, simplifica ao máximo o trabalho do instalador.

KIT DE SOBREPRESSÃO DE ESCADAS Para equipamentos monofásicos



Inclui:

- Variador de frequência programado a 50Pa.
- Sonda de pressão diferencial.
- Magnetotérmico.
- Led de linha e falha.
- Botão de verificação.

BOXPRES é um equipamento com todas as ligações entre si realizadas e comprovadas. Pronto para funcionar e desempenhar a sua função sobre o controlo da pressão da instalação. Possibilidade de verificação da instalação para evitar falhas. Só se deve ligar a linha de alimentação, o ventilador de impulsão e o sinal de incêndio.

Os painéis para equipamentos monofásicos incluem:

- Regulador de tensão programado a 50Pa.
- Sonda de pressão diferencial externa ao equipamento.

KIT SOBREPRESSÃO COM VENTILADOR DE RESERVA



- Fácil instalação.
- Solução compacta e autónoma.
- Manutenção preventiva.
- Fácil colocação em funcionamento.
- Instalação segura e funcional.



Código do pedido

KIT SOBREPRESIÓN

—

7100

KIT SOBREPRESIÓN: Conjunto de sobrepresão para escadas
KIT SOBREPRESIÓN II: Conjunto de sobrepresão com ventilador de reserva

Caudal máximo (m³/h)

Características técnicas e dimensões

BOXPRESS KIT SOBREPRESIÓN

Modelo	Potência (kW)	Alimentação (V) (Hz)	Saída (V)	Intensidade máx. saída (A)	Tamanho	Medidas (largura x comprimento x profundidade)
BOXPRES KIT-3A 230Vac	-	230 V AC II	230 V AC II	3,0	-	255 x 170 x 140 mm
BOXPRES KIT-10A 230Vac	-	230 V AC II	230 V AC II	10,0	-	255 x 170 x 140 mm
BOXPRES KIT-0.37W 230Vac	0,37	230 V II / 50 Hz	230 V III / 50 Hz	2,3	1	270 x 270 x 170 mm
BOXPRES KIT-0.75kW 230Vac	0,75	230 V II / 50 Hz	230 V III / 50 Hz	4,3	1	270 x 270 x 170 mm
BOXPRES KIT-1.5kW 230Vac	1,50	230 V II / 50 Hz	230 V III / 50 Hz	7,0	1	270 x 270 x 170 mm
BOXPRES KIT-2.2KW 230Vac	2,20	230 V II / 50 Hz	230 V III / 50 Hz	10,5	2	360 x 360 x 205 mm
BOXPRES KIT-0.75kW 400Vac	0,75	400 V III / 50 Hz	400 V III / 50 Hz	2,2	1	270 x 270 x 170 mm
BOXPRES KIT-1.5KW 400Vac	1,50	400 V III / 50 Hz	400 V III / 50 Hz	4,1	1	270 x 270 x 170 mm
BOXPRES KIT-2.2KW 400Vac	2,20	400 V III / 50 Hz	400 V III / 50 Hz	5,8	2	360 x 360 x 205 mm

Vedante de entrada cabo do equipamento



BOXPRESS KIT SOBREPRESIÓN II

Para equipamentos com ventilador de reserva

Modelo	Potência (kW)	Alimentação (V) (Hz)	Saída (V)	Intensidade máx. saída (A)	Tamanho	Medidas (largura x comprimento x profundidade)
BOXPRES KIT II-1.5KW 400Vac	1,5	400 V III / 50 Hz	400 V III / 50 Hz	4,1	1	270 x 270 x 170 mm
BOXPRES KIT II-2.2KW 400Vac	2,2	400 V III / 50 Hz	400 V III / 50 Hz	5,4	2	360 x 360 x 205 mm

Os dois motores nunca funcionam simultaneamente.

Vedante de entrada cabo do equipamento



Exemplo de aplicação



Método de controlo de fumo por sobrepresão

Este sistema consiste na pressurização através de injeção de ar nos espaços que são utilizados como vias de evacuação de pessoas em caso de incêndio, tais como caixas de escadas, corredores, elevadores, etc., sobretudo em edifícios de altura com grande ocupação.

Este método está baseado no controlo do fumo através da velocidade do ar e a barreira artificial que cria a sobrepresão do ar sobre o fumo, para que este não possa entrar nas vias de evacuação.

Anexo F - Desenhos Técnicos



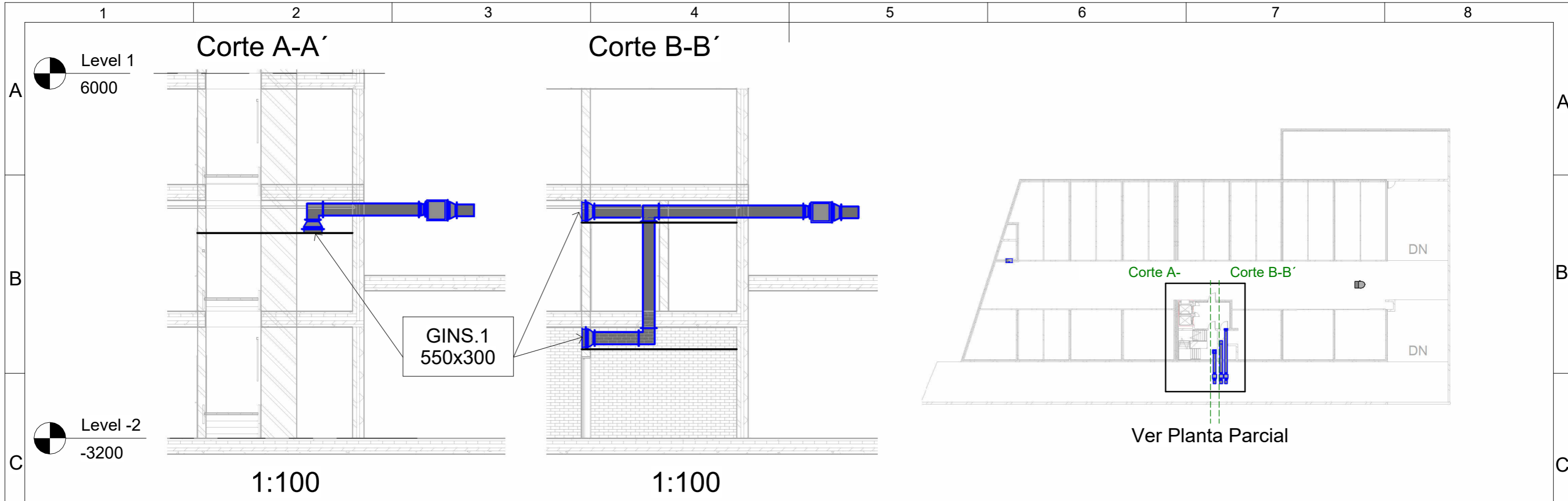
Piso -1

Piso 0 a 3

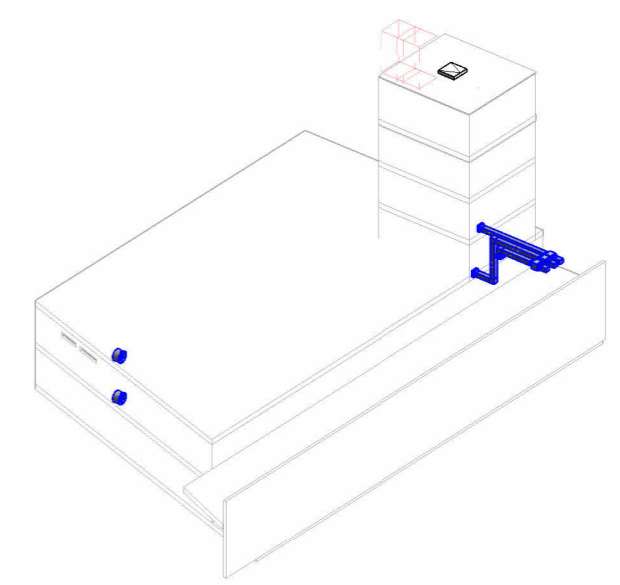
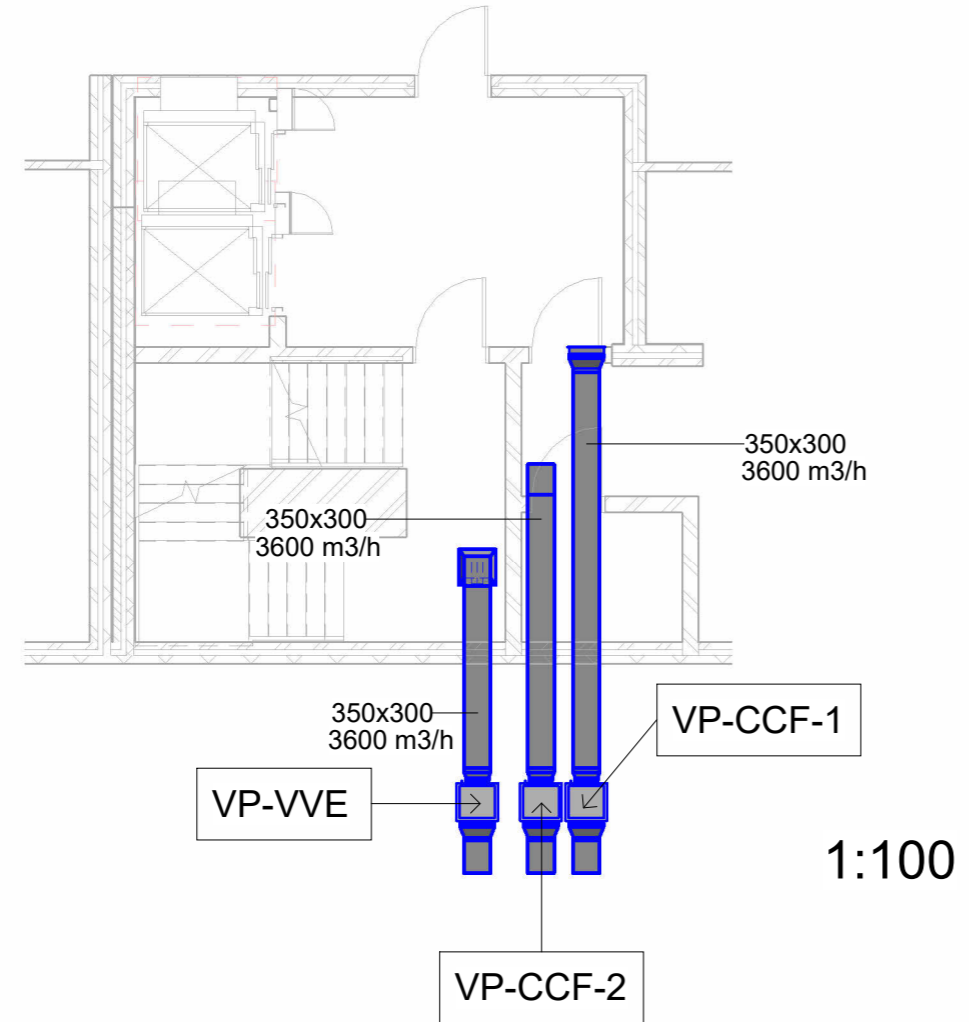
Piso -2

Piso 4

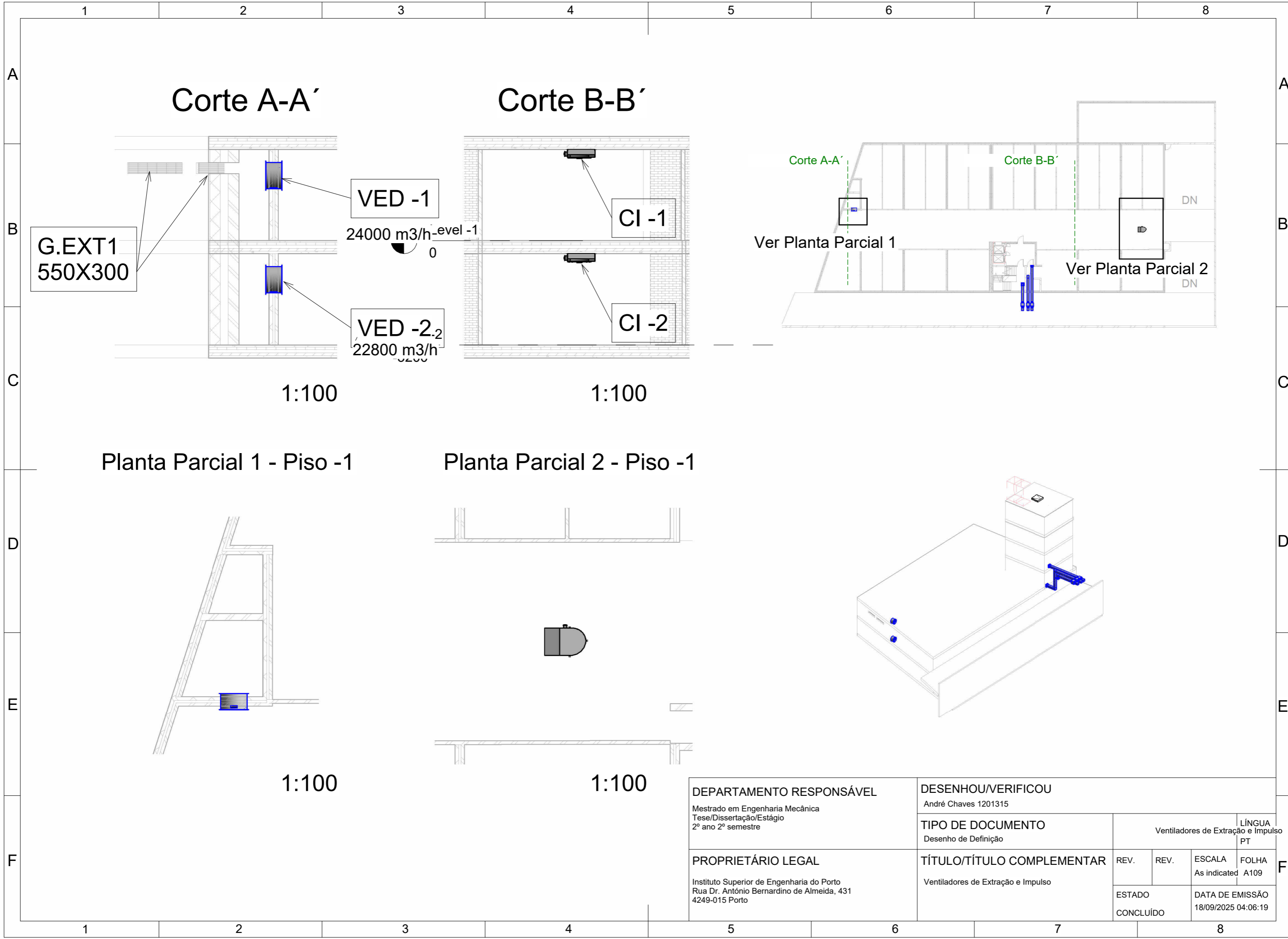
DEPARTAMENTO RESPONSÁVEL Mestrado em Engenharia Mecânica Tese/Dissertação/Estágio 2º ano 2º semestre	DESENHOU/VERIFICOU André Chaves 1201315				
	TIPO DE DOCUMENTO Desenho Isométrico	Plantas de piso do edifício		LÍNGUA PT	
PROPRIETÁRIO LEGAL Instituto Superior de Engenharia do Porto Rua Dr. António Bernardino de Almeida, 431 4249-015 Porto	TÍTULO/TÍTULO COMPLEMENTAR Plantas de piso do edifício	REV.	REV.	ESCALA 1 : 500	FOLHA A106
		ESTADO CONCLUÍDO		DATA DE EMISSÃO 18/09/2025 18:14:43	



Planta Parcial - Piso -1



DEPARTAMENTO RESPONSÁVEL Mestrado em Engenharia Mecânica Tese/Dissertação/Estágio 2º ano 2º semestre	DESENHOU/VERIFICOU André Chaves 1201315			
	TIPO DE DOCUMENTO Desenho de Definição		Sistema de Pressurização LÍNGUA PT	
PROPRIETÁRIO LEGAL Instituto Superior de Engenharia do Porto Rua Dr. António Bernardino de Almeida, 431 4249-015 Porto	TÍTULO/TÍTULO COMPLEMENTAR Sistema de Pressurização		REV.	REV.
	ESTADO CONCLUÍDO		ESCALA As indicated	FOLHA A108
			DATA DE EMISSÃO 18/09/2025 18:35:56	



G.EXT1
550X300

Corte A-A'

Corte B-B'

VED -1

24000 m³/h -level -1

CI -1

VED -2.2
22800 m³/h

CI -2

1:100

1:100

Planta Parcial 1 - Piso -1

Planta Parcial 2 - Piso -1

1:100

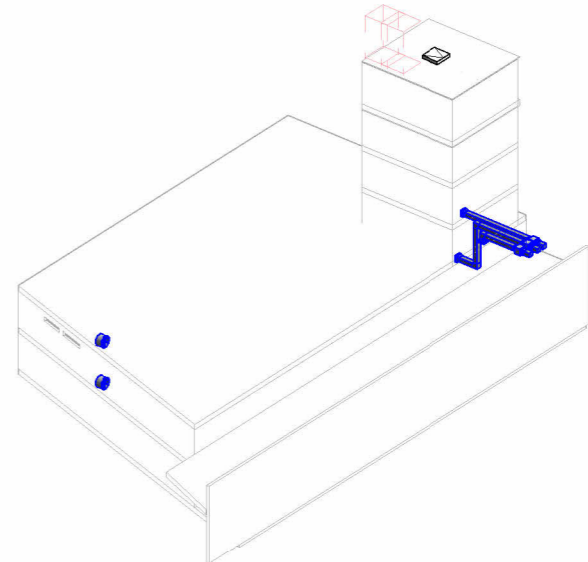
1:100

Corte A-A'

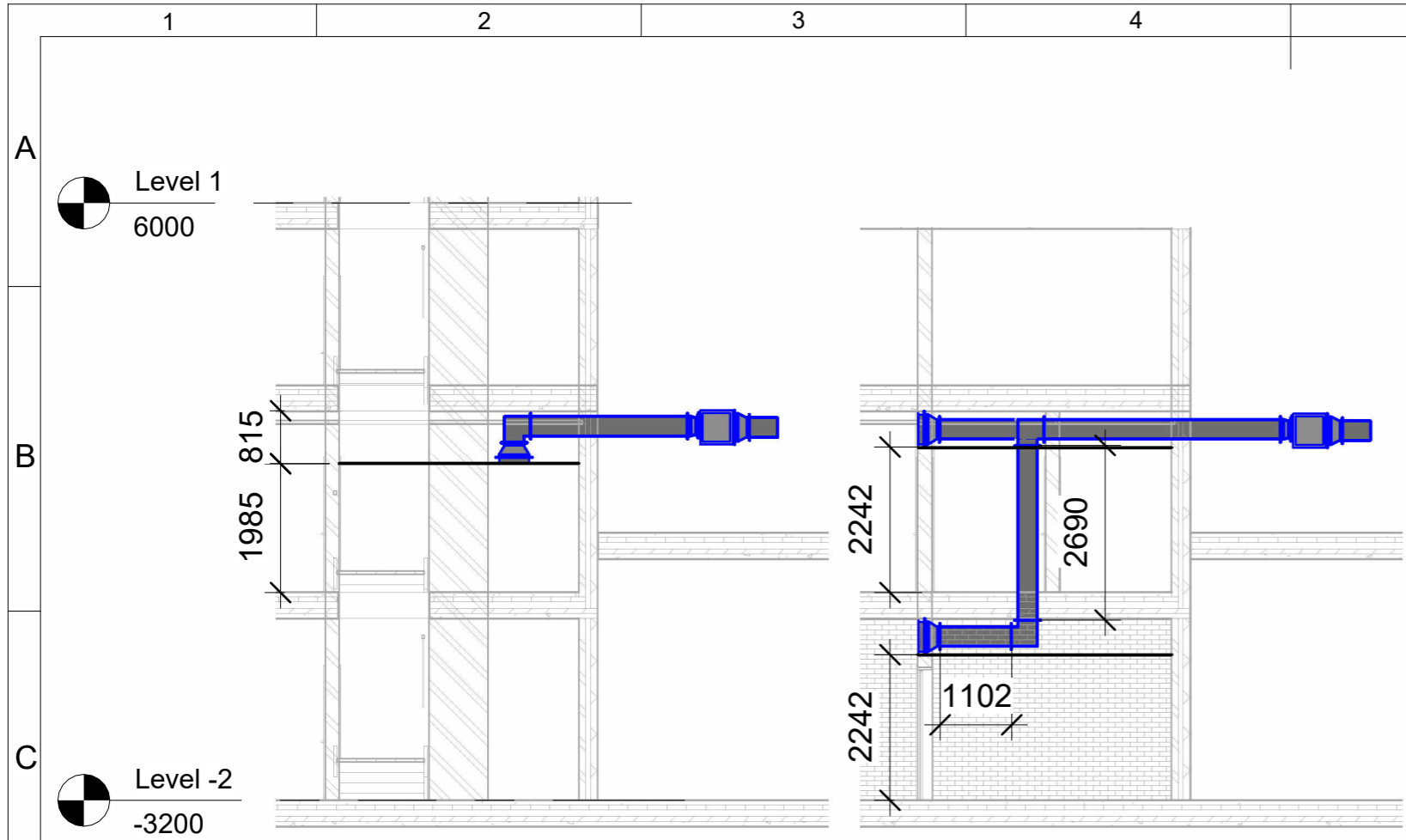
Corte B-B'

Ver Planta Parcial 1

Ver Planta Parcial 2

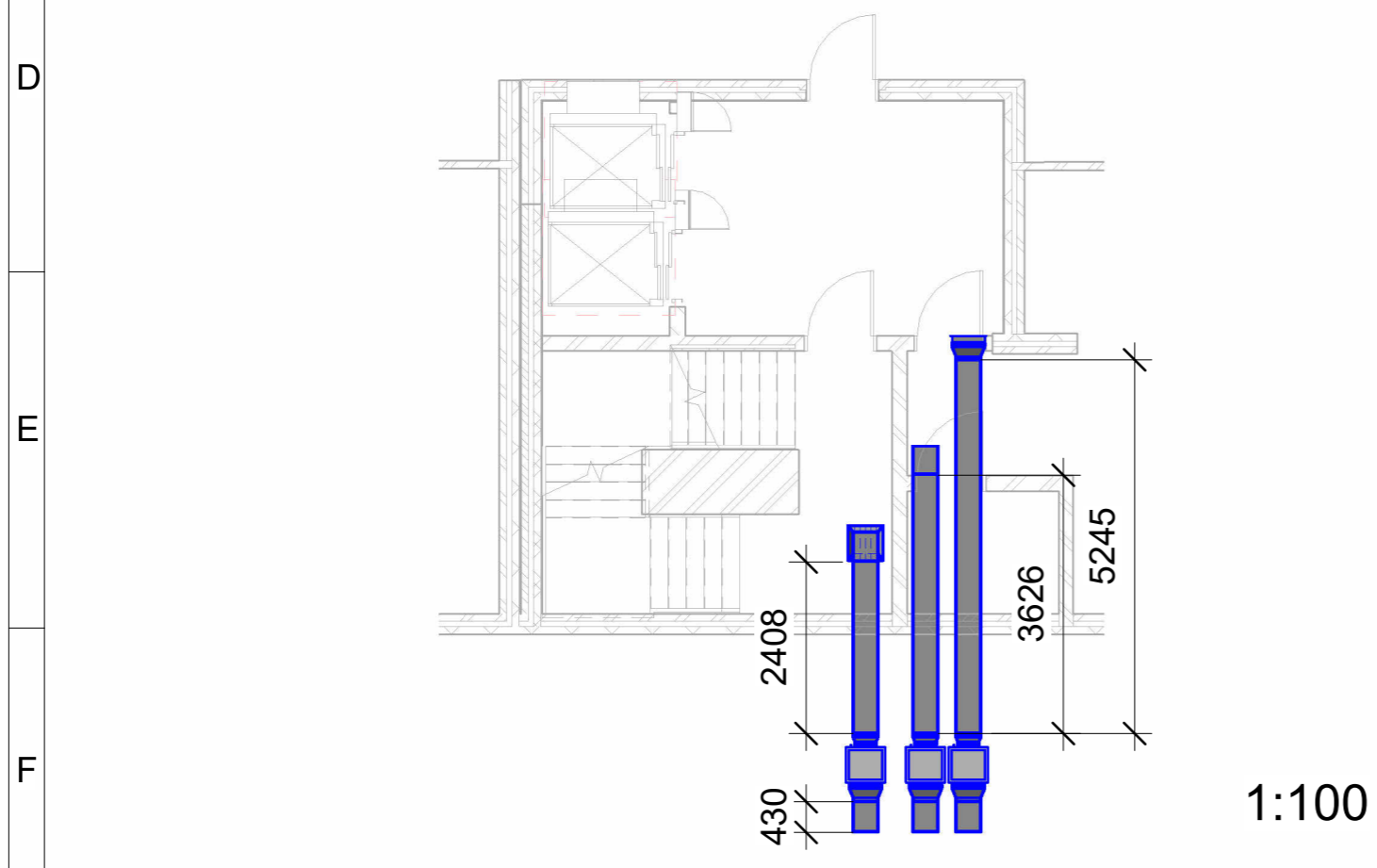
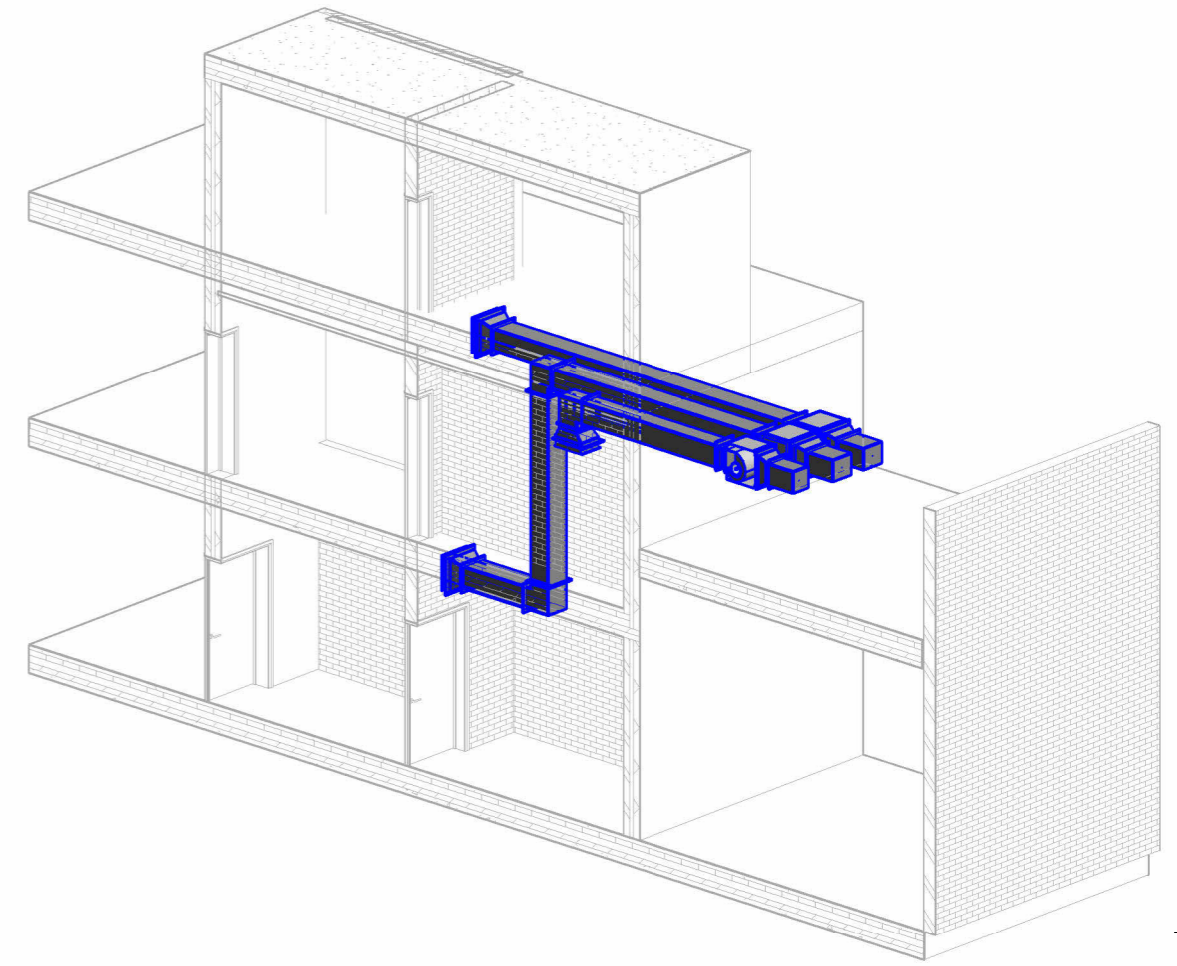


DEPARTAMENTO RESPONSÁVEL Mestrado em Engenharia Mecânica Tese/Dissertação/Estágio 2º ano 2º semestre	DESENHOU/VERIFICOU André Chaves 1201315			
	TIPO DE DOCUMENTO Desenho de Definição			LÍNGUA Ventiladores de Exatção e Impulso PT
PROPRIETÁRIO LEGAL Instituto Superior de Engenharia do Porto Rua Dr. António Bernardino de Almeida, 431 4249-015 Porto	TÍTULO/TÍTULO COMPLEMENTAR Ventiladores de Exatção e Impulso		REV. REV. ESCALA FOLHA As indicated A109	
	ESTADO CONCLUÍDO		DATA DE EMISSÃO 18/09/2025 04:06:19	



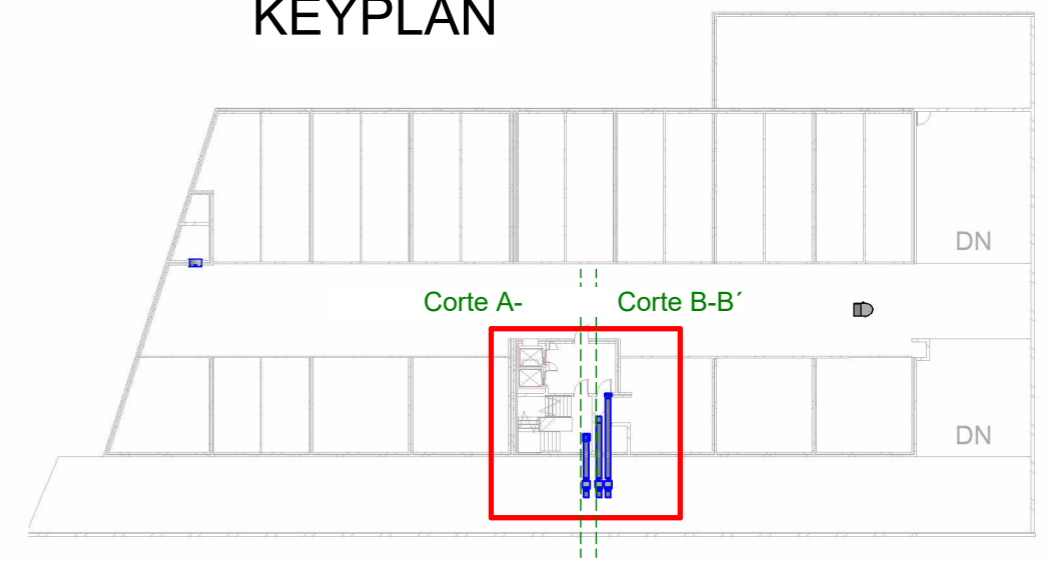
1:100

1:100

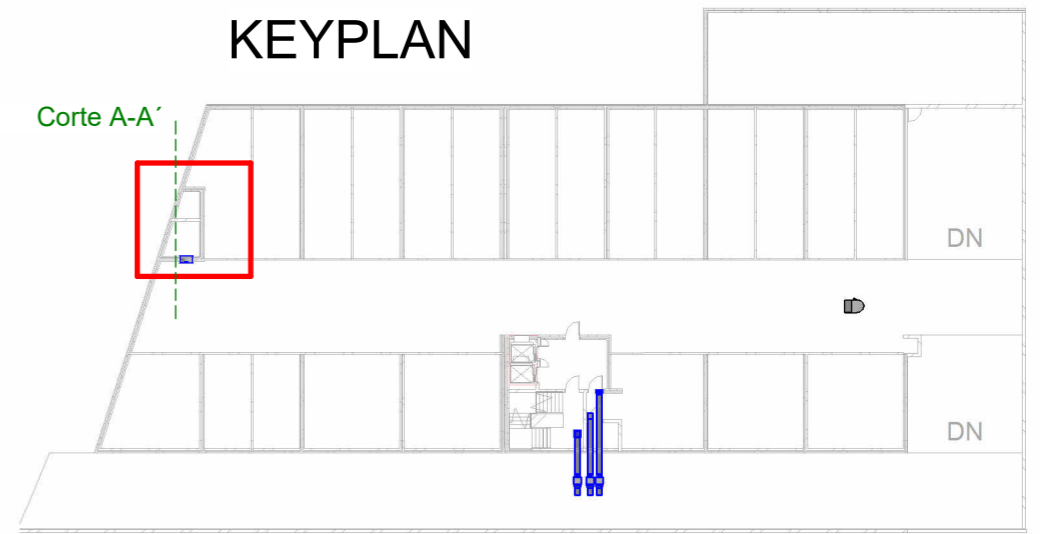
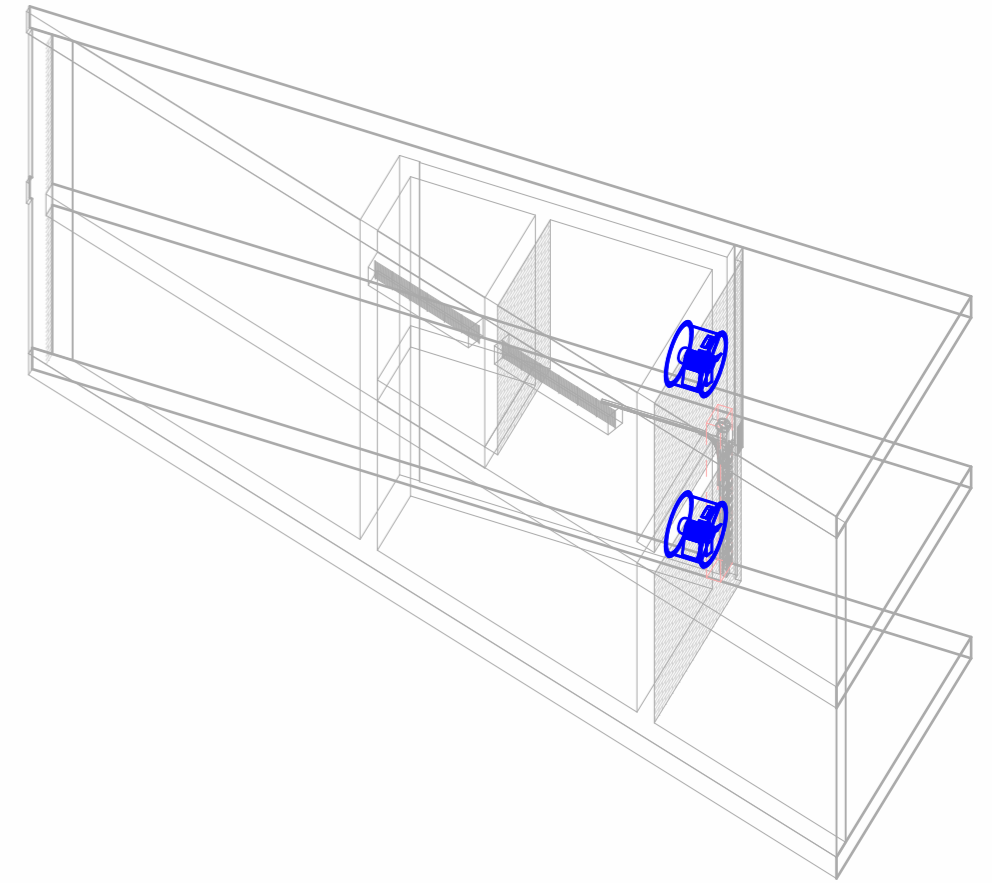
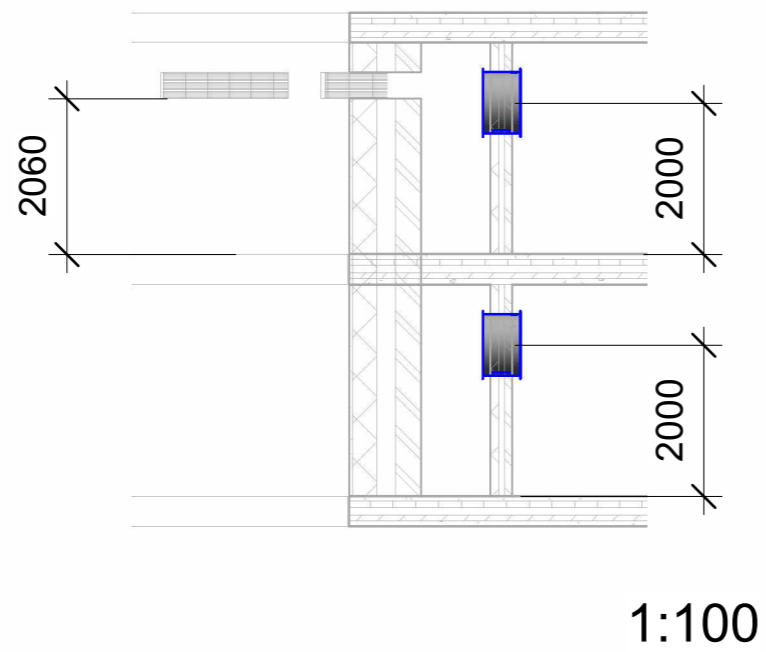
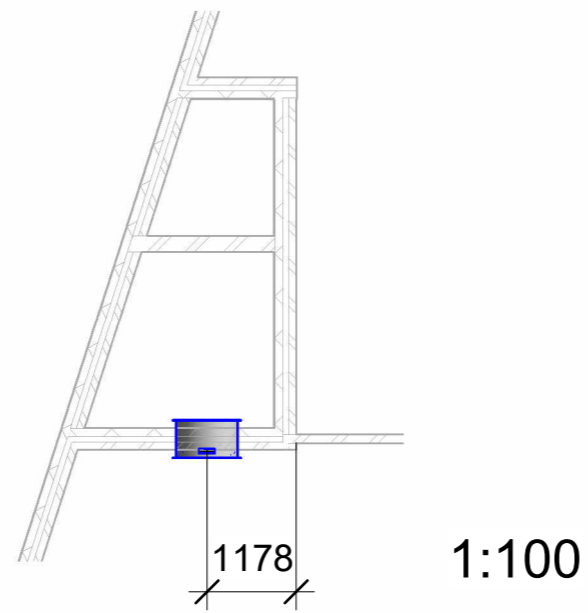


1:100

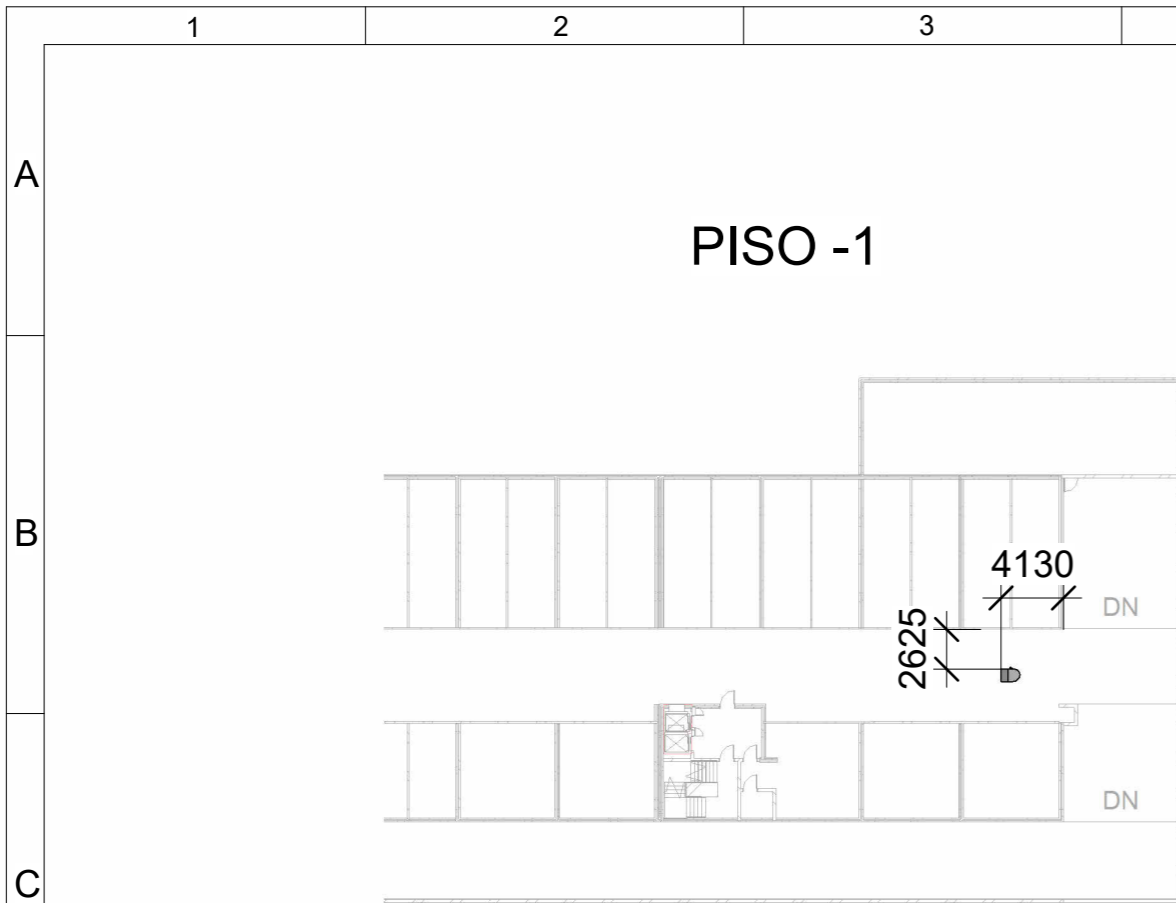
KEYPLAN



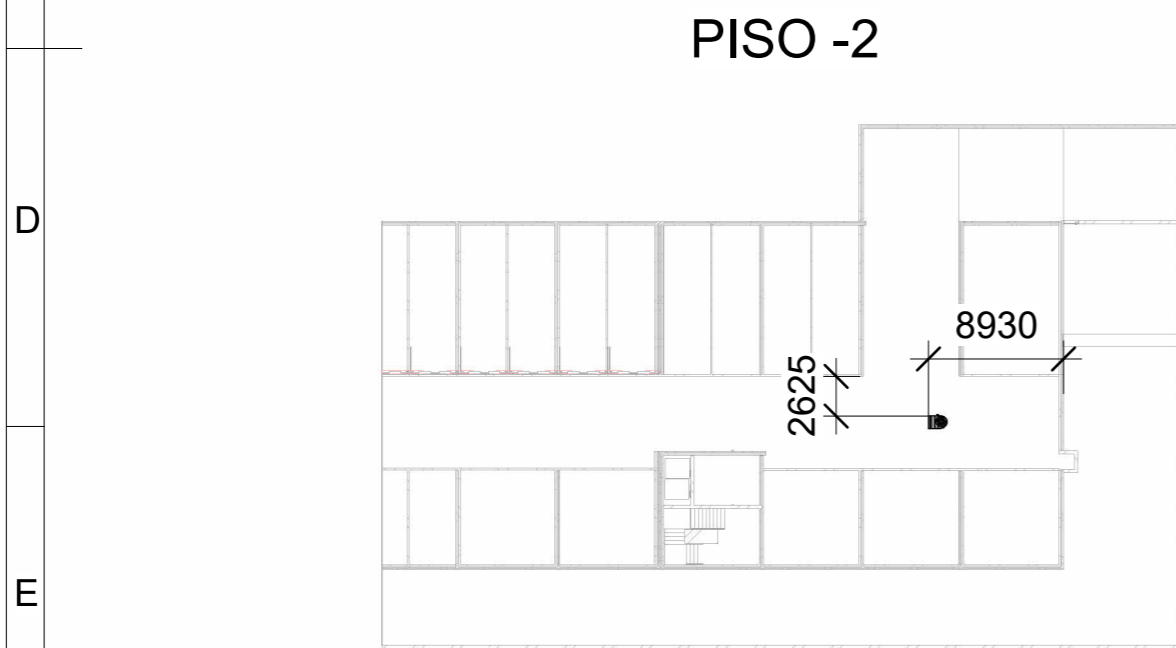
DEPARTAMENTO RESPONSÁVEL		DESENHOU/VERIFICOU			
Mestrado em Engenharia Mecânica Tese/Dissertação/Estágio 2º ano 2º semestre		André Chaves 1201315		LÍNGUA PT	
PROPRIETÁRIO LEGAL		TÍTULO/TÍTULO COMPLEMENTAR		REV.	FOLHA
Instituto Superior de Engenharia do Porto Rua Dr. António Bernardino de Almeida, 431 4249-015 Porto		Sistema de Pressurização - Cotagem		REV.	As indicated A110
				ESTADO	DATA DE EMISSÃO
				CONCLUÍDO	18/09/2025 18:30:30



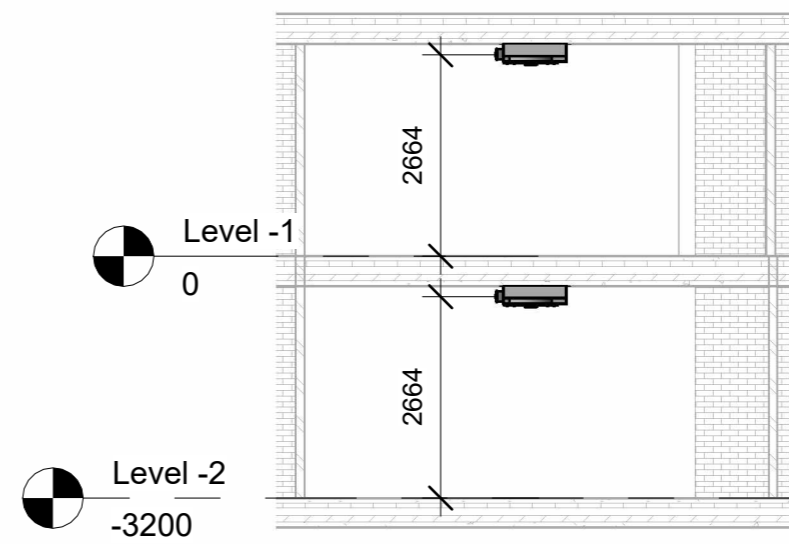
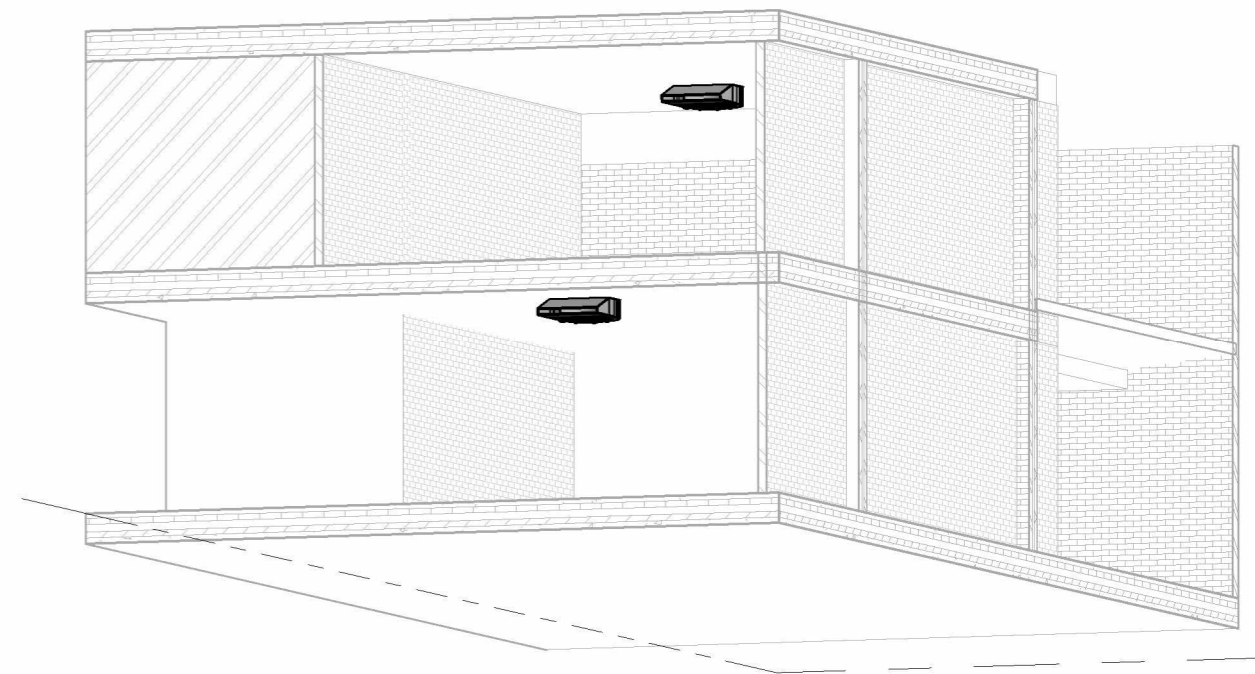
DEPARTAMENTO RESPONSÁVEL Mestrado em Engenharia Mecânica Tese/Dissertação/Estágio 2º ano 2º semestre	DESENHO/VERIFICOU André Chaves 1201315			
	TIPO DE DOCUMENTO Desenho de Definição			Ventiladores de Extração - Cotagem LÍNGUA PT
PROPRIETÁRIO LEGAL Instituto Superior de Engenharia do Porto Rua Dr. António Bernardino de Almeida, 431 4249-015 Porto	TÍTULO/TÍTULO COMPLEMENTAR Ventiladores de Extração - Cotagem			REV. REV. ESCALA FOLHA As indicated A111
	ESTADO CONCLUÍDO		DATA DE EMISSÃO 18/09/2025 04:07:54	



1:500



1:500



1:100

DEPARTAMENTO RESPONSÁVEL Mestrado em Engenharia Mecânica Tese/Dissertação/Estágio 2º ano 2º semestre	DESENHOU/VERIFICOU André Chaves 1201315			
	TIPO DE DOCUMENTO Desenho de Definição			LÍNGUA Ventiladores de Impulso - Cotagem PT
PROPRIETÁRIO LEGAL Instituto Superior de Engenharia do Porto Rua Dr. António Bernardino de Almeida, 431 4249-015 Porto	TÍTULO/TÍTULO COMPLEMENTAR Ventiladores de Impulso - Cotagem			ESCALA As indicated
	ESTADO CONCLUÍDO	REV. 	REV. 	FOLHA A112
			DATA DE EMISSÃO 18/09/2025 04:08:20	