Instituto Superior
de Engenharia
Politécnico de Coimbra

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

Implementação de sistemas AVAC em edifícios históricos

Relatório de Estágio para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica

Especialização em Projeto, Instalação e Manutenção de Sistemas Térmicos

Autor

Alexandre Manuel Margarido Ribeiro

Orientador

João Manuel Nogueira Malça de Matos Ferreira

Supervisor na empresa

Eng. Juliana Loureiro

Climacer, S.A.

Coimbra, março, 2026

INSTITUTO POLITÉCNICO
DE COIMBRA

INSTITUTO SUPERIOR
DE ENGENHARIA
DE COIMBRA

AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar os meus sinceros agradecimentos a todas as pessoas que, de diferentes formas, contribuíram para a realização deste trabalho e para o meu crescimento pessoal e académico ao longo deste percurso.

Primeiramente, ao meu orientador, Prof. João Malça, pelo acompanhamento, pela disponibilidade constante e pelas sugestões que enriqueceram todo o relatório. Agradeço igualmente à supervisora na Climacer e administradora, Eng.ª Juliana Loureiro, e aos restantes administradores, Eng.º Paulo Festas e Eng.º Pedro Lobo, pela partilha de conhecimentos e pela oportunidade de me integrar e aprender na empresa.

Aos meus pais, Manuel e Margarida, deixo um agradecimento especial pelo apoio, confiança depositada e incentivos que me permitiram chegar até aqui.

À minha namorada Carolina, pela paciência, compreensão e apoio emocional constante. A sua presença foi essencial para manter o equilíbrio e a motivação.

Aos meus amigos mais chegados, Elói e João, agradeço pelo companheirismo e pelos momentos de descontração.

Por fim, a todos os meus colegas de departamento, pela excelente companhia nas pausas para o café, aprendizagem, integração, disponibilidade e espírito de entreajuda.

Um enorme obrigado a todos.

RESUMO

A ausência de soluções adequadas de climatização em edifícios históricos pode comprometer, nos dias de hoje, não só o conforto dos seus ocupantes, mas também a preservação do próprio património arquitetónico. Este equilíbrio delicado entre conservação e modernização torna-se particularmente desafiante quando se pretende adaptar edifícios de grande valor cultural às exigências contemporâneas de eficiência energética, qualidade do ar interior e segurança, ou seja, a correta conceção e execução das instalações de Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado (AVAC) é fundamental para assegurar que estes espaços possam ser utilizados de forma sustentável e confortável, sem comprometer a sua identidade e valor histórico.

O presente trabalho aborda a importância da correta aplicação de soluções de AVAC em edifícios históricos, através da análise detalhada das especificidades e limitações destes edifícios e a sua interligação com os processos de projeto, orçamentação, execução e manutenção dos sistemas AVAC. Para este efeito, foi necessário contextualizar a legislação aplicável, os métodos de preparação e compatibilização de especialidades, as condicionantes construtivas e os cuidados na instalação dos sistemas em contexto de preservação patrimonial. O estudo prático centra-se na empreitada do edifício TUMO Coimbra, antigo edifício dos CTT, analisando-se os sistemas de climatização adjudicados, os materiais e equipamentos utilizados e as soluções implementadas para respeitar a arquitetura original, garantindo, simultaneamente, conforto e eficiência energética.

Com o objetivo de aprofundar o tema do *retrofit* em edifícios históricos, são apresentadas diretrizes para a compatibilização entre eficiência energética e preservação patrimonial, bem como estratégias sistemáticas para a integração não invasiva de sistemas de ventilação mecânica. Adicionalmente, exploram-se metodologias de modelação dinâmica, otimização multiobjetivo e decisão multicritério, que permitem comparar cenários de intervenção e apoiar a seleção das soluções mais adequadas em função das necessidades energéticas, económicas e de conforto. A experiência prática adquirida durante o estágio na empresa Climacer possibilitou ainda compreender de forma integrada as fases de projeto e execução, bem como os desafios técnicos e criativos associados a empreitadas de *retrofit*.

Com este trabalho, pretende dar-se um contributo técnico-prático que concilie a preservação do património edificado com as exigências modernas de conforto e sustentabilidade, fornecendo-se informação, metodologias e ferramentas, teóricas e práticas, que sirvam de referência para futuras intervenções na área de AVAC em edifícios históricos.

Palavras-Chave: AVAC, Edifícios históricos, Modelação 3D, Projeto, *Retrofit*.

ABSTRACT

The absence of adequate climate-control solutions in historic buildings can nowadays compromise not only the comfort of their occupants but also the preservation of the architectural heritage itself. This delicate balance between conservation and modernization becomes particularly challenging when the aim is to adapt buildings of great cultural value to contemporary demands for energy efficiency, indoor air quality and safety, that is, the correct design and execution of Heating, Ventilation and Air Conditioning (HVAC) installations is fundamental to ensure that these spaces can be used sustainably and comfortably, without compromising their identity and historical value.

This work addresses the importance of the correct application of HVAC solutions in historic buildings, through a detailed analysis of the specificities and limitations of these buildings and their interconnection with the design, budgeting, execution and maintenance processes of HVAC systems. For this purpose, it was necessary to contextualize the applicable legislation, the methods of preparation and compatibility of specialties, the constructive constraints, and the precautions required for the installation of systems in the context of heritage preservation. The practical study focuses on the TUMO Coimbra building project, the former CTT building, analyzing the air conditioning systems, materials, and equipment installed, and the solutions implemented to respect the original architecture, while ensuring comfort and energy efficiency.

To deepen the topic of retrofitting in historic buildings, guidelines are presented for reconciling energy efficiency and heritage preservation, as well as systematic strategies for the non-invasive integration of mechanical ventilation systems. In addition, dynamic modeling, multi-objective optimization, and multi-criteria decision-making methodologies are explored, enabling the comparison of intervention scenarios and supporting the selection of the most appropriate solutions based on energy, economic, and comfort needs. The practical experience gained during the internship at Climacer also made it possible to understand the design and execution phases in an integrated way, as well as the technical and creative challenges associated with retrofit contracts.

This work aims to provide a technical and practical contribution that reconciles the preservation of built heritage with modern demands for comfort and sustainability, supplying information, methodologies, and tools, both theoretical and practical, that will serve as a reference for future interventions in the HVAC field in historic buildings.

Keywords: 3D Modeling, Historical buildings, HVAC, Project, Retrofit.

ÍNDICE DE TEXTO

Agradecimentos i
Resumo ii
Abstract iii
Índice de texto iv
Índice de figuras v
Índice de tabelas vii
Lista de siglas, acrónimos e símbolos vii
1 Introdução e Motivação 1
2 Etapas de uma empreitada AVAC 5
2.1.1 Projeto 5
2.1.2 Orçamentação 6
2.1.3 Erros e omissões 15
2.1.4 Métodos e preparação 17
2.1.5 Direção de obra e compras 19
3 Caso de Estudo: Análise Pormenorizada dos Sistemas AVAC do Edifício TUMO Coimbra 21
3.1 Enquadramento legal 22
3.2 Análise de arquitetura 27
3.3 Análise das especialidades adjudicadas 28
3.4 Análise pormenorizada da difusão e climatização 31
3.4.1 Climatização 31
3.4.2 Distribuição de ar 40
3.4.3 Tratamento e controlo da qualidade do ar 50
4 Metodologias e Aplicação Prática do *Retrofit* em Edifícios Históricos 52
4.1 Metodologias de *Retrofit* 52
4.1.1 Eficiência energética e preservação patrimonial 52
4.1.2 Ventilação e Qualidade do Ar 53
4.1.3 Otimização e apoio à decisão no retrofit de um auditório universitário 54
4.2 Exemplo prático de *retrofit* 60

5 Conclusão 66
6 Referências bibliográficas 67
Anexos 70

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 - Fachada da empresa Climacer em Trouxemil, Coimbra 3
Figura 2.1 - Diagrama de árvore de um projeto 6
Figura 2.2 - Exemplo de lista de registos de orçamentos 7
Figura 2.3 - Exemplo de caderno de encargos 8
Figura 2.4 - Exemplo de mapa de quantidades 9
Figura 2.5 - Exemplo de peça desenhada 10
Figura 2.6 – Exemplo de *checklist* de orçamentação 11
Figura 2.7 - Folha de cálculo ARCON 11
Figura 2.8 – Exemplo de proposta comercial 13
Figura 2.9 – Exemplo de proposta técnica 14
Figura 2.10 - Folha de apoio às medições por piso 15
Figura 2.11 - Folha de apoio às medições de condutas por piso 16
Figura 2.12 – Exemplo de conflito entre sistema aeráulico e arquitetura 17
Figura 2.13 – Exemplo de conflito entre especialidades e ausência de negativo 18
Figura 2.14 - Exemplo de ficha de aprovação de material (FAM) 20
Figura 3.1 - Fachada do edifício TUMO Coimbra 21
Figura 3.2 - Localização do edifício TUMO Coimbra 22
Figura 3.3 - Arquitetura do Piso 1 do edifício TUMO Coimbra 27
Figura 3.4 - Arquitetura do Piso 2 do edifício TUMO Coimbra 28
Figura 3.5 - Arquitetura da cobertura do edifício TUMO Coimbra 28
Figura 3.6 - Rede aeráulica do piso 1 29
Figura 3.7 - Rede de fluido frigorígeno do piso 1 29
Figura 3.8 - Rede aeráulica do piso 2 30
Figura 3.9 - Rede de fluido frigorígeno do piso 2 30
Figura 3.10 - Unidades exteriores instaladas na cobertura 31
Figura 3.11 - Sistema mono-split (Daikin, 2026) 32

Figura 3.12 - Unidade interior do tipo mural (Daikin, 2026) 33
Figura 3.13 - Unidade interior de chão (Daikin, 2026) 33
Figura 3.14 - Unidade interior do tipo cassete 34
Figura 3.15 - Unidade interior de condutas 34
Figura 3.16 - Controlo remoto de unidades interiores (Daikin, 2026) 35
Figura 3.17 - Aplicação Onecta da marca Daikin (Daikin, 2026) 36
Figura 3.18 - Esquema de princípio de uma unidade exterior de um sistema VRV: configuração com um compressor (à esquerda), configuração com dois compressores (à direita) e respetiva legenda numérica dos componentes (Daikin, 2013) 38
Figura 3.19 - Forquilha de ligação de sistema VRV 38
Figura 3.20 - Esquema de princípio do sistema VRV do piso 1 do edifício Tumo Coimbra 39
Figura 3.21 - Preparação de maciços da cobertura 40
Figura 3.22 - Resultados de um ensaio de estanqueidade a uma conduta 41
Figura 3.23 – Exemplo de aplicação de condutas têxteis (France Air, 2026) 42
Figura 3.24 - Condutas com aplicação de isolamento térmico 43
Figura 3.25 - Conduta de painel compacto fonoabsorvente Climaver® (Saint-Gobain, 2026) 44
Figura 3.26 - Condutas com aplicação de proteção corta-fogo pelo exterior 45
Figura 3.27 - Exemplo de porta de visita (France Air, 2026) 46
Figura 3.28 - Exemplo de pleno com gola (Autentibrisa, 2026) 46
Figura 3.29 - Grelha de simples deflexão com alhetas horizontais (Koolair, 2026) 47
Figura 3.30 - Grelha de simples deflexão com alhetas verticais (Koolair, 2026) 47
Figura 3.31 - Grelha de dupla deflexão (Koolair, 2026) 47
Figura 3.32 - Exemplo de difusor linear instalado 48
Figura 3.33 - Ventilador com função simultânea de boca de extração (Systemair, 2026) 48
Figura 3.34 - Boca de extração (Systemair, 2026) 49
Figura 3.35 - Registo de caudal (Systemair, 2026) 49
Figura 3.36 - Bomba de condensados (Leroy Merlin, 2026) 50
Figura 3.37 - Ventilador de extração (Systemair, 2026) 50
Figura 3.38 - Estudo do desempenho do recuperador de calor (Systemair, 2026) . 51

Figura 4.1 - Fluxograma do processo integral de *retrofit* (adaptado de D'Agostino *et al.*, 2025) 55

Figura 4.2 - Simulação em DesignBuilder dos períodos de desconforto num edifício (DesignBuilder, 2026) 56

Figura 4.3 – Exemplo de passagem de condutas através de parede no edifício TUMO Coimbra 61

Figura 4.4 - Unidades murais instaladas a uma cota elevada no edifício TUMO Coimbra 62

Figura 4.5 – Instalação de unidade e componentes AVAC a uma cota elevada no edifício TUMO Coimbra 63

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 4.1 - Comparação entre edifício histórico e moderno 64

LISTA DE SIGLAS, ACRÓNIMOS E SÍMBOLOS

AHP	Processo de Análise Hierárquica
AVAC	Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado
BIM	*Building Information Modeling*
CAD	*Computer-Aided Design*
FAM	Ficha de Aprovação de Material
ISEC	Instituto Superior de Engenharia de Coimbra
KPI	*Key Performance Indicator*
MCDM	Decisão Multicritério
MEP	*Mechanical, Electrical and Plumbing*
MOO	Otimização Multiobjectivo
MULTIMOORA	Otimização Multiobjetivo por Análise de Rácios com Forma Multiplicativa Completa
PDE	Pedido de Esclarecimento
PME	Micro, Pequena e Média Empresa
SCIE	Segurança Contra Incêndio em Edifícios
TOPSIS	Técnica para Ordenar a Preferência por Similaridade para uma Solução Ideal
VIKOR	Otimização de Múltiplos Critérios e Solução de Compromisso
VRV	Volume de Refrigerante Variável

WASPAS	Avaliação do Produto de Soma Agregada Ponderada

1 INTRODUÇÃO E MOTIVAÇÃO

No mundo contemporâneo, passamos grande parte do tempo em ambientes fechados, raramente paramos para pensar no que torna os edifícios confortáveis e habitáveis. O equilíbrio invisível, mas palpável em termos de temperatura, humidade, circulação e qualidade do ar é, na verdade, o resultado de engenharia sofisticada, a qual molda a maior parte do quotidiano sem sequer nos apercebermos. O conforto diário é intrinsecamente proveniente de toda uma evolução do edificado, refletida nas mudanças das necessidades do ser humano, nos avanços tecnológicos e nos requisitos ambientais. Das construções rudimentares, projetadas para aproveitar ao máximo os recursos naturais disponíveis, aos edifícios contemporâneos que dependem de tecnologias avançadas para controlar o ambiente interior, a relação entre arquitetura e climatização tem sido e continuará a ser uma busca constante por equilíbrio (Silva,2022).

No início, o foco era a adaptação aos climas locais, com materiais e designs que favoreciam o conforto térmico passivo. Com a revolução industrial e a urbanização crescente, os edifícios tornaram-se cada vez mais complexos, exigindo soluções eficazes para responder às necessidades impostas. A possibilidade de condicionar o ar permitiu que os projetos arquitetónicos relativizassem as limitações climáticas locais, mas, por outro lado, introduziu novos desafios, como por exemplo o elevado consumo de energia. Os edifícios e os sistemas de Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado (AVAC) evoluem hoje em sinergia, procurando responder às expetativas de conforto e eficiência num contexto de preocupação global com a sustentabilidade. A integração de fontes de energia renovável molda uma evolução sustentável com um futuro cada vez mais equilibrado e responsável (Silva,2022).

O dimensionamento correto dos equipamentos é fundamental para o funcionamento eficiente das instalações e procura atender às necessidades específicas do ambiente onde o edifício se insere. Subdimensionar ou sobredimensionar os equipamentos pode resultar em desconforto térmico, qualidade do ar reduzida, maior consumo energético e, consequentemente, aumento dos custos de operação. Para evitar estes problemas, é essencial considerar todos os aspetos inerentes à ocupação esperada do edifício. Será, assim, necessária uma equipa de engenheiros capaz de, com o seu conhecimento especializado, projetar o sistema de acordo com as necessidades e assegurar que este opera de forma eficiente para minimizar os custos financeiros e energéticos. Além disso, o pessoal técnico assegura a correta instalação dos sistemas e o seu bom funcionamento através da gestão e manutenção adequadas.

A instalação de todos os equipamentos necessários ao correto funcionamento torna-se mais desafiante quando se trata de edifícios históricos, onde a preservação dos elementos originais e a adaptação às necessidades modernas precisam de coexistir de

forma equilibrada. Muitos, se não todos estes edifícios, foram concebidos sem considerar as tecnologias de climatização da atualidade, o que exige uma abordagem cuidadosa para integrar os sistemas AVAC sem comprometer a estética ou a estrutura original. O desafio consiste em encontrar soluções que respeitem a arquitetura, muitas vezes com limitações de espaço e infraestrutura e, ao mesmo tempo, garantam o conforto térmico e a qualidade do ar exigidos pelos ocupantes. Esta implementação exige uma abordagem delicada, envolvendo frequentemente a adaptação de sistemas de ventilação natural ou a instalação de equipamentos discretos, que não alterem a estética do edifício em questão.

A preservação de um edifício de categoria histórica exige que os profissionais de AVAC e de arquitetura colaborem de forma efetiva, garantindo que as intervenções satisfazem os requisitos técnicos e respeitam as normas de conservação e regulamentações legais. As intervenções devem ser pensadas de forma a manter a integridade do património cultural, procurando simultaneamente otimizar o desempenho energético e garantir a eficiência dos sistemas. A dificuldade em equilibrar estas exigências torna todo o processo de projeto e de instalação mais complexo e minucioso, exigindo criatividade e um profundo estudo de abordagens outrora já feitas.

A principal motivação do presente trabalho reside em compreender de que modo se podem conciliar as exigências de preservação do património com as necessidades contemporâneas de conforto e de eficiência energética. A complexidade deste processo de integração, que envolve tanto desafios técnicos quanto criativos, foi aprofundada ao longo do estágio curricular na empresa Climacer, S.A., empresa especializada na área de AVAC. No decorrer do estágio, houve oportunidade de abordar projetos envolvendo edifícios modernos, mas também captar o testemunho de profissionais a desenvolver atividade em edifícios históricos. O estágio desenvolveu-se entre outubro de 2024 e julho de 2025, proporcionando a integração no mercado de trabalho e o contacto com áreas chave para aplicação dos conhecimentos adquiridos no ciclo de estudos de Mestrado em Engenharia Mecânica, Área de Especialização em Projeto, Instalação e Manutenção de Sistemas Térmicos. O estágio dividiu-se nas seguintes etapas:

Etapa 1: Apresentação geral da empresa e processo de integração;

Etapa 2: Execução de preparações no Departamento de Métodos e Preparações;

Etapa 3: Realização de orçamentos no Departamento de Orçamentação;

Etapa 4: Reintegração no Departamento de Métodos e Preparações para aprofundamento técnico e análise do edificado histórico.

A experiência prática decorrente do estágio permitiu observar de perto as complexidades envolvidas no dimensionamento e implementação de sistemas de climatização, proporcionando uma visão clara sobre o processo de projeto e conferindo a oportunidade de sedimentar conhecimentos sobre as tecnologias atuais e as práticas sustentáveis que moldam o futuro do setor.

Figura 1.1 - Fachada da empresa Climacer em Trouxemil, Coimbra

A empresa Climacer é uma empresa consolidada e especializada em soluções para sistemas de AVAC, com uma história que remonta a 1990. Desde a fundação, a empresa tem vindo a evoluir e a expandir-se, para se adaptar às necessidades do mercado e às exigências de um setor em constante transformação e evolução. Inicialmente focada na área de AVAC, águas e esgotos, a empresa ampliou a sua área de atuação ao longo dos anos, passando a oferecer um serviço integrado, que abrange além da instalação e comissionamento, também a manutenção de sistemas de aquecimento, ventilação, águas e esgotos.

Em 1993, com a mudança para a Zona Industrial da Pedrulha, em Coimbra, a Climacer deu um passo significativo no seu crescimento, desenvolvendo a área de projeto e fabrico de condutas, o que lhe permitiu enfrentar empreitadas de maior envergadura e reforçar a sua autonomia. Ao longo das décadas seguintes, a empresa foi reconhecida pelo seu compromisso com a qualidade e inovação, destacando-se no mercado nacional.

Em 2001, foi considerada PME Excelência pelo IAPMEI e em 2009 obteve o reconhecimento de PME Líder, consolidando a sua posição de destaque no setor. A mudança para novas instalações em Trouxemil, em 2006, e a aquisição por novos sócios em 2015 deram início a uma nova fase de expansão e internacionalização, com a empresa a assumir um papel de vanguarda na engenharia de sistemas MEP (*mechanical, electrical and plumbing*). A partir de 2016, a Climacer consolidou ainda mais

o seu peso no mercado, conquistando obras de grande relevância em todo o país, incluindo setores como o hospitalar, farmacêutico, hoteleiro, educacional e industrial.

Com uma equipa altamente qualificada e especializada (Anexo 1), a Climacer tem investido continuamente em tecnologia e formação, utilizando ferramentas avançadas como CAD, REVIT e BIM para garantir a máxima eficiência e qualidade nos seus projetos. A empresa destaca-se pela sua capacidade de integrar soluções técnicas inovadoras que asseguram o conforto térmico e o controlo da qualidade do ar em diversas tipologias de edifícios, sempre com o foco na sustentabilidade e na eficiência energética.

O portefólio da Climacer inclui grandes obras públicas e particulares, as quais permitiram uma compreensão aprofundada de todo o processo envolvido na conceção e implementação de sistemas AVAC. A empresa, com a sua equipa técnica de excelência e a sua abordagem inovadora, proporcionou uma excelente oportunidade de inserção no mercado de trabalho, permitindo compreender os desafios e as soluções práticas no dimensionamento e na instalação de sistemas de climatização. Além disso, a realização do estágio realçou a importância da colaboração entre os diferentes departamentos de uma empresa, como engenharia, administração e equipa técnica, para garantir a execução de projetos de qualidade e com elevado rigor, sempre com o objetivo de satisfazer as necessidades dos clientes e promover o bem-estar dos ocupantes dos edifícios.

Este relatório está organizado em três capítulos principais, abordando i) o processo interno de gestão das empreitadas AVAC adjudicadas à empresa, ii) as especificidades de uma empreitada AVAC de um edifício de elevado valor patrimonial (edifício TUMO Coimbra) e iii) os princípios teóricos subjacentes a operações de *retrofit*.

2 ETAPAS DE UMA EMPREITADA AVAC

Durante o estágio curricular, não houve a possibilidade de desempenhar atividades na Direção de Obra ou no Departamento de Compras. No entanto, no sentido de abordar e explicar o ciclo de funções completo, existirá, de forma idêntica às restantes funções, uma breve explicação daqueles dois departamentos.

2.1.1 Projeto

No estado inicial de um ciclo na empresa, existem dois caminhos possíveis de ponto de partida do processo:

1. Estudo individualizado;
2. Concurso público ou particular.

Quando é necessário um estudo mais abrangente de algo requerido pelo cliente, o departamento de estudos e propostas responsabiliza-se por organizar, agrupar e dimensionar os sistemas em questão. Por norma, estes sistemas são de pequena escala, nomeadamente moradias com sistemas simples.

Em concurso público ou particular, existe, habitualmente, um projeto inicial completo que servirá como base de trabalho durante todo o processo. O projeto possui o conteúdo separado por arquitetura e especialidades, existindo dentro da arquitetura e especialidades as peças desenhadas e as peças escritas. As peças desenhadas de arquitetura incluem planta de implantação, desenhos gerais, plantas de tetos e pormenores como, por exemplo, lajes, paredes exteriores e interiores. Nas peças escritas de arquitetura encontra-se a memória descritiva e quantitativa de toda a estrutura a ser realizada. Posteriormente, as peças desenhadas da arquitetura irão servir de guia para as preparações realizadas no departamento de métodos e preparações da Climacer. As especialidades incluem vários ramos, como Estruturas, Hidráulica, Eletricidade, Telecomunicações, Segurança Integrada, Segurança Contra Incêndio em Edifícios (SCIE) e AVAC. A Figura 2.1 apresenta um diagrama de árvore ilustrando o modo como se organiza um projeto.

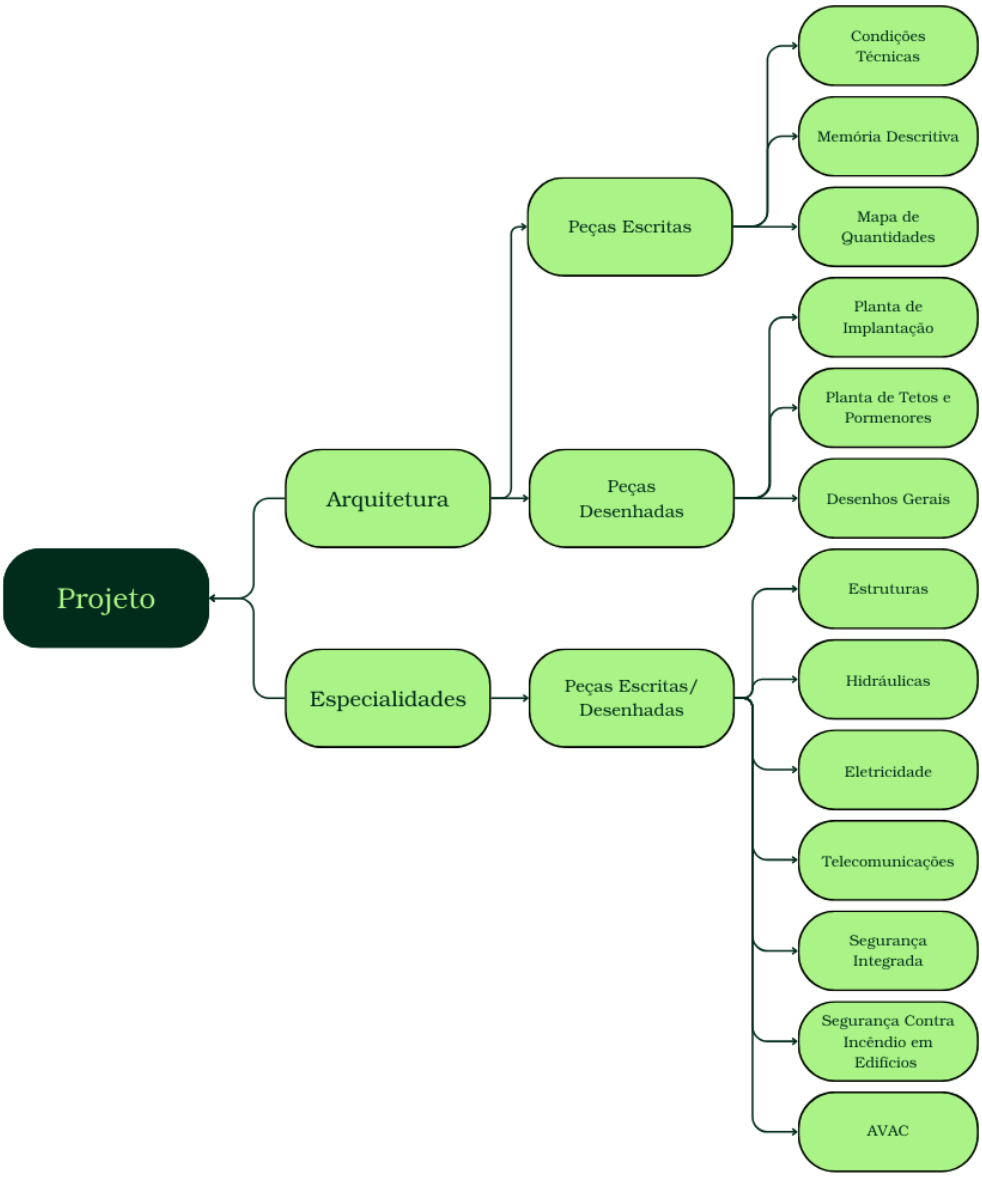


Figura 2.1 - Diagrama de árvore de um projeto

2.1.2 Orçamentação

Importa salientar que o processo de orçamentação é um dos processos mais importantes numa empreitada de AVAC, pois dele dependem os equipamentos a atribuir a uma obra e, consequentemente, a adequação dos mesmos à implementação do projeto. Maioritariamente, os pedidos de orçamentação são requisitados para obras de concurso público ou particular. É também necessário compreender que é importante seguir rigorosamente o caderno de encargos de projeto, ou seja, conferir se o mapa de quantidades e as peças desenhadas são coerentes entre si, ter espírito

crítico ao receber cotações dos fornecedores e estimar tempos de mão de obra próximos dos reais.

Conforme previsto no fluxograma do processo de orçamentação adotado na empresa Climacer (Anexo 2), previamente à abertura do processo existe uma tomada de decisão, em que o diretor de produção faz um balanço entre as capacidades financeiras, técnicas e produtivas exigidas. A tomada de decisão baseia-se nos documentos fornecidos no pedido de orçamento, isto é, mapa de quantidades, caderno de encargos, peças desenhadas, entre outros. Com estes documentos é possível simular a quantidade de equipas a contratar, dimensão monetária requerida e qualificações técnicas a ter.

Tomada a decisão de elaborar o orçamento, será necessário selecionar o orçamentista encarregado do mesmo e realizar a abertura do processo na plataforma de partilha SharePoint, plataforma de armazenamento e organização em nuvem para a gestão de processos internos, envolvendo todos os departamentos da empresa e onde todos os funcionários acedem e arquivam os seus ficheiros. A Figura 2.2 ilustra um exemplo de lista de registos do ano 2025.

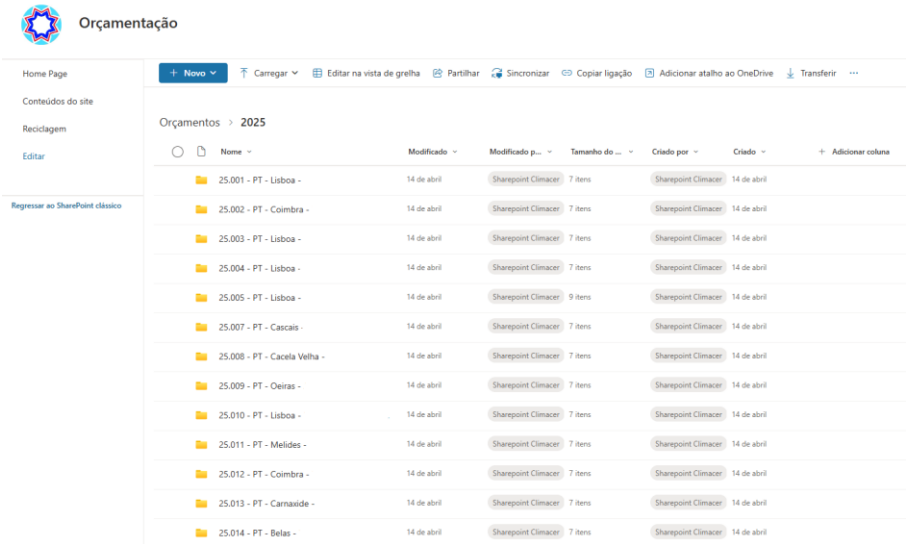


Figura 2.2 - Exemplo de lista de registos de orçamentos

O registo de um processo implica a atribuição de um número de orçamento, codificado pelo ano em questão, número sequencial do orçamento, nome do orçamentista, nome do cliente/construtora, localização da obra e datas de entrada do orçamento e de entrega do mesmo. Posteriormente, o orçamentista analisa os documentos fornecidos no pedido de orçamento para se familiarizar com todos os sistemas que terão de ser orçamentados, dimensão e tipologia da obra em questão. O caderno de encargos é uma das peças essenciais neste processo de familiarização e análise, pois é nele que se encontra toda a informação detalhada e os pormenores

a ter em conta em termos de materiais e equipamentos requeridos para a obra (Figura 2.3).

1.2.1.2 - EVAPORADORES

Cada unidade interior, do tipo conduta e ou cassete, deverá munida com filtro (G4, nas de conduta) e um pleno em chapa de aço galvanizado com isolamento térmico para retorno e admissão de ar-novo. A colocação deste equipamento deverá sempre a montante das unidades.

As unidades interiores (UI) do tipo conduta possuirão:

- Permutador de calor fluído frigorigéneo/ar;
- Ventilador com duas/três velocidades;
- Controlo remoto com função horária e termostática;
- Sistema de proteção anti-gelo;
- Nível de ruído inferior a 30 dB(A) a 1000Hz.

A unidade interior deverá operar automaticamente em função das condições ambiente, com "change-over" frio/calor automático.

O controlador local, que inclui sensor de temperatura e as suas principais funções são as seguintes:

- Seleção de modo de funcionamento - frio / calor / automático / ligado / desligado;
- Seleção de temperatura desejada no ambiente a climatizar;
- Seleção do caudal de insuflação através da regulação da velocidade de rotação do motor do ventilador;
- Seleção da quantidade de fluxo de refrigerante frigorigéneo a passar no permutador;
- Programação horária do período de funcionamento;
- Sinalizador de filtro colmatado;

Figura 2.3 - Exemplo de caderno de encargos

O mapa de quantidades constitui um complemento ao caderno de encargos e um suporte na realização do orçamento (Figura 2.4). Nas peças desenhadas, é possível perceber visualmente o produto final, identificando nomeadamente os circuitos da especialidade em análise (Figura 2.5).

I-1.1.	**VRF 3 TUBOS**				
	Sistema do tipo VRF 3 TUBOS, constituído por unidade exterior (condensador / compressor) e unidades interiores (evaporadores), incluindo controladores, cabos de comando e potência, proteção elétrica no quadro, e todos os acessórios necessários ao seu correto funcionamento, tudo conforme C.T. e				
I-1.1.1.	Unidades Condensadoras:				
I-1.1.1.1.	UC - 1	cj	1,000		
I-1.1.2.	Unidades interiores, incluindo todos os controladores locais, filtros de ar e todos os acessórios de interligação às caixas de distribuição, conforme diagrama de principio, ME e CT:				
I-1.1.2.1.	UI - C40	un	1,000		
I-1.1.2.2.	UI - P32	un	1,000		
I-1.1.2.3.	UI - P50	un	1,000		
I-1.1.2.4.	UI - P140	un	1,000		
I-1.1.3.	Comandos e controlo, incluindo o fornecimento de todos os cabos de interligação entre unidades e placas				
I-1.1.3.1.	AT-50A	un	1,000		
I-1.1.3.2.	PAC-SC51KUA	un	1,000		
I-1.1.3.3.	PAR-40MAA	un	4,000		
I-1.1.3.4.	CMB-M106V-J1	un	1,000		
I-1.1.3.5.	CMY-R160-J1	un	1,000		
I-1.1.4.	Carga de gás frigorigéneo R410	kg	10,000		
I-1.2.	Sistema do tipo Mono-Split, constituído por um conjunto de unidade exterior (condensador/compressor) e unidade interior (evaporador), incluindo placa de comunicação com o comando centralizado do VRF, controladores, cabos de comando e potência, proteção elétrica no quadro, e todos os acessórios necessários ao seu correto funcionamento, tudo conforme C.T. e				
I-1.2.1.	UE-UPS + UI-UPS	cj	1,000		
I-1.2.2.	UE-BT1 + UI-BT1	cj	1,000		

Figura 2.4 - Exemplo de mapa de quantidades

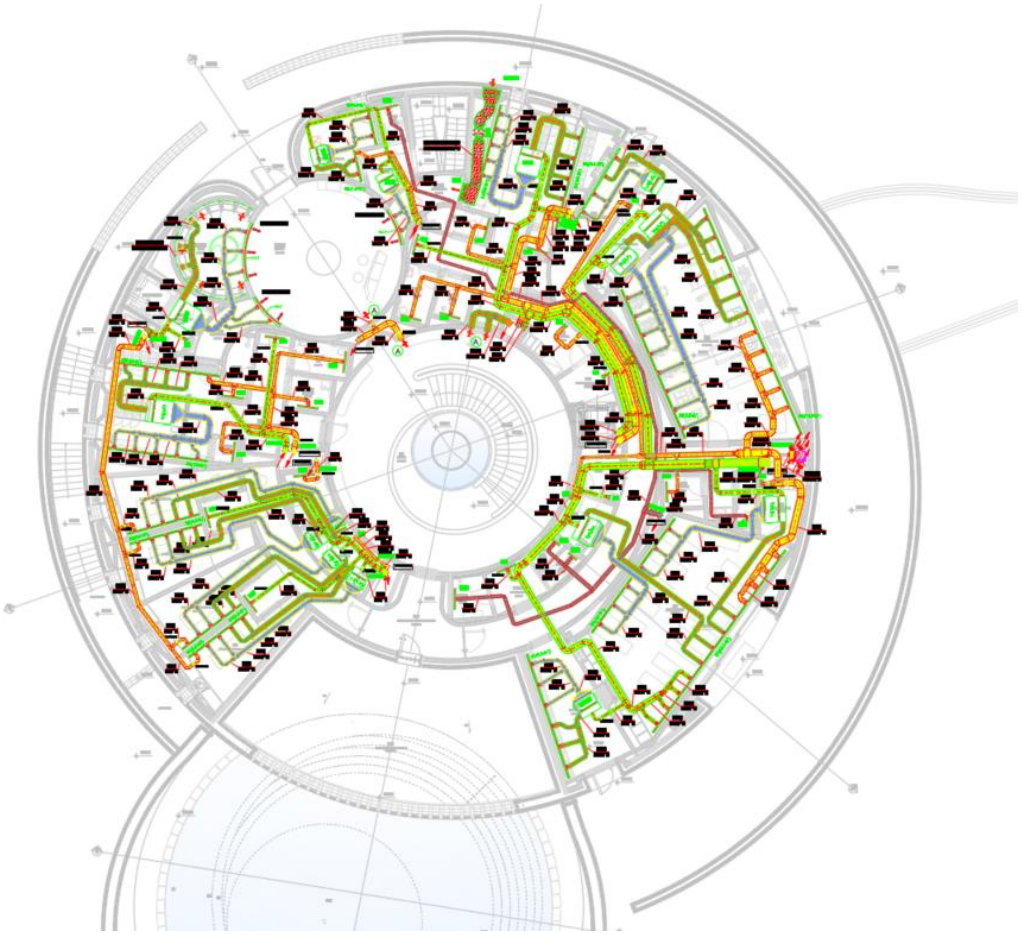


Figura 2.5 - Exemplo de peça desenhada

Na fase seguinte, identificam-se as marcas dos equipamentos previstas no caderno de encargos e possíveis alternativas de outros fabricantes, com a finalidade de realizar os pedidos de cotação. Para facilitar o processo, dispõe-se de uma *checklist* de orçamentação, na qual o orçamentista regista as marcas de forma simples, mas organizada, o que facilita posteriormente o cumprimento do prazo de entrega do orçamento com todos os equipamentos devidamente cotados (Figura 2.6).

CHECK LIST AVAC (preenchida)											2023.V00
FAMÍLIA	C.E.	Equivalências									
1- Atenuadores acústicos											
2 - Bombas circuladoras	Wilo	Ebara									
3 - Caldeira											
4 - Chaminé											
5 - Chiller											
6 - Clarabóias de Desenfumagem	Petaproj	D+H									
7 - Close Control											
8 - Depósitos											
9 - Dissipador Calor											
10 - Dry cooler											
11 - Grelhas/Difusão											
12 - GTC											
13 - Hotte											
14 - Humidificadores /Desumidificadores											
15 - Pavimento Radiante Eléctrico											
16 - Pavimento Radiante Hidráulico											
17 - Permutadores de calor											
18 - Quadros Eléctricos											
19 - Radiadores											
20 - Recup. de calor											
21 - Registos C. Fogo	Systemair	Koolair	Metec								
22 - Registos Caudal Aut.											
23 - Rooftop											
24 - Sistema Solar											
25 - Split											
26 - Torres de arrefecimento											
27 - Tratamento Águas											
28 - UTA'S											
29 - V. expansão											
30 - Válvulas											
31 - Ventiladores											
32 - Ventilo-convectores											
33 - VRV											

Figura 2.6 – Exemplo de *checklist* de orçamentação

Com a receção dos pedidos de cotação, é criada uma folha de cálculo denominada ARCON (Figura 2.7), na qual se introduz o mapa de quantidades, separando os artigos por família e organizando adequadamente para que, aquando de uma receção de pedido de cotação, seja facilitado o processo de procura dos equipamentos cotados.

Piso E0: Acesso ao Edifício:
Piso E1 e E2: Estacionamento:
Piso 01: Restauração:
Piso 02 a 10: Gabinetes:
Piso 11: Salas de formação:
Piso 12: Zonas Técnicas

Financeiros	1,00%		13 811,87
Diversos			42 864,58
Mão de Obra	42,00 €		1 381 187,22
Materiais			

Sub-Total MO: 1 381 187,22

Sub-Total Mat: 2 985 248,98 €

Sub-Total Venda: 5 518 919,33 €

Obra:

Total: 5 518 919,33 €

Orçamentista Climacer: Alexandre Ribeiro

Gab. Projecto

Projectista

Família Descriçã	Família	Artº	Descrição	Uni.	Qtd.	Unitário (€)	Total (€)	Materiais Tabela	Materiais Extras	Materiais Líquido Unit.
VRV	VRV	2.1.1.1	VRVE.01	un	1	12 879,31 €	12 879,31 €	11 593,55		9 854,52
VRV	VRV	2.1.1.3	VRVE.03	un	1	3 752,44 €	3 752,44 €	3 097,70		2 633,05
VRV	VRV	2.1.1.4	VRVE.04	un	1	6 388,55 €	6 388,55 €	5 551,55		4 718,82
VRV	VRV	2.1.1.5	VRVE.05	un	1	9 713,54 €	9 713,54 €	8 646,65		7 349,66
VRV	VRV	2.1.1.5	Caixas de recuperação de calor sistema VRV a 3 Tubos							
VRV	VRV	2.1.1.5.1	SR.01	un	1	2 111,00 €	2 111,00 €	1 569,75		1 334,29
Split	SPLI	2.1.2	Fornecimento e Montagem de Unidades de Climatização do tipo "Split", incluindo bandeja de condensados, termostato, comando, interface de controlo para gestão técnica, ligação a interface para sistemas de gestão técnica centralizada e todos os acessórios necessários De acordo c/ caderno de encargos e peças desenhadas.							
Split	SPLI	2.1.2.1	UCE.01	un	3	1 551,53 €	4 654,59 €	929,50	200,00	1 101,62
Split	SPLI	2.1.2.2	UCI.01	un	3	733,23 €	2 199,69 €	386,75	100,00	475,15
Split	SPLI	2.1.2.3	UCE.02	un	5	2 192,45 €	10 962,25 €	1 400,75	250,00	1 608,73

Figura 2.7 - Folha de cálculo ARCON

Após receção dos pedidos de cotação, será necessário comparar os itens recebidos nas cotações com os itens presentes no mapa de quantidades e confirmar os dados copiados das cotações, nomeadamente o valor dos produtos e respetivos descontos aplicados. Para os materiais mais utilizados nas empreitadas, existem valores internos previamente definidos, como por exemplo para condutas, tubagens de cobre e de ferro preto. Também existe a possibilidade de efetuar simulações previamente à chegada das cotações, em itens como quadros elétricos, ligações elétricas e coletores hidráulicos. Para os custos de mão de obra, existe também uma tabela interna que permite simular de forma rigorosa o tempo de preparação e montagem dos itens em questão. Deste modo, mesmo antes de receber todos os pedidos de cotação dos fornecedores, é possível simular os valores de mão de obra para cada item do mapa de quantidades, tendo espírito crítico e efetuando análises minuciosas para que não existam erros aquando da elaboração da proposta.

Após preenchimento da folha de cálculo ARCON com as cotações recebidas, o orçamento é analisado pela diretora do departamento de orçamentação e pelo diretor de produção, confirmando se a informação está coerente em termos técnicos e orçamentais.

Após validação, é preparada a proposta final para entrega ao cliente. A proposta final subdivide-se em dois documentos, uma proposta comercial e uma proposta técnica. A primeira consiste num documento onde consta quem solicitou o pedido, o elaborador do orçamento, a lista de equipamentos e prazo de validade do orçamento, entre outros (Figura 2.8). Na proposta técnica apresentam-se de forma detalhada os preços de cada item e respetivas quantidades, num conteúdo similar ao presente na folha de cálculo ARCON, mas em modo de apresentação ao cliente (Figura 2.9).

Conceção · Produção · Service · Comissionamento · Sustentabilidade

climacer

Rua das Areias, n.º 29
Trouxemil
3025 - 137 Coimbra

Tel. +351 239 497 690
(chamada para rede fixa nacional)
E-mail climacer@climacer.com

Proposta

Para:	XXXXX	De:	
A/C.:	Ex.mo Sr. Eng.º XXXXX	Tel. nº:	239 497 690 (chamada para rede fixa nacional)
C.C:			
Email:	XXXXX@XXX.XXX	Email:	@climacer.com
Data:	2025.07.13	Pág.(s):	1 de 4

Assunto: Proposta 25.000.00
Proposta de fornecimento e instalação mecânica de AVAC e/ou Rede Hidráulica
"Climatização de XXXXX"

Ex.mo(s) Sr.(s)

Os nossos melhores cumprimentos.

No seguimento da consulta efectuada por Vas. Exas à nossa empresa, que nos apraz, relativamente ao assunto supramencionado, somos a submeter à V. apreciação a nossa proposta para o eventual fornecimento e montagem dos equipamentos necessários à referida instalação.

A execução da obra ficará a cargo de técnicos qualificados, da nossa firma.
Todos os materiais a utilizar estarão de acordo com a regulamentação em vigor e em perfeitas condições.

Postas estas condições preliminares, passamos a especificar as condições comerciais de fornecimento e montagem dos equipamentos necessários a promover a instalação acima referida.

1. Descrição dos Equipamentos.

Conforme v/ pedido, sendo os equipamentos das marcas seguintes ou equivalentes:

Equipamento(s) AVAC		Marca(s)
▪ Chiller	----------	A cumprir CE
▪ Difusão	----------	A cumprir CE
▪ Ventilação	----------	A cumprir CE
▪ VRV		A cumprir CE

Figura 2.8 – Exemplo de proposta comercial

climacer

Proposta	22.024.05
DATA	22.12.2022

Obra:

Total 177 160,12 €

Artº	Descrição	Uni.	Qtd.	Unitário (€)	Total (€)
A	**Climatização dos espaços**			102 085,29 €	
	Sistema VRF da marca Systemair **Piso 1 - Lounge**				
A.1	Fornecimento e instalação de unidade exterior da marca Systemair, versão bomba de calor, a 2 tubos nos seguintes modelos:				
A.1.1	SYSVRF2 M400 AIR EVO HP R	un	1	11 221,53 €	11 221,53 €
A.1.2	Fornecimento e instalação de unidade interior do tipo VRF, do tipo mural, nos seguintes modelos:				
A.1.2.1	SYSVRF2 WALL 45Q	un	1	833,48 €	833,48 €
A.1.3	Fornecimento e instalação de unidade interior do tipo VRF, do tipo cassete de 4 vias, nos seguintes modelos:				
A.1.3.1	SYSVRF2 CASSETTE 56Q	un	7	1 298,90 €	9 092,30 €
A.1.3.2	SYSVRF2 CASSETTE 71Q	un	1	1 599,42 €	1 599,42 €
A.1.4	Fornecimento e instalação de forquilhas de derivação para o sistema VRF, SYSVRF JOINT IN 01 2P	un	5	78,49 €	392,45 €
A.1.4	Fornecimento e instalação de forquilhas de derivação para o sistema VRF, SYSVRF JOINT IN 02 2P	un	1	86,95 €	86,95 €
A.1.5	Fornecimento e instalação de forquilhas de derivação para o sistema VRF, SYSVRF JOINT IN 03 2P	un	2	137,51 €	275,02 €
A.1.6	Fornecimento e instalação de comandos por cabo para as unidades interiores, modelo SYS				

Figura 2.9 – Exemplo de proposta técnica

Por fim, após análise da proposta por parte do cliente, poderá ou não existir uma negociação de modo a satisfazer as pretensões de ambas as partes.

2.1.3 Erros e omissões

A análise de erros e omissões é um processo alocado ao departamento de orçamentação em conjunto com o departamento de métodos e preparação e decorre, habitualmente, na fase final, ou quase final, de um concurso ou de uma obra que possivelmente irá ser adjudicada. Este processo consiste numa análise comparativa minuciosa entre as quantidades do mapa de quantidades do projeto inicial e as quantidades contidas nas peças desenhadas. Este procedimento não se realiza em todas as empreitadas, pois exige um grande dispêndio de tempo e a atribuição de responsáveis para a execução do mesmo.

Está disponível um modelo de folha interna de erros e omissões, que permite organizar todas as medições e quantidades por piso e comparar as quantidades introduzidas com o mapa de quantidades previamente introduzido (Figura 2.10).

climacer

ARCON CE

DATA

Art°	Descrição	Uni.	Qtd.	Qtd. Total	OK/NOK	P1	P2	P3	P4
CAP. VIII	INSTALAÇÕES DE AVAC			0	OK				
				0	OK				
I.	FONTES TÉRMICAS:			0	OK				
				0	OK				
1.	Fornecimento e montagem de unidades de produção de AQS nomeadamente Bomba de calor do tipo split De acordo c/ ESP. TEC. Nº 1, Nº 18			0	OK				
-	Inclui:			0	OK				
"	Suporte anti-vibrático na unidade exterior			0	OK				
"	Suporte de fixação da unidade exterior			0	OK				
"	Suporte de fixação das unidades interiores			0	OK				
"	Alimentação elétrica entre as unidades interiores e exteriores			0	OK				
"	UCE.BC.01+BC.01 (EM ALGUNS CASOS A UCE.BC.01 ESTÁ LIGADA A UMA BC.02)	Un	78	156	NOK	12	12	12	12
"	UCE.BC.02+BC.02 (NÃO EXISTE UCE.BC.02 E AS BC.02 EXISTENTES ESTÃO LIGADAS A	Un	26	0	NOK				
"	UCE.BC.03+BC.03 (NÃO EXISTE UCE.BC.03 NEM BC.03)	Un	52	0	NOK				
				0	OK				
2.	Fornecimento e montagem de unidades de climatização do tipo MultiSplit De acordo c/ ESP. TEC. Nº 2, Nº 16			0	OK				
-	Inclui:			0	OK				
"	Alimentação elétrica entre as unidades interiores e exteriores			0	OK				
"	Cabo de comunicação entre as unidades interiores e exteriores			0	OK				
"	UCME.01	Un	26	27	NOK	2	2	2	2
"	UCME.02	Un	52	52	OK	4	4	4	4
"	UCME.03	Un	26	26	OK	2	2	2	2
				0	OK				
3.	Unidades de climatização do tipo Split De acordo c/ ESP. TEC. Nº 3, Nº 17, Nº 22, Nº 23			0	OK				
-	Inclui:			0	OK				
"	Alimentação elétrica entre as unidades interiores e exteriores			0	OK				
"	Cabo de comunicação entre as unidades interiores e exteriores			0	OK				
"	UCIE.01 + UCIL01	Un	4	0	NOK				

Figura 2.10 - Folha de apoio às medições por piso

Outro apoio à análise de erros e omissões encontra-se nas folhas de medições por piso, as quais permitem introduzir a dimensão das condutas e o cálculo da área total resultante (Figura 2.11).

climacer

Medições de Condutas

PISO 0

Não isoladas		Medição Climacer	
		[m]	[m2]
250	200	5	**4,5**
250	200	1,5	**1,35**
150	150	3	**1,8**
250	150	2,1	**1,68**
400	200	4,4	**5,28**
300	200	6	**6**
300	150	4,2	**3,78**
150	150	2,2	**1,32**
150	100	4,8	**2,4**
		TOTAL	**28,11**

Figura 2.11 - Folha de apoio às medições de condutas por piso

Como resultado do processo de análise de erros e omissões, é possível detetar quantidades não coerentes entre si, sendo este o erro mais habitual neste processo, bem como equipamentos não contabilizados no mapa de quantidades, mas presentes nas peças desenhadas, e vice-versa. As incoerências são comunicadas ao cliente, ficando assim os valores corretos apurados e devidamente comunicados.

2.1.4 Métodos e preparação

O departamento de métodos e preparação é essencial para qualquer direção de obra, pois através das preparações garante-se a facilidade de execução e a instalação correta, com base nas simulações quer em planta quer em 3D.

Ao iniciar-se uma preparação com base na arquitetura e projeto iniciais podem ocorrer erros, pois muitos pormenores podem não constar do projeto, levando a conflitos entre especialidades. Tais conflitos são comunicados à empresa construtora em questão, para que se encontre a solução adequada. Entre os conflitos mais comuns encontram-se conflitos entre sistemas aeráulicos e arquitetura (Figura 2.12), conflitos em *courettes* de especialidades com negativos (Figura 2.13), conflitos de sistemas aeráulicos com tetos falsos e especialidades que, em conjunto, ultrapassam a altura mínima admitida (2200 mm de altura, em estacionamentos).

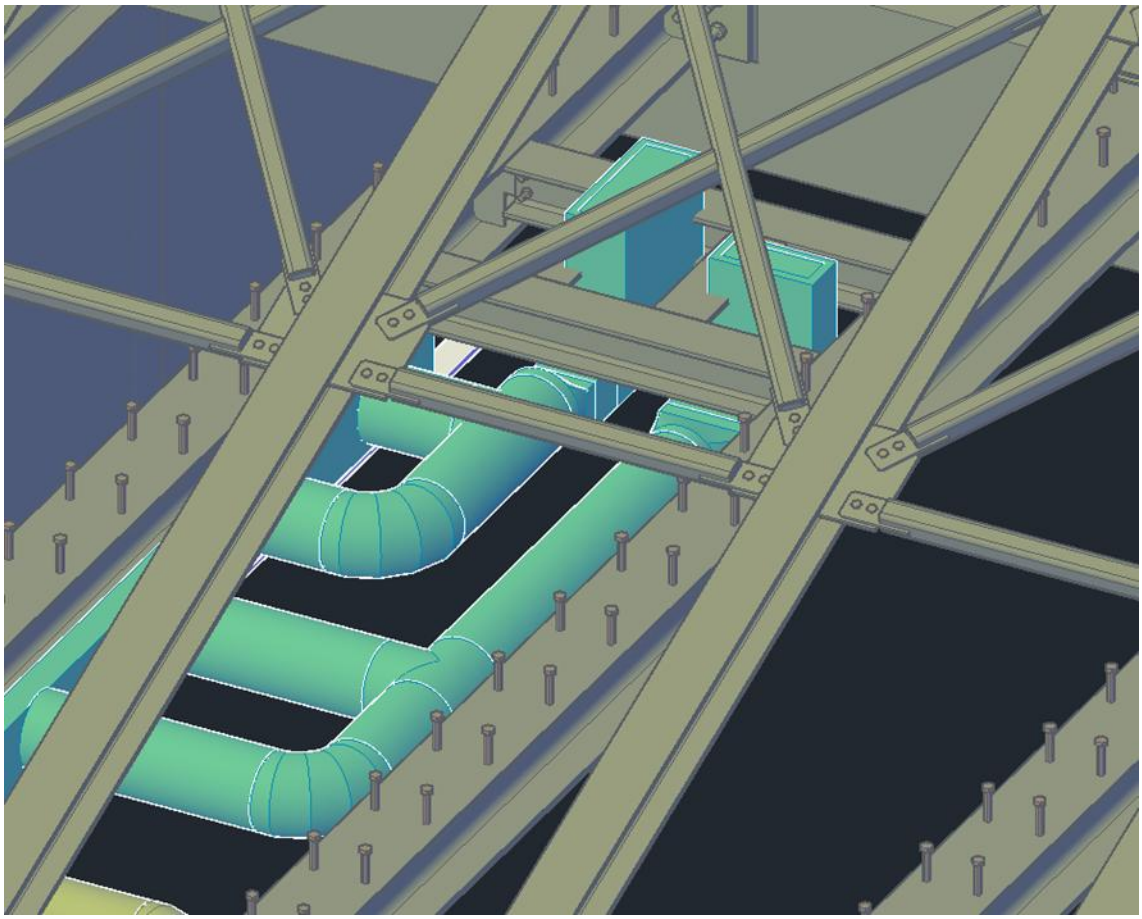


Figura 2.12 – Exemplo de conflito entre sistema aeráulico e arquitetura

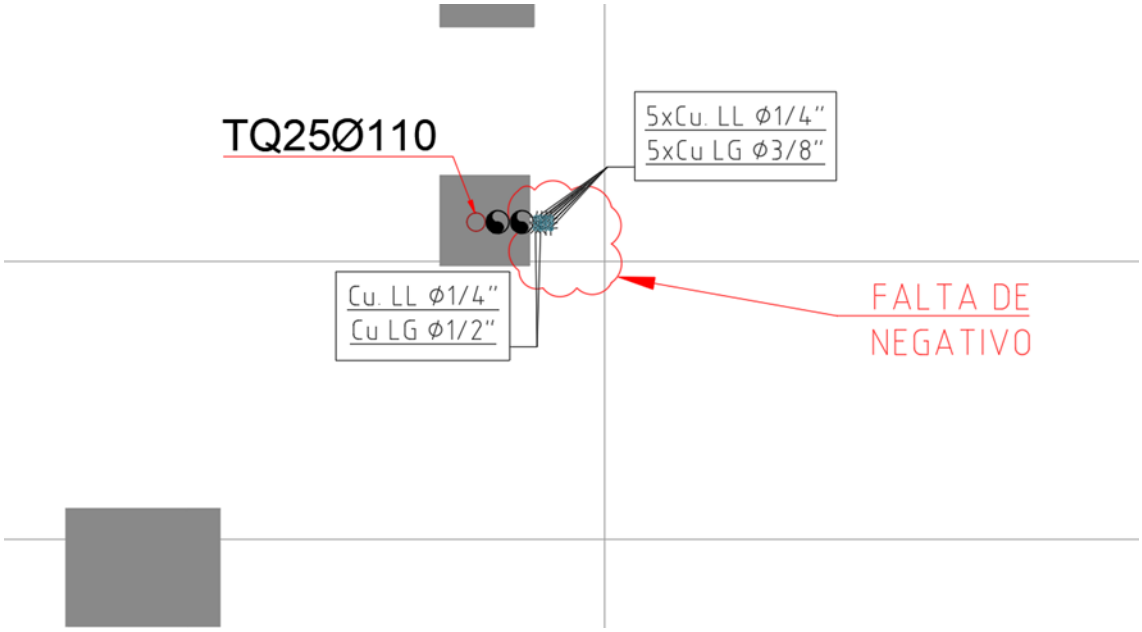


Figura 2.13 – Exemplo de conflito entre especialidades e ausência de negativo

As preparações são maioritariamente aplicadas ao AVAC, rede de águas e esgotos, a todos os equipamentos, negativos e maciços. As preparações são desenvolvidas nos softwares AutoCAD MEP e Autodesk Revit, os quais, embora com alguns objetivos comuns, apresentam formas de trabalho distintas. Estes softwares acabam por substituir o desenho manual: o AutoCAD MEP é uma ferramenta dedicada ao desenho e modelação 2D e 3D e o Autodesk Revit é um software essencialmente 3D e focado em conciliar todas as especialidades num mesmo ficheiro, numa abordagem mais realista que promove a eficácia e colaboração, sendo os erros mais percetíveis com a colaboração de todas as especialidades, desde a arquitetura às redes de tubagens.

O resultado de cada preparação é enviado à fiscalização responsável para aprovação. Se não for possível a aprovação, implementam-se as correções necessárias e envia-se novamente para aprovação, à qual se segue a fase de execução da obra. Terminada a execução da obra, realiza-se o processo de telas finais, isto é, através de engenharia reversa, implementam-se as diferenças entre a execução e as preparações, representando-se assim o resultado da empreitada em planta conforme requisitado pelo cliente.

2.1.5 Direção de obra e compras

No decorrer de uma empreitada, é importante reconhecer o papel essencial da direção de obra e do departamento de compras. Em particular, o diretor de obra tem de estar bastante familiarizado com os conceitos de:

- Pedidos de esclarecimento
- Mapas comparativos
- Fichas de aprovação de material
- Encomendas

Os pedidos de esclarecimento, tal como o nome indica, servem para esclarecer qualquer informação em falta ou mal especificada no projeto, com vista a não induzir o operador em erro e para que não haja prejuízos desnecessários. No Anexo 3, é possível visualizar um exemplo de pedido de esclarecimento. A fiscalização responsável envia, simultaneamente, pareceres dos pedidos de esclarecimento, sendo os mesmos registados com o intuito de transpor os pedidos de esclarecimento enviados, pareceres da fiscalização em causa e devidas datas dos acontecimentos.

Os mapas comparativos servem para que, posteriormente à adjudicação de uma obra, haja um catálogo de propostas atualizadas da empreitada, sendo neste mapa feita a comparação do custo dos equipamentos em fase de orçamento com o custo de propostas atualizadas.

A ficha de aprovação de material (FAM, Figura 2.14) é elaborada depois da otimização completa do sistema com base nos mapas comparativos e após deliberação sobre a opção mais vantajosa para a empresa. Estas fichas têm como objetivo principal obter uma aprovação por parte da fiscalização, seja do equipamento de caderno de encargos ou da alternativa ao que consta em projeto. No documento enviado para aprovação dos equipamentos consta a marca, modelo, catálogo, ficha técnica e certificado de conformidade. Caso seja proposta uma alternativa, adiciona-se uma comparação entre o equipamento de projeto e o equipamento proposto. Após aprovação da FAM, o equipamento em questão poderá ser encomendado. Estas encomendas são efetuadas pelo departamento de compras diretamente ao fornecedor.

FICHA DE APROVAÇÃO DE MATERIAIS E EQUIPAMENTOS

Nº: AVAC.015.00

Obra: Nº Obra: 002210

Dono de Obra:

IDENTIFICAÇÃO DO MATERIAL/EQUIPAMENTO PREVISTO

Identificação Material/Equip. Expansão Direta - VRV
Localização na Obra: Rede de Expansão Direta
Ref.ª da Lista de Preços: IV.2. Fontes Térmicas
Ref.ª Cond. Técn. Específicas:
Marca/Modelo de projecto:

IDENTIFICAÇÃO DO MATERIAL/EQUIPAMENTO PROPOSTO

Marca / Modelo: Systemair
Características: Unidades Exteiores - SYSVRF2 HP R / SYSVRF2 HR R
Unidades Interiores - SYSVRF2 DUCT / SYSVRF2 FLOOR / SYSVRF2 WALL

Anexos:

Declaração de Desempenho (DOP)	☐	Certificado Empresa	☐
Declaração Conformidade CE	☒	Registo Empresa na ANPC (SCI)	☐
Certificado de Produto	☒	Termo de Responsabilidade/Garantia*	☐
Cert. Controlo Produção Fábrica	☐	Ficha / Especificações Técnicas	☒
Doc. Homologação, Classificação, etc.	☐	Catálogos / Manuais	☐
Estudo de Composição	☐	Amostra	☐
Relatório de Ensaios	☐	Ficha Dados Segurança	☐
Aprovação Técnica Europeia (ETA)	☐	Esquemas Frigorigeneo	☒

Página 1

Material / Equipamento sujeito a Marcação CE:
No site do IPQ (http://www1.ipq.pt/pt/assuntoseuropeus/marcacaoce/Pages/MarcacaoCE.aspx) estão publicadas as Listas das "Diretivas Nova Abordagem" e as listas de normas harmonizadas dos produtos sujeitos a Marcação CE. No caso do "Regulamento dos Produtos de Construção" o fabricante deve emitir uma declaração de desempenho de acordo com anexo III desse regulamento (UE/305/2011).

*A Entregar após conclusão dos trabalhos

Indicar caso existam alterações às características mínimas de projecto e justificar pedido de alteração:

Ass. e data

Figura 2.14 - Exemplo de ficha de aprovação de material (FAM)

Outras tarefas também cobertas pelo departamento de compras incluem as encomendas dos materiais necessários em obra. Estes materiais são requisitados ao departamento e, assim que recebida a informação, são enviados pedidos de cotação aos fornecedores. Após análise das respostas recebidas, é feita a seleção do fornecedor e, assim que aprovada a encomenda, o material é adquirido e entregue em obra.

3 CASO DE ESTUDO: ANÁLISE PORMENORIZADA DOS SISTEMAS AVAC DO EDIFÍCIO TUMO COIMBRA

O edifício TUMO Coimbra, edifício histórico selecionado como caso de estudo, foi o primeiro centro de tecnologias criativas em Portugal e representa a transformação de um espaço histórico num edifício para fins educativos. Instalado no antigo edifício dos Correios, Telégrafos e Telefones (CTT) de Coimbra, o centro TUMO abriu portas em outubro de 2023, oferecendo um programa educativo inovador e gratuito para adolescentes dos 12 aos 18 anos, com oportunidade de formação nas áreas de animação, cinema, criação de jogos, design gráfico, música, modelação 3D, programação e robótica.

Figura 3.1 - Fachada do edifício TUMO Coimbra

O TUMO é, também, um programa educativo de origem arménia que se foca no cruzamento entre tecnologia, criatividade e atualidade. O modelo pedagógico é centrado no aluno, permitindo que cada aluno explore e desenvolva competências de forma autónoma, com o apoio de mentores especializados.

Antes de se tornar num espaço de aprendizagem e criatividade, o edifício serviu durante décadas como a principal estação de correios, telégrafos e telefones da cidade, um ponto essencial para as comunicações em Coimbra. A sua reabilitação para acolher o centro TUMO preservou a arquitetura original, mas modernizou o interior, dotando-o de tecnologia de ponta para servir as necessidades do seu novo público, numa área total de cerca de 1300 m^2, distribuídos por vários espaços de aprendizagem. O edifício apresenta uma localização central na cidade, situando-se no Largo do Mercado Municipal D. Pedro V, a leste do centro histórico da Baixa de Coimbra (Figura 3.2).

Figura 3.2 - Localização do edifício TUMO Coimbra

3.1 Enquadramento legal

Nesta secção descreve-se a regulamentação portuguesa relativamente ao desempenho energético dos edifícios, incluindo os casos de património histórico, em consonância com as diretivas europeias respetivas, nomeadamente a *Energy Performance of Buildings Directive* (EPBD), com o principal objetivo de suportar a elaboração e aprovação do projeto, focando-se na certificação energética dos edifícios, desempenho energético, necessidades térmicas da envolvente, caudais de ar necessários por espaço, manutenção dos sistemas e elementos imprescindíveis aos ensaios.

Decreto-Lei n.º 78/2006, de 4 de abril

Este diploma constituiu o marco inicial da regulamentação da eficiência energética em Portugal, ao criar o Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade

do Ar Interior nos Edifícios (SCE). Este sistema foi o primeiro instrumento a introduzir uma metodologia estruturada de avaliação do desempenho energético dos edifícios, abrangendo tanto as construções novas como as existentes. Um dos seus objetivos principais foi promover a utilização racional de energia e melhorar o conforto térmico e a qualidade do ar interior, fatores diretamente relacionados com o bem-estar dos ocupantes e com a eficiência dos sistemas técnicos. Este decreto introduziu também a figura do Perito Qualificado (PQ), profissional acreditado pela ADENE (Agência para a Energia), cuja função é avaliar o desempenho energético de um edifício, propor medidas de melhoria e emitir o certificado energético correspondente. O PQ deve dominar as metodologias de cálculo de necessidades energéticas e garantir que os edifícios cumpram os requisitos mínimos legais (Decreto-Lei n.º 78/2006, de 4 de abril).

Decreto-Lei n.º 118/2013, de 20 de agosto

O Decreto-Lei n.º 118/2013 veio reformular e consolidar o sistema anterior, transpondo para o ordenamento jurídico português a Diretiva 2010/31/UE, que estabelece o quadro europeu relativo ao desempenho energético dos edifícios (EPBD). Este diploma aprovou o novo Sistema de Certificação Energética dos Edifícios (SCE), o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH) e o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços (RECS).

O SCE passou a ser o mecanismo oficial de verificação e classificação da eficiência energética, determinando a obrigatoriedade de certificação para edifícios novos, reabilitados ou colocados no mercado para venda ou arrendamento. O certificado energético, é documento técnico emitido por um Perito Qualificado, que avalia o edifício através de indicadores normalizados e atribui uma classe energética (de "A+" a "F"), refletindo o nível de eficiência global. Inclui também recomendações de melhoria que podem reduzir o consumo e melhorar o conforto térmico e ambiental. Os regulamentos REH e RECS detalham as metodologias de cálculo e os parâmetros de referência (coeficientes de transmissão térmica, fatores solares, ventilação mínima, etc.), definindo ainda as exigências para sistemas técnicos de climatização e iluminação. Esta abordagem tornou o desempenho energético um elemento estruturante na conceção de edifícios e obrigou a maior rigor no dimensionamento e manutenção dos sistemas AVAC (Decreto-Lei n.º 118/2013, de 20 de agosto).

Decreto-Lei n.º 194/2015, de 14 de setembro

Este diploma veio alterar o Decreto-Lei n.º 118/2013, introduzindo ajustamentos específicos aos regulamentos REH e RECS, com o objetivo de harmonizar o regime nacional com as orientações europeias e responder às necessidades de reabilitação urbana. Com esta alteração, passou a ser possível flexibilizar os requisitos mínimos de eficiência energética em edifícios existentes ou de valor patrimonial, quando o cumprimento integral das normas se revelasse tecnicamente inviável ou desadequado.

O diploma reforçou também a importância da avaliação técnica justificada, a apresentar por um Perito Qualificado, quando se pretenda aplicar medidas alternativas que garantam um equilíbrio entre eficiência energética e conservação arquitetónica. Este enquadramento foi especialmente relevante para edifícios históricos ou protegidos, onde soluções convencionais de isolamento ou substituição de caixilharias podem comprometer o valor patrimonial. Assim, promoveu-se uma visão integrada entre reabilitação sustentável e preservação cultural, permitindo o uso de técnicas adaptadas (como isolamento interior ou sistemas reversíveis de climatização) (Decreto-Lei n.º 194/2015, de 14 de setembro).

Decreto-Lei n.º 251/2015, de 25 de novembro

Procedendo à terceira alteração ao Decreto-Lei n.º 118/2013, este diploma reforçou a integração da Diretiva 2010/31/UE e consolidou o SCE. Clarificou as funções e responsabilidades da ADENE enquanto entidade gestora do sistema e dos Peritos Qualificados, especialmente quanto ao controlo de qualidade dos certificados e à validação dos relatórios técnicos. O diploma aprofundou ainda os procedimentos de inspeção e manutenção de sistemas AVAC, tornando a manutenção preventiva uma obrigação fundamental. Esta manutenção tem como objetivo garantir que os sistemas mantêm a eficiência e o conforto previstos em projeto, evitando falhas e perdas energéticas. O plano de manutenção, exigido por este e outros diplomas complementares, deve incluir a descrição dos equipamentos, periodicidade de inspeções, medições de desempenho e registos técnicos, assegurando que o edifício opera dentro dos parâmetros de eficiência e segurança regulamentares (Decreto-Lei n.º 251/2015, de 25 de novembro).

Portarias n.º 349-A/2013 a 353-A/2013 e Despachos n.º 15793-C/2013 a 15793-L/2013

Estes atos normativos complementam tecnicamente o Decreto-Lei n.º 118/2013 e definem a estrutura operacional do SCE. As Portarias n.º 349-A a 349-D/2013 determinam as competências da ADENE, os critérios de qualificação dos Peritos Qualificados, os tipos de edifícios abrangidos, os modelos de certificados e as taxas de registo (Portaria n.º 349-A/2013, de 29 de novembro). Já a Portaria n.º 353-A/2013 estabelece os valores mínimos de caudal de ar novo e os limiares de poluentes interiores, promovendo uma ventilação adequada e a qualidade do ar interior, fator crítico em edifícios de comércio e serviços (Portaria n.º 353-A/2013, de 4 de dezembro). Os Despachos n.º 15793-C a 15793-L/2013 detalham aspetos técnicos de cálculo, ensaio e manutenção:

- definem metodologias para determinar as necessidades nominais anuais de energia primária;
- publicam os parâmetros climáticos e térmicos de zonamento;
- estabelecem as regras de ensaio e receção das instalações;

- e especificam os elementos mínimos a incluir nos planos de manutenção.

Estas disposições visam assegurar que os edifícios e sistemas técnicos, nomeadamente AVAC, mantêm o seu desempenho energético, conforto térmico e qualidade ambiental interior de forma sustentada ao longo do tempo (Despacho n.º 15793-L/2013, de 3 de dezembro).

Decreto-Lei n.º 101-D/2020, de 7 de dezembro

A transposição da Diretiva (UE) 2018/844 foi concretizada através do Decreto-Lei n.º 101-D/2020, que modernizou o regime jurídico do desempenho energético dos edifícios. Entre as principais inovações está a introdução do conceito de edifício com necessidades quase nulas de energia (NZEB – Nearly Zero Energy Building), caracterizado pela elevada eficiência e recurso a fontes de energia renovável. O Decreto-Lei n.º 101-D/2020 (2020) impôs a inspeção obrigatória e regular dos sistemas técnicos, incluindo AVAC, AQS e iluminação, e reforçou as responsabilidades dos técnicos qualificados, agrupados em quatro categorias:

- Perito Qualificado (PQ) - responsável pela certificação e emissão de certificados energéticos;

- Técnico de Gestão de Energia (TGE) - responsável pela monitorização e otimização do consumo energético;

- Técnico de Inspeção de Sistemas (TIS) - encarregado das inspeções periódicas de AVAC e sistemas de aquecimento;

- Técnico Responsável pela Manutenção (TRM) - garante a manutenção preventiva e corretiva dos sistemas técnicos.

Os procedimentos de certificação energética foram aprofundados, exigindo cálculos detalhados de necessidades anuais de energia útil e primária, a análise da envolvente térmica e a formulação de recomendações economicamente viáveis (Decreto-Lei n.º 101-D/2020, de 7 de dezembro).

Diretiva (UE) 2024/1275, de 24 de abril (EPBD 2024)

A nova diretiva europeia, atualmente em fase de transposição, estabelece metas mais ambiciosas para a descarbonização do edificado europeu e para a eliminação progressiva de sistemas baseados em combustíveis fósseis. Prevê a redução gradual do consumo energético médio dos edifícios, a obrigatoriedade de instalação de sistemas inteligentes de monitorização, a utilização reforçada de fontes renováveis e a reabilitação energética sistemática do edificado existente. Portugal, ao transpor esta diretiva, deverá rever o Decreto-Lei n.º 101-D/2020, criando requisitos de desempenho e expandindo a definição de edifício de "emissões zero" (Diretiva (UE) 2024/1275).

Decreto-Lei n.º 309/2009, de 23 de outubro

O Decreto-Lei n.º 309/2009 estabelece o Regime Jurídico de Proteção e Valorização do Património Cultural Imóvel, transpondo para o ordenamento nacional um conjunto de princípios europeus relativos à conservação e reabilitação do património edificado. Este tem como principal objetivo assegurar que os bens imóveis como monumentos nacionais, edifícios de interesse público ou municipal, e conjuntos urbanos de valor patrimonial, classificados ou em vias de classificação, sejam protegidos de intervenções que comprometam a sua integridade, autenticidade e valor histórico-artístico.

As operações de reabilitação, remodelação, beneficiação, restauro ou alteração de uso estão sujeitas a um processo de avaliação técnica e patrimonial. O promotor deve demonstrar que a intervenção proposta respeita os valores formais e construtivos do edifício e que não altera a sua tipologia arquitetónica, materiais originais ou sistema estrutural. Quando se trata de integrar medidas de eficiência energética, estas devem obedecer ao princípio da compatibilização entre desempenho energético e conservação patrimonial. Assim, o diploma reconhece a necessidade de flexibilização técnica das exigências regulamentares, permitindo soluções alternativas sempre que o cumprimento integral das normas térmicas ou energéticas possa distorcer o valor cultural do edifício. O responsável técnico deve elaborar um relatório técnico que demonstre que as medidas propostas asseguram um equilíbrio entre preservação, conforto térmico e racionalidade energética.

O conceito de reversibilidade da intervenção significa que as soluções adotadas devem poder ser removidas ou substituídas no futuro, sem afetar a estrutura ou o valor histórico do edifício. Esta abordagem privilegia técnicas minimamente intrusivas, que respeitam a morfologia e os materiais originais, como, por exemplo, a instalação de sistemas AVAC reversíveis de pequena dimensão integrados discretamente nos espaços. Além disso, o Decreto-Lei n.º 309/2009 promove a articulação entre a Direção-Geral do Património Cultural, os municípios e outras entidades públicas, assegurando que as decisões sobre licenciamento, certificação energética e segurança estrutural são tomadas de forma coordenada. Este enquadramento permite compatibilizar a legislação de eficiência energética, como por exemplo o SCE, com os princípios de proteção patrimonial, evitando que a sustentabilidade ambiental se faça à custa da perda de autenticidade cultural (Decreto-Lei n.º 309/2009, de 23 de outubro).

Em resumo, o Decreto-Lei n.º 309/2009 estabelece os fundamentos jurídicos e técnicos que garantem uma reabilitação sustentável e patrimonialmente sensível, reconhecendo que a eficiência energética e a conservação do património são objetivos complementares, desde que suportados por projetos tecnicamente justificados, reversíveis e devidamente autorizados.

3.2 Análise de arquitetura

Nesta secção apresenta-se a composição de cada um dos pisos do edifício TUMO Coimbra. O piso 1 é constituído por salas para realização de workshops, sala de reunião, sala de staff, estúdio de gravação, *lounge*, instalações sanitárias, *kitchenette* e receção (Figura 3.3). Na Figura 3.4 ilustra-se o piso 2, com salas de *workshop*, sala dedicada a robótica, *lounge*, instalações sanitárias e *server room*. Por fim, a Figura 3.5 representa a cobertura do edifício, com salas de formação e um terraço.

Figura 3.3 - Arquitetura do Piso 1 do edifício TUMO Coimbra

Figura 3.4 - Arquitetura do Piso 2 do edifício TUMO Coimbra

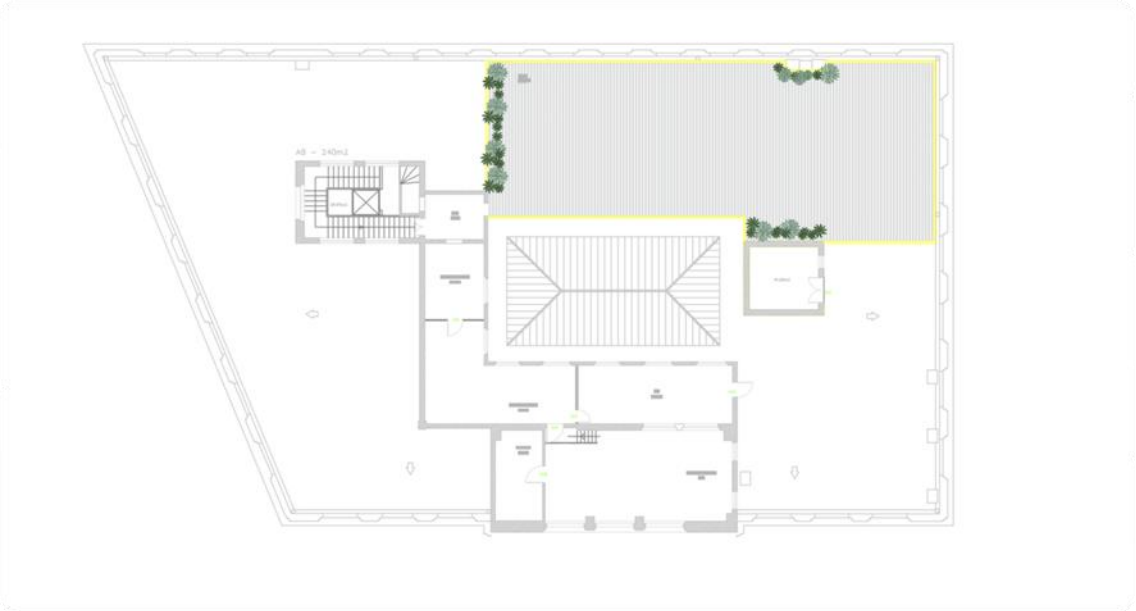


Figura 3.5 - Arquitetura da cobertura do edifício TUMO Coimbra

3.3 Análise das especialidades adjudicadas

Na empreitada em questão, as especialidades de AVAC, redes de águas e esgotos e iluminação foram adjudicadas à empresa Climacer. Cumpridas as formalidades iniciais após adjudicação, foram realizadas as preparações com base no projeto existente. No projeto inicial, a climatização do piso 1 é garantida por dois

sistemas VRV e por dois recuperadores de calor com o intuito de garantir a renovação e climatização do ar. A Figura 3.6 ilustra a rede aeráulica do piso 1, já atualizada com as alterações havidas na execução, ou seja, tela final. A Figura 3.7 representa a tela final do piso 1, com implementação do sistema VRV e respetiva rede de fluido frigorígeno.

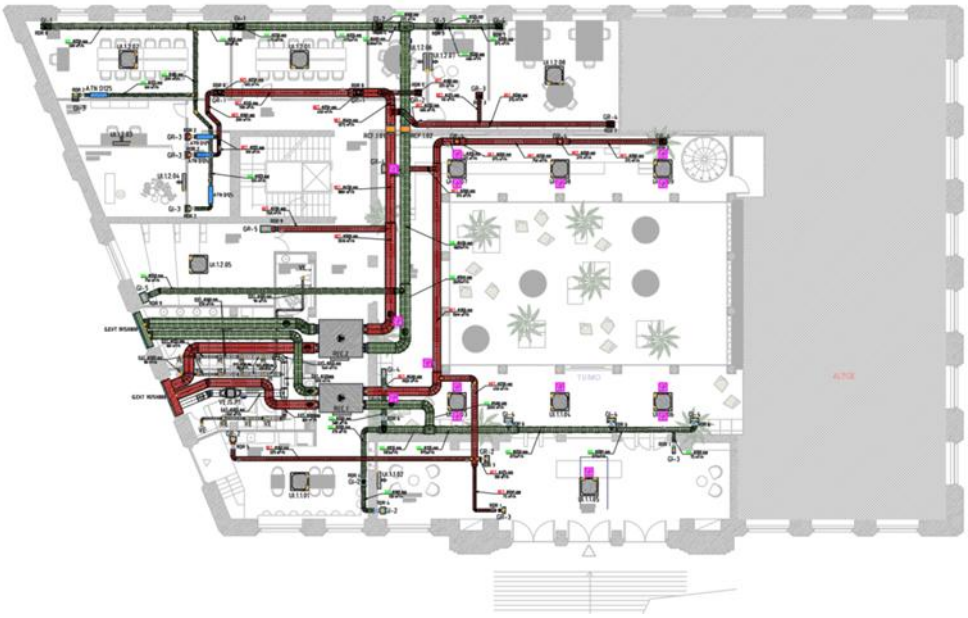


Figura 3.6 - Rede aeráulica do piso 1

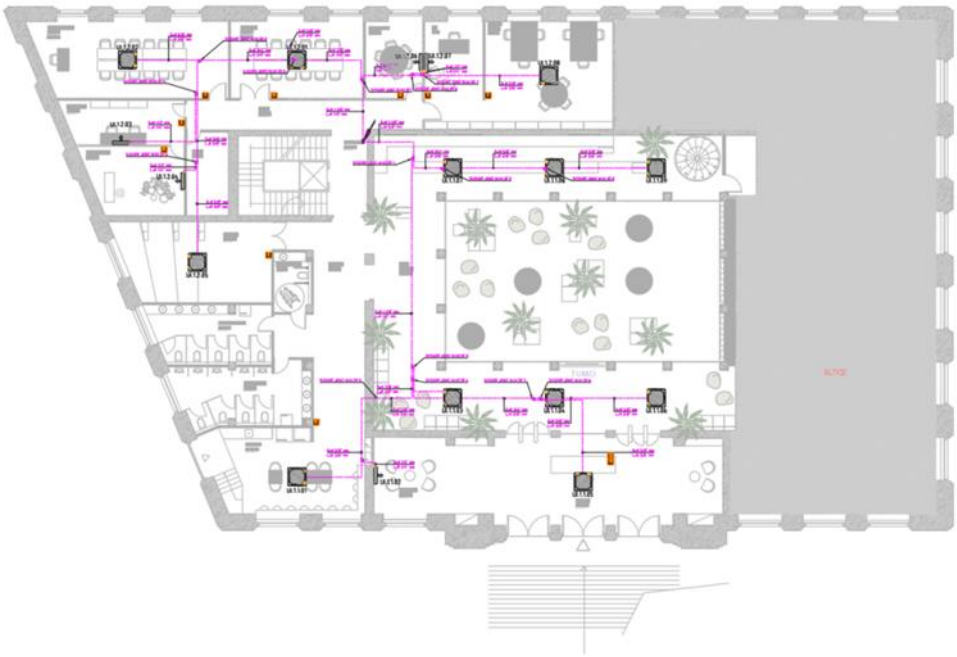


Figura 3.7 - Rede de fluido frigorígeno do piso 1

No segundo piso, optou-se apenas por um sistema VRV devido à diminuição do número de espaços a climatizar, decrescendo também o número de recuperadores de calor a instalar para apenas uma unidade. Apesar desta redução, foi feita uma pré-instalação de tubagem de cobre para expansão futura do sistema de climatização. No *server room*, devido aos requisitos dos equipamentos, foram aplicadas duas unidades do tipo mono-split, para compensar as cargas térmicas elevadas e trabalharem em alternância em casos de manutenção ou falha (Figuras 3.8 e 3.9).

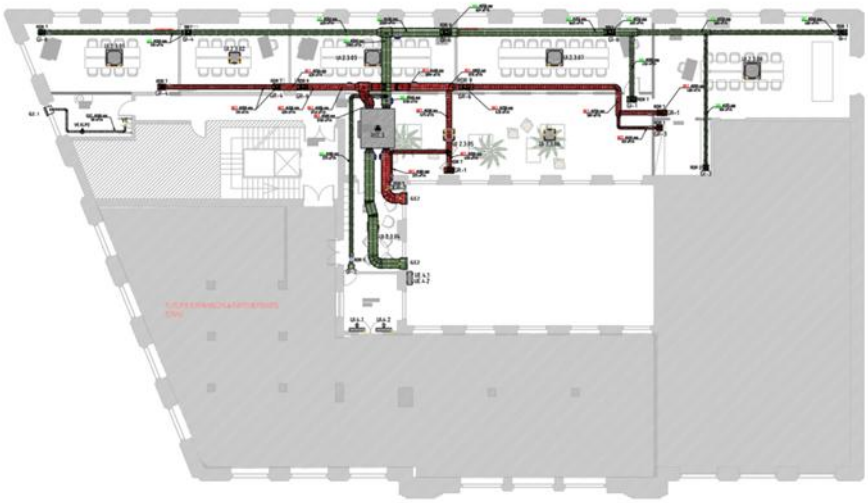


Figura 3.8 - Rede aeráulica do piso 2

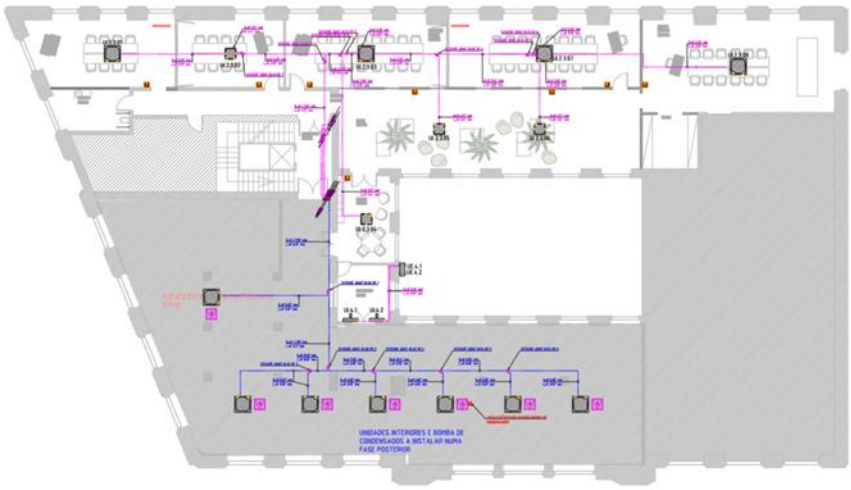


Figura 3.9 - Rede de fluido frigorígeno do piso 2

Na cobertura, ficaram situadas as unidades exteriores, que exigiram a execução de um maciço (Figura 3.10). Este maciço foi projetado prevendo uma possível expansão futura do sistema de climatização do piso 2, como referido anteriormente.

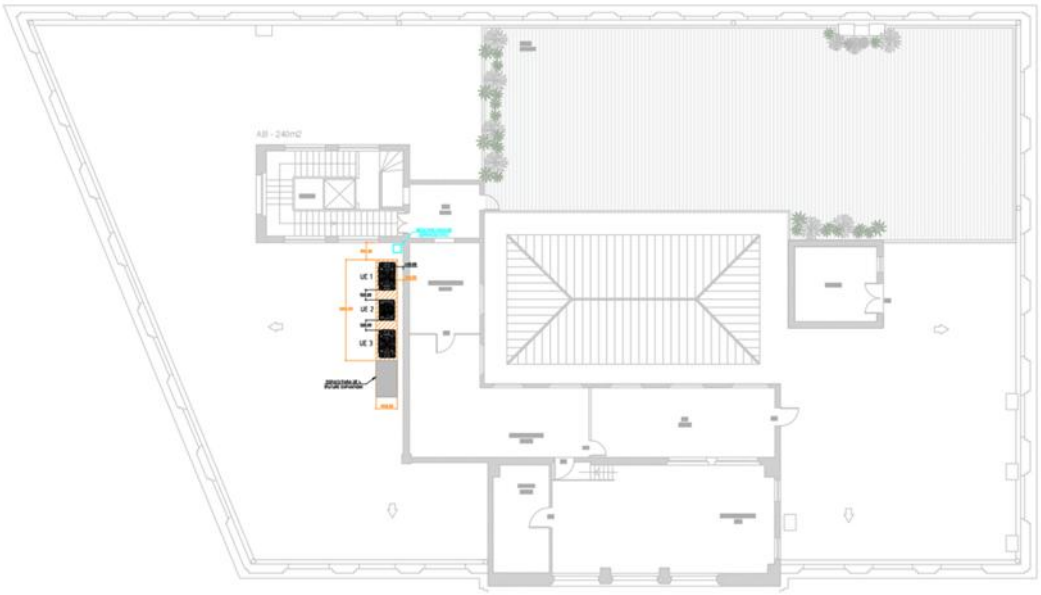


Figura 3.10 - Unidades exteriores instaladas na cobertura

3.4 Análise pormenorizada da difusão e climatização

Nesta secção são apresentadas as instalações adjudicadas na empreitada do edifício TUMO Coimbra, bem como o princípio de funcionamento de cada sistema.

3.4.1 Climatização

3.4.1.1 Sistema mono-split

Tal como outros sistemas de climatização, o sistema mono-split baseia-se num ciclo de funcionamento com quatro componentes principais: compressor, condensador, evaporador e dispositivo de expansão. O compressor responsabiliza-se por comprimir e garantir a circulação do fluido frigorígeno em todo o sistema. Um dos permutadores de calor está incluído na unidade exterior, com o objetivo de trocar calor com o meio ambiente. O outro permutador de calor encontra-se na unidade interior, realizando as trocas de calor diretamente com o ambiente a climatizar. Por fim, o dispositivo de expansão controla a entrada de líquido no evaporador do

sistema. Na Figura 3.11, é possível observar a unidade exterior (à esquerda) e a unidade interior do tipo mural (à direita) do sistema mono-split.

Figura 3.11 - Sistema mono-split (Daikin, 2026)

O tipo de unidade interior pode mudar consoante a preferência do cliente, pois existe uma variedade ampla de alternativas. Existem quatro tipos de unidades interiores: unidades murais, unidade de chão, unidade de condutas e unidade de cassete. Esta tipologia de unidades é comum a todos os sistemas de climatização e, embora possuam todas a mesma função, há alguns pontos que as diferenciam.

A unidade do tipo mural é das mais utilizadas na reabilitação de edifícios, pois é de fácil instalação e não exige teto falso. Além disso, possui um funcionamento silencioso, sendo adequada para residências. Este tipo de unidade foi instalado no *server room* da empreitada, que recorre a dois sistemas mono-split.

Figura 3.12 - Unidade interior do tipo mural (Daikin, 2026)

As unidades de chão/teto têm duas possibilidades de instalação, consoante a preferência do comprador em termos de estética, levando a uma decisão entre o tipo mural ou de chão, não necessitando também de teto falso (Figura 3.13).

Figura 3.13 - Unidade interior de chão (Daikin, 2026)

Também as unidades de cassete não implicam, obrigatoriamente, a execução de teto falso. Na empreitada em questão, foram aplicadas unidades do tipo cassete sem teto falso, uma opção estética que começou a surgir recentemente em várias instalações. Na Figura 3.14, é possível observar o aspeto de uma unidade do tipo cassete e a atenuação do seu impacto visual através da pintura das superfícies envolventes.

Figura 3.14 - Unidade interior do tipo cassete

Finalmente, as unidades de conduta são instaladas por norma dentro de tetos falsos, com aplicação de difusores ou grelhas nos terminais de retorno (entrada de ar) e de insuflação (saída de ar), conforme representado na Figura 3.15. Todos estes sistemas de climatização são controlados pelo utilizador do espaço por meio, habitualmente, de um controlo remoto instalado na parede da divisão (Figura 3.16).

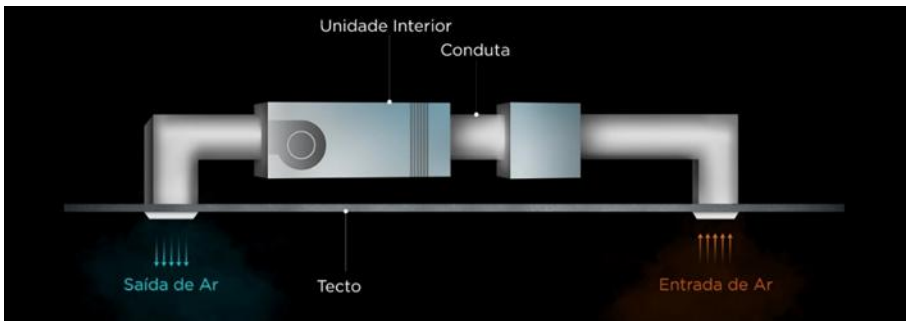


Figura 3.15 - Unidade interior de condutas

Figura 3.16 - Controlo remoto de unidades interiores (Daikin, 2026)

Em alternativa, mais recentemente tornou-se possível controlar estes sistemas através de aplicações de telemóvel. A título de exemplo, na aplicação Onecta, da marca Daikin, é possível controlar o sistema, monitorizar o consumo de energia, a qualidade do ar exterior e os níveis de pólen, entre outros (Figura 3.17).

Figura 3.17 - Aplicação Onecta da marca Daikin (Daikin, 2026)

Em resumo, o sistema mono-split é um sistema com grande presença no mercado devido às características apropriadas para o setor residencial, ser energeticamente eficaz, de custo acessível e baixo nível de ruído de funcionamento (Bhandari e Fumo, 2022).

3.4.1.2 Sistema VRV

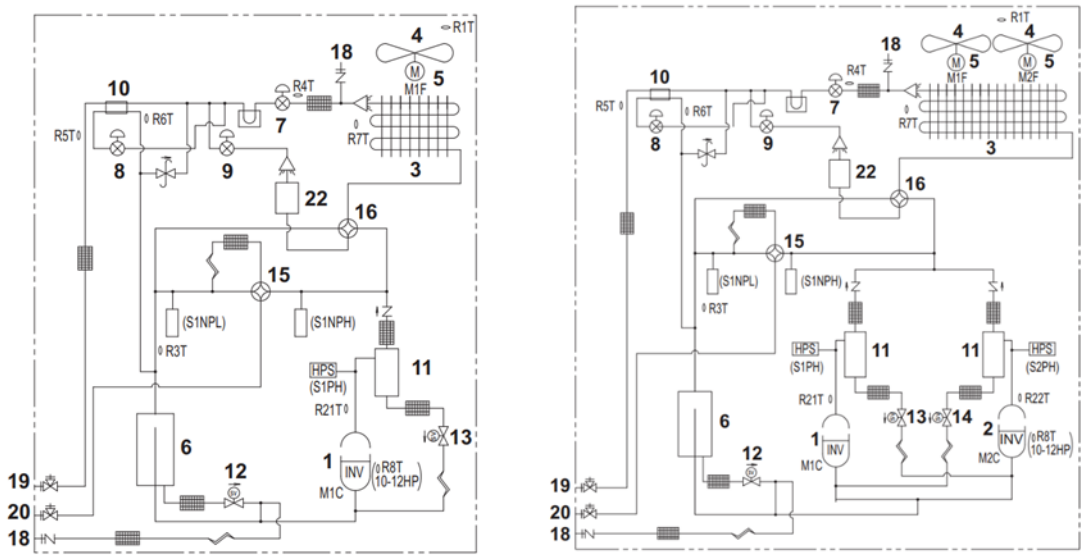
Em comparação com o sistema mono-split, o sistema VRV é mais complexo. A sua complexidade varia com a dimensão da instalação, sendo o sistema adequado a instalações de média e grande dimensão. Uma das vantagens é a dimensão da área a climatizar e a quantidade de unidades interiores capazes de funcionar em simultâneo. Este tipo de sistema é composto por três equipamentos essenciais ao seu bom funcionamento:

- Unidade exterior;
- Unidades interiores;
- Forquilhas.

O funcionamento da unidade exterior é, neste caso, mais complexo do que no sistema mono-split. A unidade exterior possui mais componentes principais, conforme se pode observar na Figura 3.18 e na descrição seguinte:

- 1, 2 - Compressor inverter: equipado com um variador de frequência eletrónico que, ao contrário dos sistemas convencionais de velocidade fixa (*on/off*), ajusta o caudal mássico de fluido frigorígeno de forma contínua, permitindo atender à carga térmica real do edifício. O compressor "2" é aplicado em sistemas de maior capacidade, como se pode observar na diferença entre os esquemas apresentados na Figura 3.18. Além disso, é aplicado um sensor de alta pressão para monitorizar a pressão de descarga do compressor (HPS na Figura 3.18);
- 3 – O permutador de calor vai atuar com a ajuda do ventilador "4", acionado pelo motor "5". O número de ventiladores aumenta com a necessidade de maior dissipação de calor, por norma em sistemas de maior capacidade;
- 6 – O acumulador atua de modo que só fluido frigorígeno no estado gasoso passe para jusante, por questões de proteção do compressor;
- 7 – A válvula de expansão principal, de acordo com os pulsos transmitidos à placa eletrónica, vai controlar o fluxo de fluido frigorígeno;
- 8 – Válvula de expansão ligada ao permutador de calor "10"; este conjunto é usado quando acionado o modo de degelo, para que este demore menos tempo;
- 9 - Válvula de expansão ligada ao reservatório de armazenamento, utilizada para arrefecer o condensador quando as temperaturas de descarga do compressor atingem um valor elevado;
- 11 – Separador de óleo, para retorno do óleo ao compressor;
- 12, 13, 14 – Válvulas solenoides, com o objetivo de interromper ou permitir a passagem de fluido no sistema;
- 15, 16 – Válvulas de quatro vias, que servem para alternar o sistema entre modo de arrefecimento e modo de aquecimento, de modo que o fluxo de fluido frigorígeno seja encaminhado no sentido correto e atue da maneira desejada pelo utilizador.

O funcionamento da unidade interior é equivalente ao explicado anteriormente para o sistema mono-split.



1 Compressor (M1C)
2 Compressor (M2C)
3 Permutador de calor
4 Ventoinha
5 Motor da ventoinha (M1F, M2F)
6 Acumulador
7 Válvula de expansão, principal (Y1E)
8 Válvula de expansão, permutador de calor de subrefrigeração (Y2E)
9 Válvula de expansão, reservatório de armazenamento (Y3E)
10 Permutador de calor de subrefrigeração
11 Separador de óleo
12 Válvula solenóide, acumulador de óleo (Y2S)
13 Válvula solenóide, óleo1 (Y3S)
14 Válvula solenóide, óleo2 (Y4S)
15 Válvula de 4 vias, principal (Y1S)
16 Válvula de 4 vias, secundária (Y5S)
17 Caixa de distribuição
18 Orifício de saída, carga de refrigerante
19 Válvula de paragem, líquido
20 Válvula de paragem, gás
21 Válvula de paragem, gás de equalização
22 Elemento de acumulação de calor

Figura 3.18 - Esquema de princípio de uma unidade exterior de um sistema VRV: configuração com um compressor (à esquerda), configuração com dois compressores (à direita) e respetiva legenda numérica dos componentes (Daikin, 2013)

As forquilhas ou derivações servem para interligar os diferentes sistemas, seguindo o esquema de princípio disponibilizado pelo fornecedor (Figura 3.19).

Figura 3.19 - Forquilha de ligação de sistema VRV

O esquema de princípio, por norma, fica sujeito a alterações consoante as preparações e, posteriormente, é enviado e submetido a aprovação do fornecedor, de modo que o funcionamento do sistema não seja prejudicado pelas distâncias, quer entre forquilhas e unidades interiores, quer entre forquilhas e unidades exteriores. Na Figura 3.20, encontra-se representado o esquema VRV do piso 1 da empreitada em questão, com representação das unidades interiores, unidade exterior e distâncias de troços. No Anexo 4, são disponibilizados os esquemas de princípio do sistema VRV da empreitada.

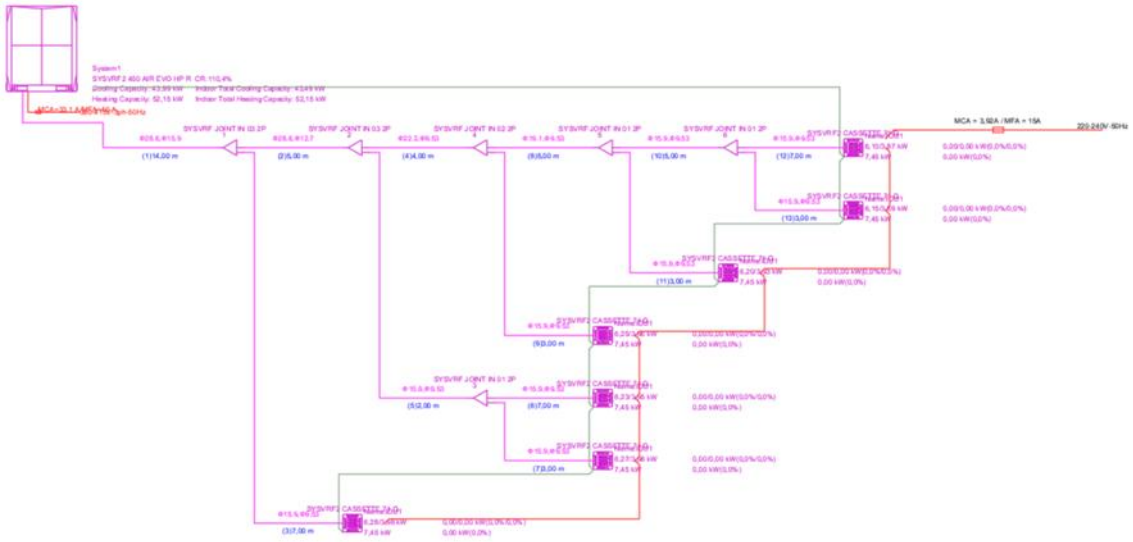


Figura 3.20 - Esquema de princípio do sistema VRV do piso 1 do edifício Tumo Coimbra

A existência de unidades exteriores na cobertura do edifício acarreta sempre a consideração de maciços, isto é, para equipamentos com peso relevante, é sempre necessário realizar a preparação dos maciços necessários ao projeto de estruturas, sendo necessário representar a área a ocupar e a massa resultante dos equipamentos exteriores, para que o seu funcionamento não transmita vibrações e/ou propagação de ruídos (Figura 3.21).

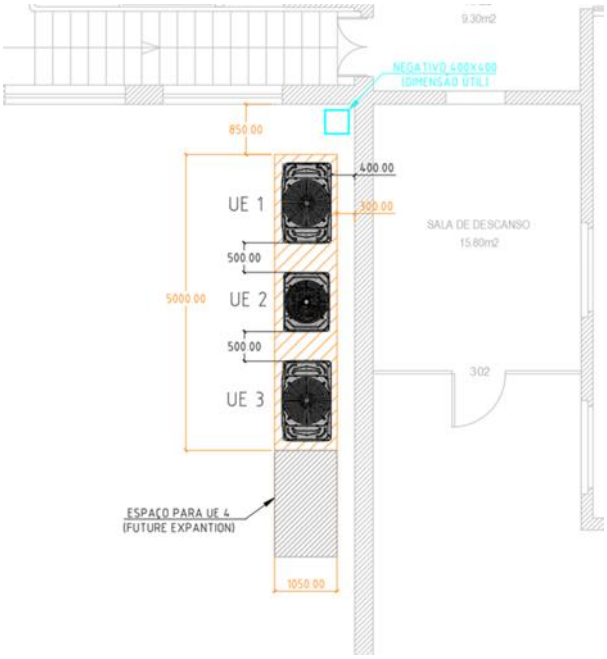


Figura 3.21 - Preparação de maciços da cobertura

A passagem da tubagem de cobre entre pisos é feita por meio de *courettes*, isto é, zonas ocas verticais para passagem de instalações mecânicas. No caso em apreço, a tubagem de cobre vai-se subdividindo ao longo dos pisos, sendo a implantação das forquilhas, quer nos pisos, quer na cobertura, realizada já fora das *courettes*.

3.4.2 Distribuição de ar

Habitualmente, a distribuição de ar é feita através de condutas rígidas de secção retangular ou circular, de aço galvanizado ou de aço inoxidável nos casos das hottes e, em casos de final de curso, é habitual a aplicação de condutas flexíveis de alumínio. A aplicação de condutas rígidas acarreta um ensaio de estanquidade, sendo os respetivos resultados enviados pelo fornecedor das condutas à direção de obra da Climacer. Os ensaios são realizados com pressões positivas e negativas e os resultados representados conforme Figura 3.22.

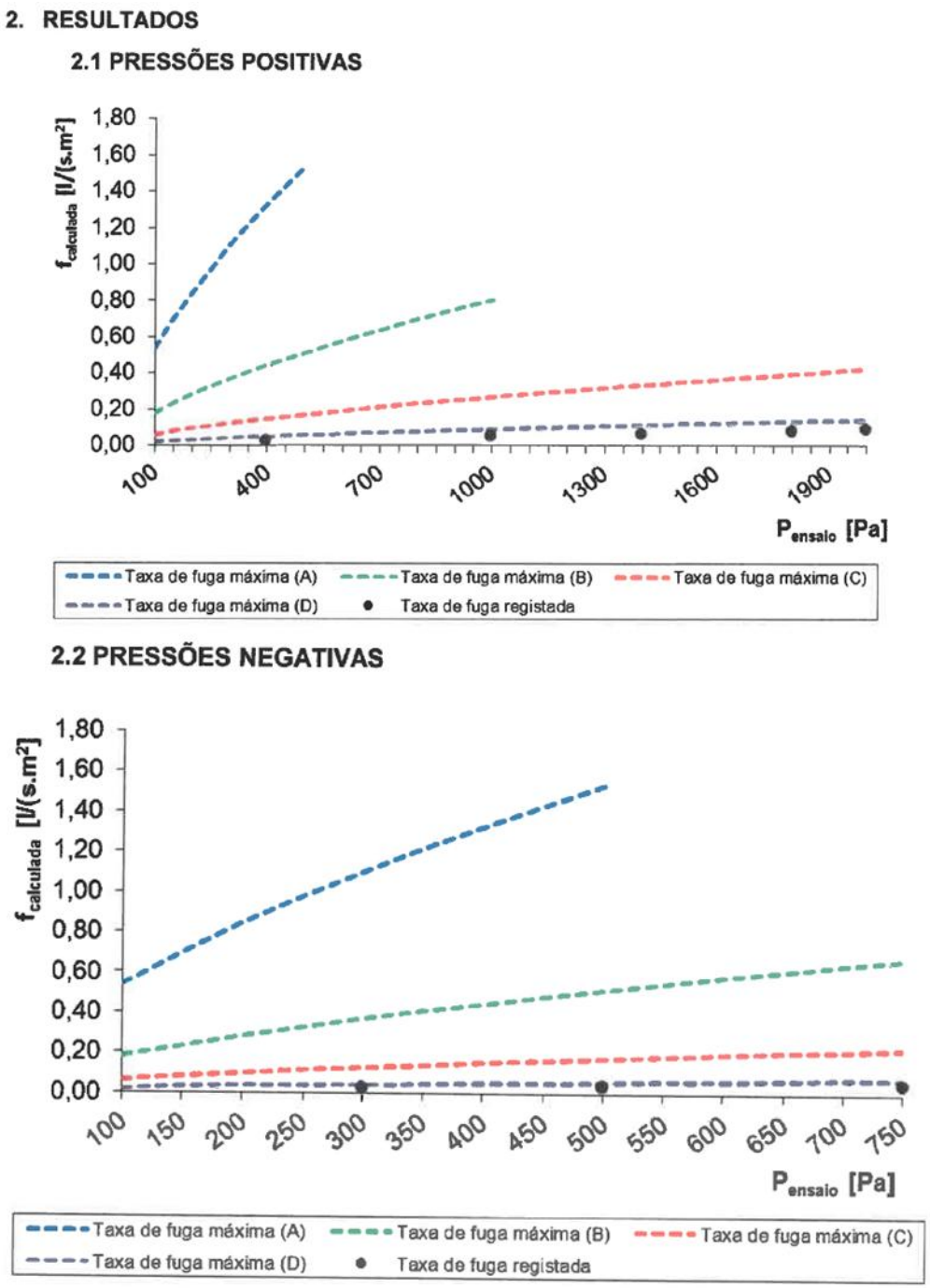


Figura 3.22 - Resultados de um ensaio de estanqueidade a uma conduta

Além das condutas rígidas, as condutas têxteis (Figura 3.23) têm ganho penetração no mercado devido ao preço acessível comparativamente às condutas rígidas. As condutas têxteis são especializadas em difusão de baixa velocidade e, devido ao seu princípio construtivo, são, por norma, laváveis e suportadas por estruturas leves.

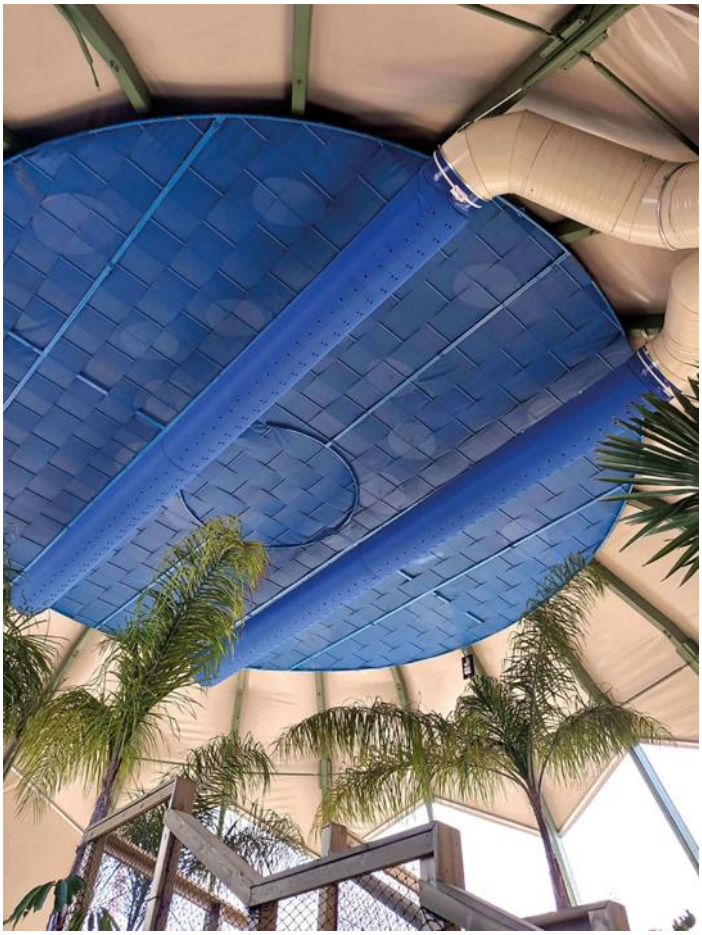


Figura 3.23 – Exemplo de aplicação de condutas têxteis (France Air, 2026)

Na empresa Climacer são usados diferentes tipos de isolamento térmico e de proteções para conservar a energia térmica e para proteger em caso de incêndio. O isolamento térmico mais frequentemente utilizado é constituído por lã mineral revestida de alumínio, sendo aplicado exteriormente à conduta rígida (Figura 3.24). Este isolamento é escolhido maioritariamente pela facilidade e rapidez de instalação, por ser inodoro e pela manutenção das propriedades durante a vida útil.

Figura 3.24 - Condutas com aplicação de isolamento térmico

Quando se pretende um melhor desempenho acústico, são usadas condutas em painel compacto de lã de vidro fonoabsorvente (condutas Climaver®, Figura 3.25), constituídas em lã de vidro, com a superfície exterior de alumínio e papel kraft e no interior revestidas de tecido neto de vidro reforçado. Estas condutas permitem cortes fáceis e rigorosos recorrendo ao método do troço reto e conseguem manter uma elevada estanquidade, ou seja, podem substituir condutas rígidas para a distribuição de ar climatizado.

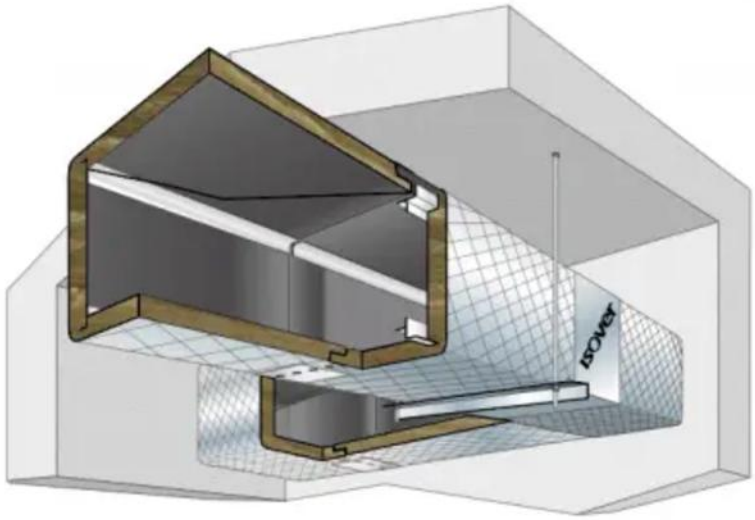


Figura 3.25 - Conduta de painel compacto fonoabsorvente Climaver® (Saint-Gobain, 2026)

Para a proteção passiva corta-fogo, por norma é utilizado o material Dossolan 3000, constituído por fibras minerais, ligantes hidráulicos (cimento ou similares) e adjuvantes específicos para melhorar algumas propriedades como adesividade e estabilidade, entre outras. Este material é projetado sobre a superfície exterior da conduta rígida, para que a conduta se mantenha estável mesmo sob altas temperaturas, normalmente, em sistemas de desenfumagem (Figura 3.26).

Figura 3.26 - Condutas com aplicação de proteção corta-fogo pelo exterior

Nas condutas rígidas é obrigatória a aplicação de portas de visita (Figura 3.27). Estas portas permitem o acesso ao interior da conduta, para inspeção, limpeza e reparação de equipamentos, por exemplo, registos de caudal e registos corta-fogo, entre outros, em que seja necessária manutenção constante. As portas não comprometem a estanquidade da rede aeráulica, pois são providas habitualmente de junta de estanquidade interior.

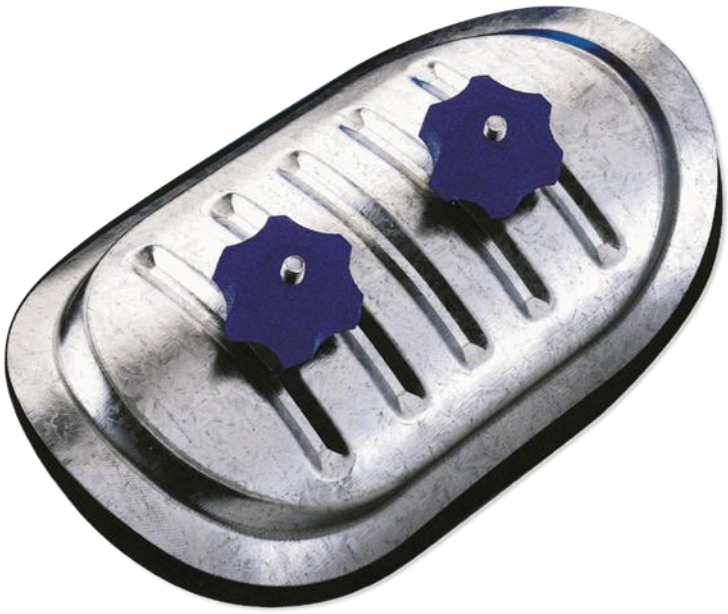


Figura 3.27 - Exemplo de porta de visita (France Air, 2026)

As unidades terminais de insuflação e extração de ar podem ter várias geometrias, porém o mais usual e usado na empreitada em questão são as grelhas e os difusores lineares, tanto para insuflação como para retorno de ar. Quer as grelhas, quer os difusores lineares necessitam de plenos para realizar a transição entre a conduta e a grelha/difusor, permitindo simultaneamente a fixação da conduta e da grelha/difusor (Figura 3.28).

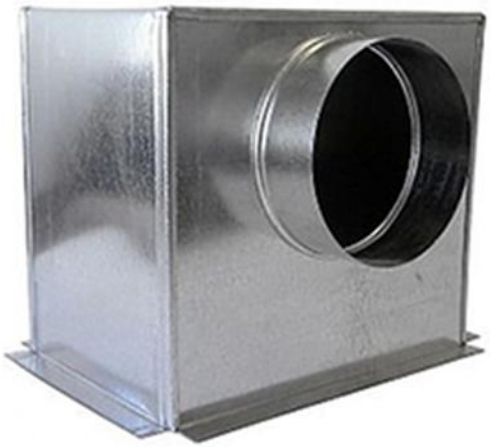


Figura 3.28 - Exemplo de pleno com gola (Autentibrisa, 2026)

Existem diferentes tipos de grelhas, de deflexão simples com alhetas horizontais (Figura 3.29), de deflexão simples com alhetas verticais (Figura 3.30) e de deflexão dupla (Figura 3.31). As grelhas de deflexão simples têm uma abrangência menor que as grelhas de deflexão dupla, pela quantidade e orientação limitada das alhetas.

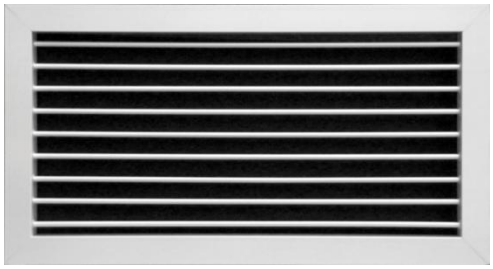


Figura 3.29 - Grelha de simples deflexão com alhetas horizontais (Koolair, 2026)

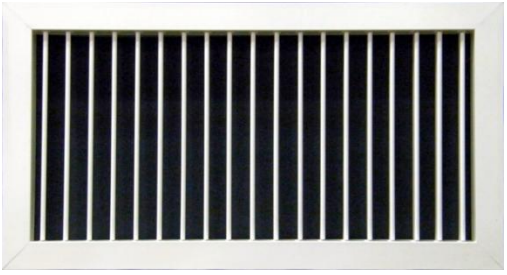


Figura 3.30 - Grelha de simples deflexão com alhetas verticais (Koolair, 2026)

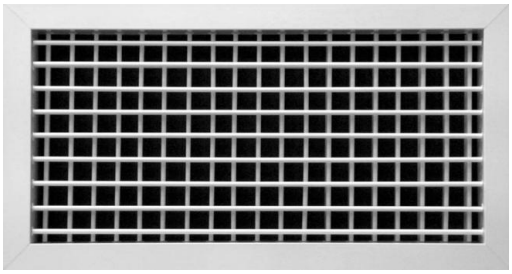


Figura 3.31 - Grelha de dupla deflexão (Koolair, 2026)

Os difusores lineares (Figura 3.32) também possuem variedade de escolha, pois podem apresentar número de vias e número de bocas variável. O número de bocas ou fendas é a quantidade de fendas por onde o ar é insuflado ou retornado e o número de vias refere-se à direção ou direções possíveis que o escoamento de ar pode tomar. Por norma, só existem difusores de uma ou duas vias: os difusores de uma via projetam o ar apenas numa direção; nos difusores de duas vias, o fluxo de ar pode ser direcionado em duas direções opostas, por exemplo para a esquerda e para a direita.

Figura 3.32 - Exemplo de difusor linear instalado

Para a extração de ar nas instalações sanitárias do edifício TUMO Coimbra foram aplicadas válvulas de extração, que funcionam apenas como admissão do ar a ser extraído, pois existe a jusante um ventilador para a extração ser realizada. Existem, no entanto, ventiladores de extração que realizam simultaneamente a admissão de uma boca de extração e a extração de ar. Por norma, estes ventiladores são aplicados em instalações domésticas, necessitando de uma conduta para cada unidade. Os dois tipos de abordagem na extração estão representados nas Figuras 3.33 e 3.34.

Figura 3.33 - Ventilador com função simultânea de boca de extração (Systemair, 2026)

Figura 3.34 - Boca de extração (Systemair, 2026)

Para o controlo dos caudais na distribuição de ar na empreitada em questão, foram aplicados registos de caudal nos terminais e nas divisões de troços, os quais, através de ajuste, são capazes de atingir os caudais pretendidos (Figura 3.35).

Figura 3.35 - Registo de caudal (Systemair, 2026)

A drenagem dos condensados das unidades interiores é feita por tubo PVC, sendo requerida uma pendente para garantir o escoamento sem necessidade de bomba de condensados. Por norma, é assegurada uma inclinação de 1% para que, por ação da gravidade, os condensados sejam retirados. Quando se instala uma bomba de condensados, o efeito é semelhante, pois a bomba possui um reservatório onde se acumulam os condensados e, quando a boia interior atingir o topo do reservatório,

a bomba é ativada até escoar os condensados por completo. A Figura 3.36 ilustra uma bomba de condensados.

Figura 3.36 - Bomba de condensados (Leroy Merlin, 2026)

3.4.3 Tratamento e controlo da qualidade do ar

3.4.3.1 Ventiladores

Quer no piso 1, quer no piso 2, é usado um ventilador para cada instalação sanitária, sendo que o do piso 2 é de menor potência, por se tratar de um menor volume de ar a ser extraído. Ambos os ventiladores têm um princípio de funcionamento semelhante, sendo ventiladores centrífugos, isto é, o fluxo de ar move-se perpendicularmente ao eixo do ventilador e das suas pás por força centrífuga. O ventilador do piso 1 encontra-se representado na Figura 3.37.

Figura 3.37 - Ventilador de extração (Systemair, 2026)

3.4.3.2 Recuperadores de Calor

O sistema de ventilação mecânica controlada (VMC) do edifício funciona com duplo fluxo de ar (fluxo de ar de extração e fluxo de ar de insuflação, contrários e

independentes entre si) e com recuperação de calor. A recuperação é feita do ar de extração para o ar de insuflação através de um permutador de calor. Antes do ar novo ser insuflado no interior do edifício, passa por um filtro, neste caso um filtro ISO ePM1 50%. A Figura 3.38 ilustra o ponto de funcionamento do sistema e o respetivo desempenho, com uma recuperação de calor do ar extraído para o ar insuflado superior a 80%.

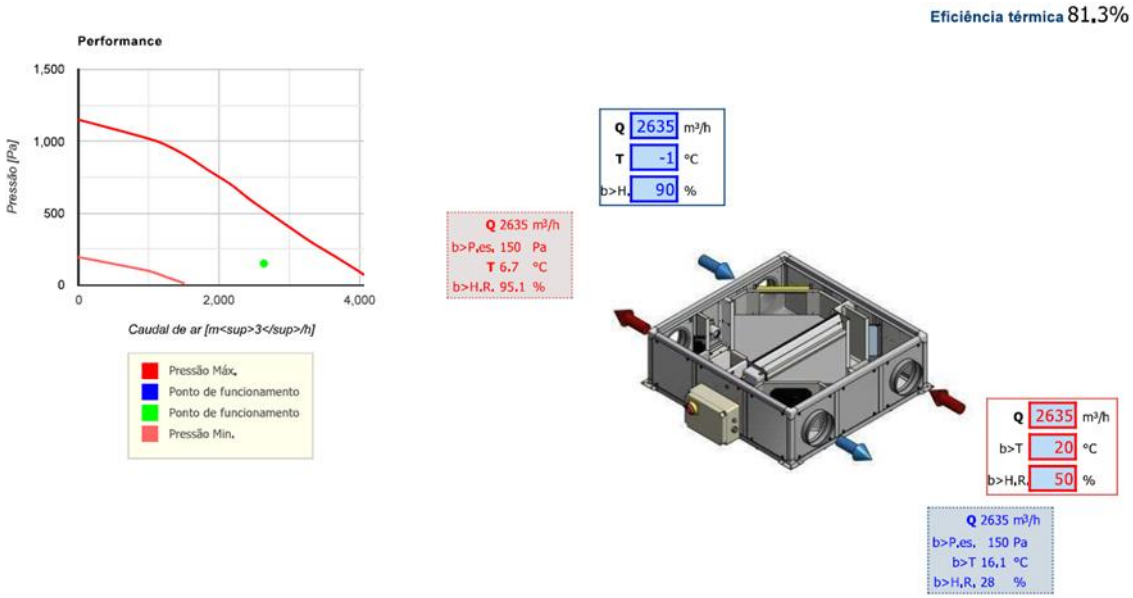


Figura 3.38 - Estudo do desempenho do recuperador de calor (Systemair, 2026)

4 METODOLOGIAS E APLICAÇÃO PRÁTICA DO *RETROFIT* EM EDIFÍCIOS HISTÓRICOS

O termo *retrofit* refere-se ao processo de modernização ou adaptação de sistemas existentes, no caso em apreço sistemas AVAC, com o objetivo de melhorar a sua eficiência, prolongar a vida útil e alinhar os equipamentos às normas e exigências contemporâneas. No contexto dos sistemas AVAC, o *retrofit* é uma estratégia fundamental para otimizar o desempenho energético de edifícios já construídos, reduzir custos de manutenção e melhorar o conforto térmico e a qualidade do ar interior, para assim atender às exigências contemporâneas.

Com o intuito de estabelecer uma base teórica sólida para o *retrofit* de sistemas AVAC em edifícios, incluindo edifícios históricos, a secção 4.1 começa por enquadrar os desafios destas intervenções. Inicialmente, explora-se a necessidade de uma abordagem integrada que compatibilize eficiência energética e preservação patrimonial, suportada pelo trabalho de Buda *et al.* (2021), bem como as estratégias para a integração não invasiva de sistemas de ventilação mecânica, com base no estudo de Rieser *et al.* (2021). De seguida, abordam-se metodologias avançadas de avaliação de processos de *retrofit*, com recurso a técnicas de otimização e metodologias de apoio à decisão multicritério, tendo por base a análise efetuada por D'Agostino *et al.* (2025) a um auditório universitário. As dimensões de eficiência energética (e emissões de CO_2 associadas), conforto térmico e custos de investimento avaliadas por D'Agostino *et al.* (2025) num processo de *retrofit* são complementares às limitações e aos requisitos de compatibilização que têm de ser respeitados nas intervenções em edifícios históricos.

Por fim, na secção 4.2, explora-se a aplicação prática de *retrofit*, detalhando a experiência em contexto real e as diferenças e desafios observados entre o processo de *retrofit* em edifícios históricos e a conceção e instalação de sistemas AVAC em edifícios modernos.

4.1 Metodologias de *Retrofit*

4.1.1 Eficiência energética e preservação patrimonial

A investigação de Buda *et al.* (2021) aborda a complexidade da reabilitação energética de edifícios históricos, focando-se na necessidade de compatibilizar a melhoria do desempenho energético com a preservação do património edificado. Os autores destacam que, face às atuais exigências de descarbonização, as intervenções nestes edifícios são essenciais, não podendo, contudo, comprometer o seu valor cultural e arquitetónico.

Para dar resposta a este desafio, é proposta uma abordagem integrada (*whole building approach*) que ultrapassa a otimização energética isolada, ao considerar o edifício

como um sistema interativo, onde as variáveis calor, humidade e ar não funcionam de forma isolada. A título de exemplo, a aplicação de isolamento térmico pelo interior para poupar energia altera a difusão de vapor da parede original, podendo gerar condensações intersticiais e a degradação estrutural dos materiais históricos. Evita-se, assim, que intervenções focadas estritamente na redução do consumo energético provoquem a degradação do património. A metodologia adotada procura estabelecer um equilíbrio entre a redução do consumo de energia, a garantia de conforto interior para os ocupantes e a manutenção das propriedades físicas e visuais da estrutura existente.

O estudo de Buda *et al.* (2021) salienta a importância de aplicar as normas europeias, nomeadamente a norma EN 16883:2017, que atua como um guia estruturado para o procedimento de avaliação e seleção de medidas de melhoria, em conjugação com ferramentas de apoio à decisão multicritério (MCDM). Os autores destacam a necessidade de realizar diagnósticos técnicos aos materiais construtivos existentes e ao comportamento térmico da envolvente, bem como simulações antes de qualquer intervenção física. Este nível de detalhe no projeto garante a implementação de soluções de mínimo impacto, privilegiando sistemas reversíveis e que não agravem o risco de degradação dos materiais originais.

Por fim, o estudo demonstra que o sucesso destas intervenções depende inteiramente da colaboração interdisciplinar entre as equipas de engenharia, arquitetura e especialistas na conservação do património, desde a fase inicial de projeto. Conclui-se, também, que é possível alcançar poupanças energéticas e níveis de conforto adequados, desde que os sistemas técnicos sejam dimensionados e adaptados especificamente às condicionantes de cada edifício.

4.1.2 Ventilação e Qualidade do Ar

A investigação de Rieser *et al.* (2021) centra-se no desafio da integração de sistemas de ventilação mecânica com recuperação de calor em edifícios históricos. Os autores salientam que, na sequência de intervenções de reabilitação que aumentam a estanquidade térmica da envolvente, a ventilação natural torna-se frequentemente insuficiente. Torna-se, assim, imprescindível a adoção de soluções mecânicas controladas para garantir a qualidade do ar interior e prevenir anomalias construtivas associadas à humidade, sem que a instalação dos equipamentos comprometa o valor arquitetónico do edificado.

Para atender a esta necessidade, o estudo propõe uma abordagem de intervenção sistemática que orienta os projetistas na seleção e integração física destes sistemas. Esta metodologia destaca a importância de realizar um levantamento estrutural exaustivo do edifício, com o objetivo de identificar espaços ocos pré-existentes, como, por exemplo, chaminés desativadas, caixas de ar em pavimentos ou espaços entre pisos, que possam ser reaproveitados para a passagem oculta de condutas de ar, minimizando a necessidade de alterações estruturais invasivas e preservando a estética do edificado.

A investigação avalia diversas configurações tecnológicas, comparando a aplicabilidade de sistemas de ventilação centralizados, semicentralizados e descentralizados. Os autores evidenciam que, embora os sistemas centralizados ofereçam elevada eficiência e facilidade de manutenção por concentrarem os equipamentos numa única área técnica, as unidades descentralizadas ou os sistemas de transferência de ar ativa (*active overflow*), os quais utilizam pequenos ventiladores ocultos nas paredes para transferir o ar entre compartimentos adjacentes e, assim, eliminar a necessidade de condutas de insuflação, apresentam frequentemente um menor impacto visual. Estas soluções descentralizadas revelam-se particularmente adequadas para compartimentos de elevado valor patrimonial, onde a passagem de tetos falsos ou redes de condutas é inviável.

Em suma, o estudo de Rieser *et al.* (2021) conclui que a integração bem-sucedida de sistemas AVAC em edifícios históricos exige uma estratégia de projeto à medida e demonstra que a implementação de ventilação mecânica não só contribui para a redução dos consumos energéticos, como atua como medida ativa de conservação do próprio edifício, ao regular os níveis de humidade relativa e prevenir a degradação dos materiais históricos a longo prazo.

4.1.3 Otimização e apoio à decisão no retrofit de um auditório universitário

Esta secção apresenta, de forma resumida, a metodologia aplicada por D'Agostino *et al.* (2025) no processo de *retrofit* de um auditório universitário. O estudo visou atender às exigências pós-SARS-CoV-2, relativamente à qualidade do ar e renovações necessárias, em conjunto com a redução dos consumos energéticos e respetivas emissões. Simultaneamente, procurou-se assegurar o conforto térmico e o controlo dos custos de investimento. O estudo desenvolvido exigiu a integração das seguintes abordagens:

- Modelação dinâmica e calibração;
- Simulação de cenários de *retrofit;*
- Otimização multiobjetivo (MOO);
- Tomada de decisão multicritério (MCDM).

4.1.3.1 Abordagem adotada

A abordagem adotada no processo de *retrofit* do auditório começa com a criação de um modelo calibrado de simulação energética, suportado por medições no local e por documentação técnica atualizada do edifício, nomeadamente projeto de arquitetura. O passo seguinte consistiu na definição de diferentes alternativas a adotar pelo potencial decisor, público ou privado, permitindo mais opções de escolha e criando um método mais abrangente e robusto.

D'Agostino *et al.* (2025) definiram quatro cenários, sendo estes avaliados do ponto de vista económico, de eficiência energética e de conforto térmico. As abordagens de otimização multiobjetivo (MOO) e tomada de decisão multicritério (MCDM) foram utilizadas para encontrar alternativas ótimas de intervenção e ordená-las considerando dois tipos de decisores, respetivamente do setor público e do setor privado. De entre as soluções obtidas através de otimização, identifica-se a alternativa ótima utilizando uma abordagem robusta de MCDM baseada em quatro métodos e abrangendo três indicadores-chave de desempenho a serem minimizados (key performance indicators, KPIs): emissões anuais de CO_2 (kg CO_2eq), períodos anuais de desconforto (horas/ano) e custos de investimento (€). A Figura 4.1 apresenta o fluxograma global do processo de otimização, tal como preconizado por D'Agostino *et al.* (2025):

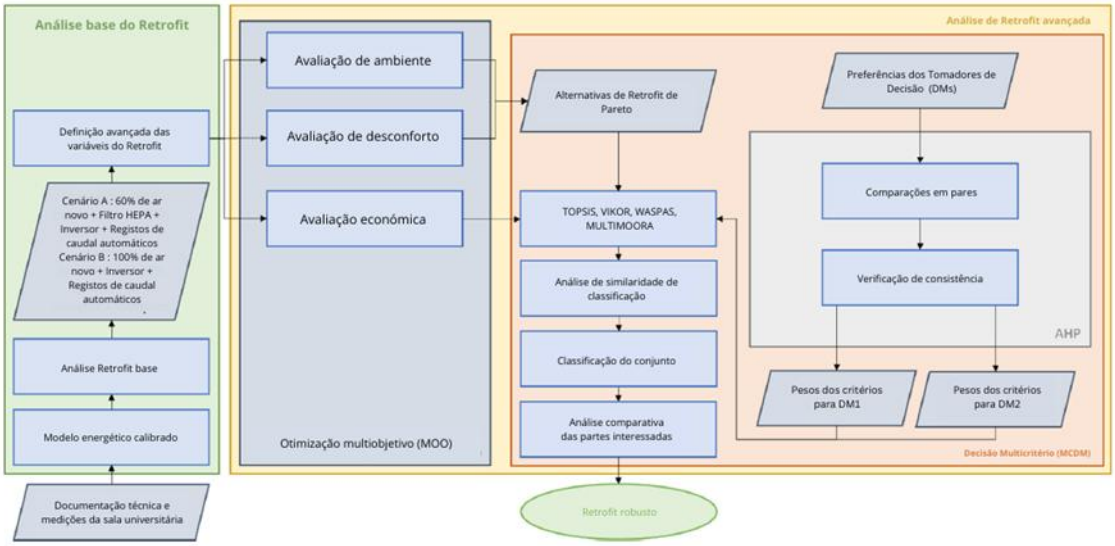


Figura 4.1 - Fluxograma do processo integral de *retrofit* (adaptado de D'Agostino *et al.*, 2025)

4.1.3.2 Modelação dinâmica e calibração

O processo de modelação dinâmica do edifício e a calibração do modelo são bastante relevantes na análise de *retrofit*, pois deles depende que os resultados da simulação representem de forma fiel o modelo real. A modelação dinâmica do edifício foi efetuada com os softwares de modelação DesignBuilder e de simulação energética EnergyPlus.

O *software* DesignBuilder serve como interface de construção do modelo geométrico, de forma similar ao Autocad MEP com a possibilidade de implementação de equipamentos no espaço da simulação, mas acrescenta as condições ambientais

envolventes e informações do edifício, nomeadamente dimensões, princípios construtivos, materiais e perfis de ocupação, entre outros.

Em conjugação com o DesignBuilder, o *software* EnergyPlus é uma ferramenta avançada e precisa de simulação dinâmica do desempenho energético de um edifício. Através desta ferramenta, é possível determinar balanços de energia, estimar temperaturas superficiais e condições de conforto interior e simular o funcionamento dos sistemas de AVAC e de iluminação. Com estas potencialidades, é possível simular diferentes cenários e calcular, de forma precisa, os resultados para estes cenários. A título de exemplo, a Figura 4.2 ilustra a estimativa de períodos anuais de desconforto no interior de um edifício, obtida por simulação em DesignBuilder (U.S. Department of Energy, 2025).

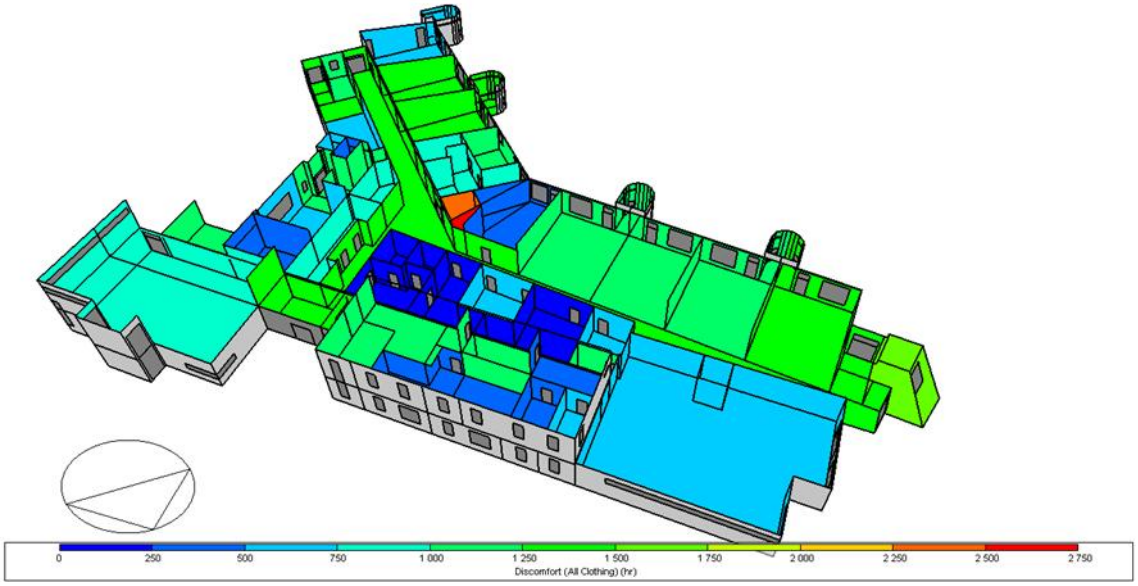


Figura 4.2 - Simulação em DesignBuilder dos períodos de desconforto num edifício (DesignBuilder, 2026)

A sequência de procedimentos na modelação é a seguinte:

1. Criação do modelo geométrico em DesignBuilder;
2. Geração do ficheiro de dados em DesignBuilder para transferir a informação do edifício para a ferramenta EnergyPlus;
3. Simulação energética em EnergyPlus, baseada no ficheiro de dados de entrada proveniente do software DesignBuilder;
4. Análise de resultados para os vários KPIs selecionados e exportação para DesignBuilder para representação visual e melhor perceção do impacto das diferentes alternativas;
5. Calibração e validação do modelo de simulação com base em dados reais recolhidos no local.

4.1.3.3 Definição dos diferentes cenários

Os cenários de *retrofit* propostos por D'Agostino *et al.* (2025) consideraram dois aspetos fundamentais: i) a adaptação a novos protocolos, tendo em conta o contexto pós-pandemia da COVID-19 e ii) o controlo dos gastos energéticos e redução das emissões de CO_2 respetivas. O primeiro aspeto é garantido pela utilização de filtros de alta eficiência ou pelo aumento do caudal de ar exterior. O segundo aspeto é garantido pela instalação de variadores de velocidade (tecnologia inverter) nos ventiladores da unidade de tratamento de ar, registos automáticos e sensores de CO_2 nos espaços ocupados, numa lógica de ventilação controlada por ocupação. Todos os cenários são comparados com o cenário base correspondente à configuração do sistema AVAC existente.

Para a definição de cenários de *retrofit*, D'Agostino *et al.* (2025) consideraram duas abordagens: i) manter o sistema em modo de recirculação parcial de ar, com 60% de ar novo (cenários A0 e A) e ii) comutar o sistema para 100% ar novo (cenários B e B0):

- Cenário A0: operação do sistema com 60% de ar recirculado e colocação de filtro HEPA;
- Cenário A: semelhante ao cenário A0 com a adição de variadores de velocidade nos ventiladores e registos de caudal automáticos;
- Cenário B0: operação do sistema com 100% de ar novo;
- Cenário B: semelhante ao cenário B0, com a adição de variadores de velocidade nos ventiladores e registos de caudal automáticos.

Com base nestes cenários de *retrofit*, foi possível analisar, de forma robusta, o impacto da implementação de estratégias de ventilação controlada por ocupação.

4.1.3.4 Otimização multiobjetivo (MOO)

D'Agostino *et al.* (2025) efetuaram uma otimização multiobjetivo para minimizar as emissões de CO_2eq (associadas a consumos de energia) e o período de desconforto. Esta otimização recorre a algoritmos genéticos para a seleção das soluções finais, sendo estas de compromisso entre conforto e energia, no sentido em que a redução dos períodos de desconforto implica maiores gastos energéticos e vice-versa. Os algoritmos genéticos utilizados funcionam de modo a promover uma gama variada de soluções, dividindo-se o processo da seguinte forma (Hassanat *et al.*, 2019):

- População inicial: o processo inicia-se com um conjunto de possíveis soluções para o problema de otimização;
- Avaliação (*Fitness*): a cada solução é atribuído um valor de aptidão que dita a sua sobrevivência, que determina a qualidade da solução face aos parâmetros definidos;

- Seleção: as soluções com maior valor de aptidão são selecionadas para o processo de reprodução;
- *Crossover*: partes de soluções distintas (progenitores) são combinadas para gerar novas soluções (descendentes);
- Mutações: alterações aleatórias são introduzidas às soluções para aumentar a diversidade;
- Critério de término: o processo repete-se ciclicamente até que uma condição de paragem seja atingida, como um número fixo de gerações ou a estabilização dos resultados, obtendo-se o melhor compromisso entre a redução de emissões de CO_2 e o conforto térmico.

4.1.3.5 Decisão multicritério (MCDM)

A metodologia multicritério de apoio à decisão é, tal como o nome indica, um processo de decisão que se baseia na ponderação de distintos critérios, habitualmente conflitantes e que, por isso, não podem ser simultaneamente otimizados. Em particular, no caso de D'Agostino *et al.* (2025), a otimização multiobjetivo permitiu encontrar um conjunto de soluções robustas de entre as quais os decisores podem selecionar a que lhes for mais conveniente com base nas suas prioridades. Efetivamente, de entre os três critérios em análise, a opção dependia do decisor: a redução de emissões de CO_2eq é um critério mais importante para os decisores públicos (*e.g.* decisores políticos), os períodos de desconforto térmico são um fator relevante para qualquer decisor e, por fim, o custo de investimento é um fator crucial para o decisor privado (*e.g.* proprietário do edifício).

Dado estar-se em presença de critérios conflitantes, recorreu-se a um processo de análise hierárquica, que se foca na atribuição de pesos a cada um dos critérios envolvidos (Villalba *et al.*, 2024). Ao realizar-se a análise hierárquica, foram aplicados quatro métodos multicritério para avaliar e ordenar as alternativas, numa abordagem robusta e inovadora proposta em D'Agostino *et al.* (2024). De acordo com a Figura 4.1, foram utilizados os seguintes métodos:

- TOPSIS (Técnica para Ordenar a Preferência por Similaridade para uma Solução Ideal): este método classifica as alternativas com base na distância entre a solução ideal e a solução menos favorável;
- VIKOR (Otimização de múltiplos critérios e solução de compromisso): Também classifica as alternativas, mas foca-se em selecionar a alternativa ideal mesmo considerando os *trade-offs*;
- WASPAS (Avaliação do Produto de Soma Agregada Ponderada): combina a soma ponderada e o produto ponderado para classificar as alternativas;

- MULTIMOORA (Otimização Multiobjetivo por Análise de Rácios com Forma Multiplicativa Completa): método que ajuda a comparar alternativas, ao usar uma combinação de análise de rácios e agregação multiplicativa para avaliar os *trade-offs* entre critérios, tendo em conta os rácios fornecidos.

Cada um dos métodos gerou uma ordenação/*ranking* das alternativas, com base nos pesos definidos pelos decisores para os três critérios em análise. Os rankings foram finalmente agregados num ranking final, com base em pesos ótimos atribuídos aos quatro métodos de MCDM considerados.

4.1.3.6 Resultados

Os resultados obtidos por D'Agostino *et al.* (2025) para os quatro cenários estabelecidos (A0, A, B0 e B) permitiram concluir que:

- Cenário A0 (60% de ar novo + Filtro HEPA): Aumento de 29% no consumo de gás e de 11% no consumo de eletricidade relativamente ao cenário existente; este aumento resultou do efeito combinado do maior caudal de ar exterior e das perdas de carga introduzidas pelo filtro HEPA;
- Cenário A (A0 + variadores de velocidade + registos de caudal automáticos + controlo por CO_2): Redução de 38% no consumo de gás e de 6% no consumo de eletricidade face à situação existente. A otimização da ventilação compensou o aumento de ar exterior, tornando-o o cenário energeticamente mais eficiente;
- Cenário B0 (100% de ar novo): Aumento de 59% no consumo de gás, sem alteração no consumo de eletricidade, em resultado da maior carga térmica provocada pelo ar exterior;
- Cenário B (B0 + variadores de velocidade + registos de caudal automáticos + controlo por CO_2): Redução de 30% no consumo de gás e de 5% no consumo de eletricidade face ao cenário existente. Embora melhor que o cenário B0, não superou o desempenho do cenário A.

Os resultados mostram que cenários que não incluem a implementação de estratégias de ventilação controlada por ocupação podem levar a um aumento do consumo de energia até 59%. Por outro lado, os cenários que incluem estratégias de ventilação baseadas na taxa de ocupação podem levar a reduções no consumo de energia até 38% relativamente ao cenário existente. Os resultados também confirmam reduções significativas de emissões de CO_2 sem comprometer os períodos de conforto térmico, demonstrando o potencial para poupanças substanciais de energia através de processos de retrofit adequadamente planeados. Pode concluir-se que a integração da simulação energética dinâmica com técnicas de otimização multiobjectivo e metodologias de decisão multicritério permite equilibrar objetivos

conflitantes dos decisores, auxiliando na identificação das intervenções de *retrofit* ideais.

4.2 Exemplo prático de *retrofit*

No projeto de requalificação do edifício TUMO Coimbra, o projetista realçou que foi tida em conta a periodicidade de utilização das infraestruturas de modo a minimizar os custos envolvidos. Daí a opção pela utilização de um sistema VRV, com um período de payback menor, e com características menos intrusivas na arquitetura, sendo que o principal objetivo era preservar. A adoção de recuperação de calor também está relacionada com o objetivo de redução dos custos envolvidos, numa abordagem de compromisso entre custo e conforto, conforme mencionado na secção 4.1.

A dissimulação dos sistemas AVAC foi alcançada recorrendo a uma estratégia de minimização da intervenção estrutural. Os elementos necessários (tubagens de cobre do sistema VRV e condutas) apenas exigiram o atravessamento de paredes em pontos estritamente fundamentais (Figura 4.3). Esta abordagem minimizou as quebras estruturais e a intervenção em elementos arquitetónicos significativos, um passo fundamental para simplificar a obra e cumprir as exigências de conservação.

Figura 4.3 – Exemplo de passagem de condutas através de parede no edifício TUMO Coimbra

Um fator que facilitou a instalação e a dissimulação dos sistemas foi o pé-direito consideravelmente alto do edifício. Esta característica permitiu que todos os componentes fossem instalados a uma cota elevada, fora do campo visual direto dos ocupantes. Desta forma, foi possível integrar os sistemas de forma discreta, aproveitando o volume superior do espaço sem comprometer a estética histórica, conforme se pode observar na Figura 4.4. Também a Figura 4.5 demonstra que a solução implementada facilitou a instalação dos componentes, embora se reconheça que edifícios históricos, em geral, tendem a apresentar instalações mais desafiantes devido à necessidade de preservar as estruturas e acabamentos existentes.

Figura 4.4 - Unidades murais instaladas a uma cota elevada no edifício TUMO Coimbra

Figura 4.5 – Instalação de unidade e componentes AVAC a uma cota elevada no edifício TUMO Coimbra

Posteriormente, na fase de comissionamento, foram feitos os ajustes e calibrações de todos os componentes, para obter os resultados pretendidos e o desempenho esperado. Através de manutenção contínua, será possível garantir o desempenho inicial da instalação.

A Tabela 4.1 sintetiza as diferenças técnicas entre o *retrofit* de sistemas AVAC em edifícios históricos e a sua instalação em edifícios modernos. Esta comparação baseia-se na experiência prática adquirida durante o estágio curricular e é sustentada pelos desafios técnicos analisados por Nair *et al.* (2022) em edifícios de elevado valor patrimonial.

Tabela 4.1 - Diferenças e desafios na conceção, instalação e manutenção de sistemas AVAC: Comparação entre edifícios históricos e edifícios modernos

Critério de comparação	***Retrofit* de sistema AVAC num edifício histórico**	**Sistema AVAC num edifício moderno**
Condições construtivas	Estrutura existente com fortes condicionantes arquitetónicas e patrimoniais; limitações de espaço para os componentes AVAC	Projeto concebido de raiz com integração total das infraestruturas técnicas
Flexibilidade de conceção	Baixa, com soluções limitadas pela pré-existência e necessidade de compatibilização com elementos históricos	Elevada, com conceção livre; por vezes com alterações, mas pouco significativas
Complexidade da instalação	Alta, normalmente requer soluções customizadas, equipamentos menores e integração invisível ou pouco visível	Média, execução conforme projeto e com menor probabilidade de imprevistos
Custos de investimento	Relativamente parecidos com edifícios modernos, mas maiores quando surgem imprevistos	Mais previsíveis e otimizados, incorporados no orçamento da empreitada nova
Custos de operação e manutenção	Dependente do caso em análise, mas por norma com acessibilidade limitada aos sistemas e maior dificuldade em intervenções	Mais baixos, com infraestruturas concebidas para acessibilidade e devida manutenção

Eficiência energética	Pode ser melhorada, mas limitada pela envolvente térmica deficiente e constrangimentos arquitetónicos	Máxima, dado que o edifício e os sistemas são projetados em conjunto de acordo com a regulamentação em vigor
Impacto arquitetónico	Deve ser minimizado, com integração invisível e preservação da estética original	Livre de restrições patrimoniais, integração arquitetónica desde a fase de projeto
Prazos de execução	Mais longos, devido a condicionantes de obra e necessidade de compatibilização com elementos históricos	Mais curtos, integrados no cronograma da construção nova
Enquadramento legal	Possível sujeição a legislação de proteção do património	Sujeito apenas a regulamentação técnica e energética em vigor
Nível de conforto final	Melhoria substancial face à situação original, mas condicionada por limitações da instalação	Conforto otimizado em termos térmicos, acústicos e qualidade do ar interior

Em conclusão, mesmo sem acesso direto à análise do projetista da empreitada do edifício TUMO Coimbra, foram identificadas bastantes semelhanças entre a análise teórica desenvolvida e os procedimentos implementados na obra em questão.

5 CONCLUSÃO

A experiência proporcionada pelo estágio curricular permitiu estabelecer de forma efetiva a ponte entre a formação de base em Engenharia Mecânica e a prática profissional.

O percurso trilhado ao longo do estágio demonstrou que o contacto inicial com atividades de modelação digital e a progressiva exigência imposta facultaram uma base indispensável para a integração plena no mercado de trabalho, na medida em que se estabeleceram noções fundamentais de coerência, ética e gestão de prazos, sendo estes pontos essenciais para a gradual independência profissional. O contacto com o departamento de orçamentação constituiu também uma etapa importante para a análise de projetos, maioritariamente peças escritas e não tanto peças desenhadas, na medida em que o contacto com fornecedores, a compreensão dos custos envolvidos e a análise da viabilidade das propostas foram passos essenciais para uma abordagem completa e integral de um projeto AVAC.

A análise realizada de processos de *retrofit* permitiu demonstrar a relevância e eficácia da utilização de metodologias específicas na definição de soluções de compromisso entre eficiência energética, conforto térmico e custos de investimento. A comparação de diferentes cenários confirmou que todas as decisões implicam *trade-offs* distintos, dependendo a solução escolhida do tipo de decisor envolvido e suas prioridades. A aplicabilidade do setor do AVAC a edifícios históricos demonstrou que os objetivos fundamentais se mantêm, nomeadamente garantir o conforto térmico, qualidade do ar interior, segurança e eficiência energética, pese embora as fortes condicionantes que o respeito pelo património histórico e arquitetónico implica.

Em síntese, a empresa de acolhimento, além de ter permitido a realização do estágio curricular, proporcionou uma oportunidade de crescimento profissional e pessoal, consolidando múltiplas competências. Conclui-se que a interligação entre o ensino superior e a prática profissional é indispensável, sendo a realização do estágio curricular um meio privilegiado para a valorização e desenvolvimento de competências dos estudantes.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Asadi, E., da Silva, M. G., Antunes, C. H., Dias, L., e Glicksman, L. (2014). Multi-objective optimization for building retrofit: A model using genetic algorithm and artificial neural network and an application. Energy and Buildings, 81, 444–456. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.06.009

Autentibrisa. (2026). Acessórios Spiro: Curvas, reduções e uniões para condutas circulares. https://www.autentibrisa.pt/acessorios-spiro

Autodesk. (2026). AutoCAD MEP. https://www.autodesk.com/products/autocad-mep/overview

Autodesk. (2026). Revit. https://www.autodesk.com/products/revit/overview

Bhandari, M., e Fumo, N. (2022). A review of ductless mini split HVAC system. Energy Reports, 8, 5930–5942. https://doi.org/10.1016/j.egyr.2022.03.209

Buda, A., de Place Hansen, E. J., Rieser, A., Giancola, E., Pracchi, V. N., Mauri, S., ... e Herrera-Avellanosa, D. (2021). Conservation-compatible retrofit solutions in historic buildings: An integrated approach. Sustainability, 13(5), 2927.https://doi.org/10.3390/su13052927

Climacer. (2026). Climacer. https://www.climacer.com

D'Agostino, D., Minelli, F., e Minichiello, F. (2025). HVAC system energy retrofit for a university lecture room considering private and public interests. Energies, 18(6), Article 1526. https://doi.org/10.3390/en18061526

Daikin. (2026). Daikin Portugal. https://www.daikin.pt

Daikin. (2013). Manual de instalação e de utilização: Aparelho de ar condicionado com sistema VRV IV (Ref. 4P329765-2B). Daikin Europe N.V. https://www.daikin.pt/content/dam/document-library/declaration-of-conformity/ac/vrv/rxyq-t/RYYQ-T_RYMQ-T_RXYQ-T_IOM_4P329765-2B_Installation%20manuals_Portuguese.pdf

Decreto-Lei n.º 78/2006, de 4 de abril. (2006). Diário da República: I série-A, n.º 69. Ministério da Economia e da Inovação. https://diariodarepublica.pt/dr/detalhe/decreto-lei/78-2006-672458

Decreto-Lei n.º 309/2009, de 23 de outubro. (2009). Diário da República: 1.ª série, n.º 206. Ministério da Cultura. https://diariodarepublica.pt/dr/detalhe/decreto-lei/309-2009-483153

Decreto-Lei n.º 118/2013, de 20 de agosto. (2013). Diário da República: 1.ª série, n.º 159. Ministério da Economia e do Emprego. https://diariodarepublica.pt/dr/detalhe/decreto-lei/118-2013-499237

Decreto-Lei n.º 194/2015, de 14 de setembro. (2015). Diário da República: 1.ª série, n.º 179. Ministério da Economia. https://diariodarepublica.pt/dr/detalhe/decreto-lei/194-2015-70280719

Decreto-Lei n.º 251/2015, de 25 de novembro. (2015). Diário da República: 1.ª série, n.º 231. Ministério da Economia. https://diariodarepublica.pt/dr/detalhe/decreto-lei/251-2015-71100900

Decreto-Lei n.º 101-D/2020, de 7 de dezembro. (2020). Diário da República: 1.ª série, n.º 236 (Suplemento). Presidência do Conselho de Ministros. https://diariodarepublica.pt/dr/detalhe/decreto-lei/101-d-2020-150570704

DesignBuilder. (2026). DesignBuilder. https://www.designbuilder.co.uk

Despacho n.º 15793-L/2013, de 3 de dezembro. (2013). Diário da República: 2.ª série, n.º 234 (Suplemento). Ministério da Economia - Gabinete do Secretário de Estado da Energia. https://diariodarepublica.pt/dr/detalhe/despacho-extrato/15793-l-2013-2975225

Diretiva (UE) 2024/1275 do Parlamento Europeu e do Conselho, de 24 de abril de 2024, relativa ao desempenho energético dos edifícios. (2024). Jornal Oficial da União Europeia, L 2024/1275. https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2024/1275/oj

France Air. (2026). Soluções de climatização e ventilação. https://www.france-air.pt

Hassanat, A., Al-Kasasbeh, K., Al-Taharwa, I., e Al-Awadi, M. (2019). Choosing mutation and crossover ratios for genetic algorithms—A review with a new dynamic approach. Information, 10(12), 390. https://doi.org/10.3390/info10120390

Koolair. (2026). Soluções de ventilação e climatização. https://www.koolair.com/pt-pt/

Leroy Merlin. (2026). Bomba de condensados HTW para ar condicionados.https://www.leroymerlin.pt/produtos/bomba-de-condensados-htw-para-ar-condicionados-82594740.html

Mitsubishi Electric. (2026). Mitsubishi Electric Portugal. https://www.mitsubishielectric.pt

Nair, G., Verde, L., e Olofsson, T. (2022). A Review on Technical Challenges and Possibilities on Energy Efficient Retrofit Measures in Heritage Buildings. Energies, 15(20), 7472. https://doi.org/10.3390/en15207472

Panasonic. (2026). Panasonic Portugal. https://www.panasonic.com/pt

Portaria n.º 349-A/2013, de 29 de novembro. (2013). Diário da República: 1.ª série, n.º 232 (Suplemento). Ministérios das Finanças e da Economia. https://diariodarepublica.pt/dr/detalhe/portaria/349-a-2013-647289

Portaria n.º 353-A/2013, de 4 de dezembro. (2013). Diário da República: 1.ª série, n.º 235 (Suplemento). Ministérios da Economia, da Saúde e da Solidariedade, Emprego e Segurança Social. https://diariodarepublica.pt/dr/detalhe/portaria/353-a-2013-331868

Rieser, A., Pfluger, R., Troi, A., Herrera-Avellanosa, D., Thomsen, K. E., Rose, J., ... e Chung, D. (2021). Integration of energy-efficient ventilation systems in historic buildings—Review and proposal of a systematic intervention approach. Sustainability, 13(4), 2325.https://doi.org/10.3390/su13042325

Saint-Gobain. (2024). Climaver 360 Apta: Painel rígido de lã de vidro para condutas de ar. Isover Portugal. https://www.saint-gobain.pt/produtos/isover/climaver-360-apta#descricao

Silva, C. E. F. (2022). Importância das inspeções e ensaios nas instalações de AVAC (Dissertação de mestrado, Instituto Superior de Engenharia de Lisboa). Repositório Aberto do ISEL.

Systemair. (2026). Systemair Portugal. https://www.systemair.com/pt-pt

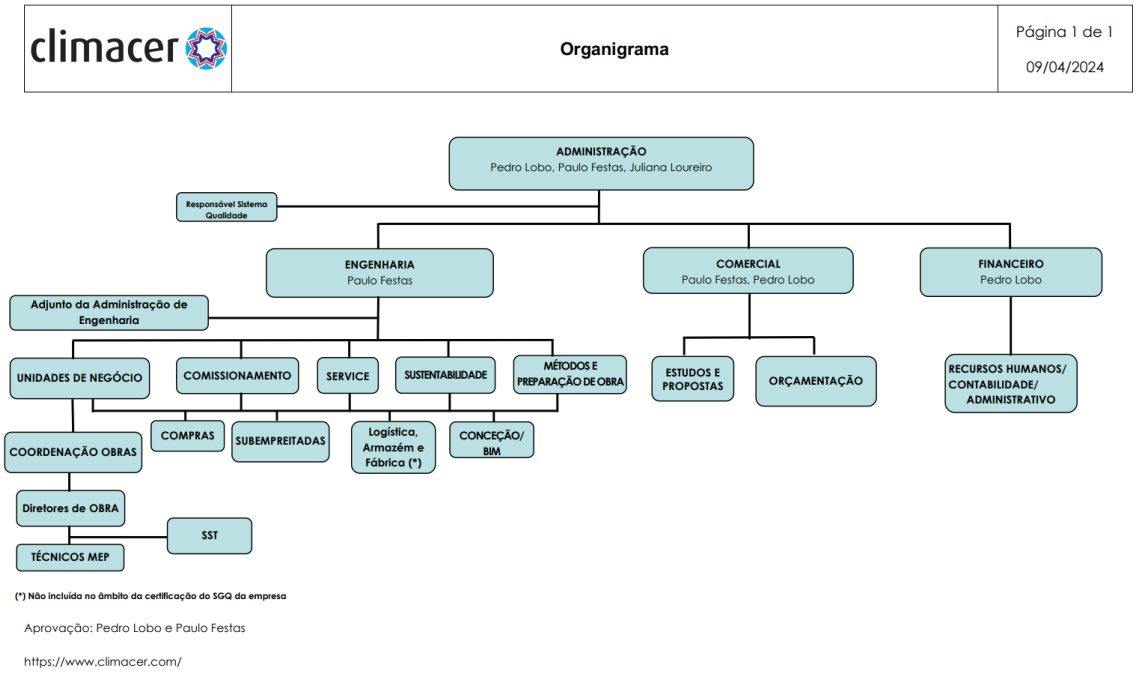
Tumo. (2026). Soluções de climatização e ar condicionado. https://www.tumo.pt

U.S. Department of Energy. (2025). EnergyPlus™ Engineering Reference: The Reference to EnergyPlus Calculations (Version 25.2.0). National Renewable Energy Laboratory. https://energyplus.net/assets/nrel_custom/pdfs/pdfs_v25.2.0/EngineeringReference.pdf

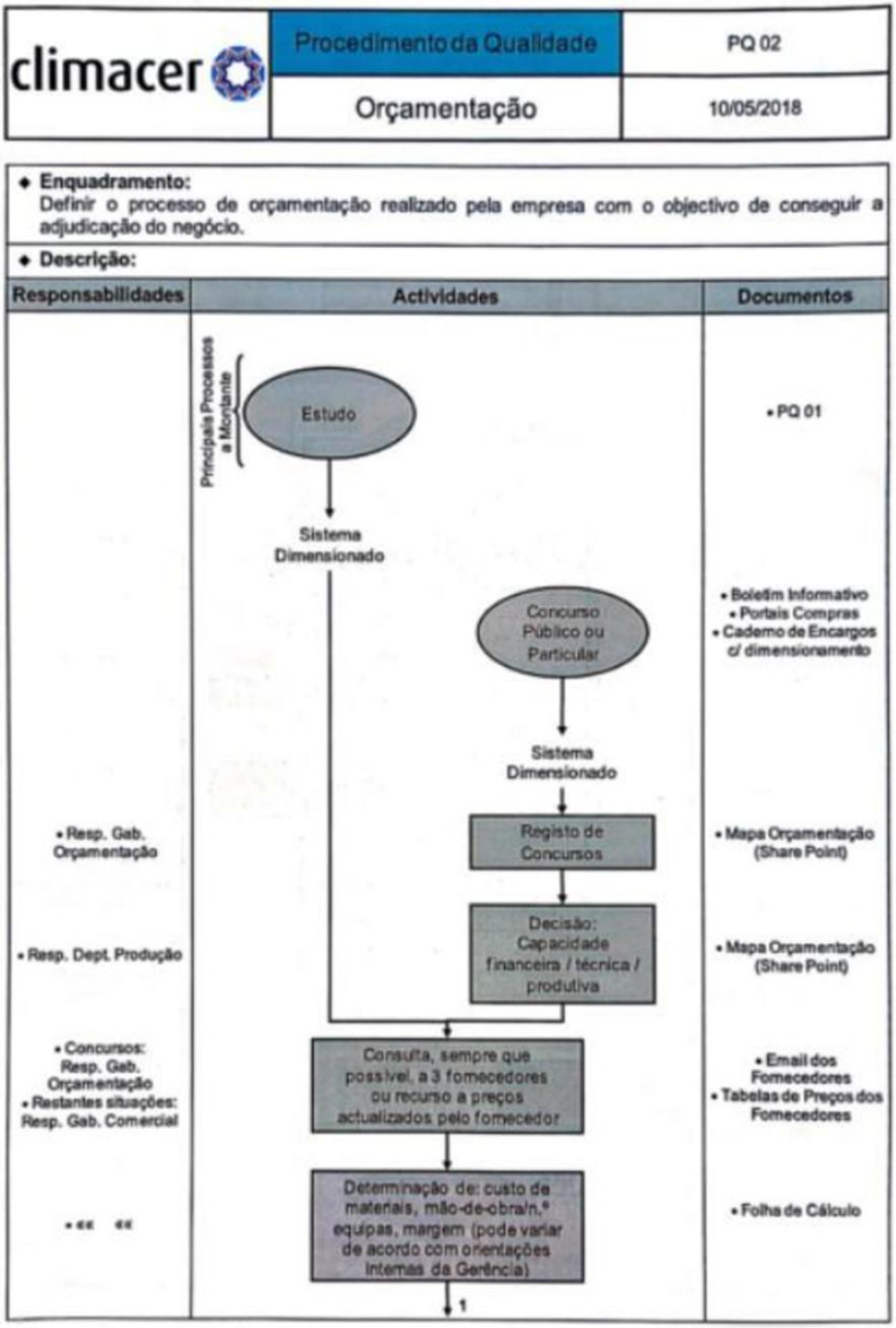
Villalba Nieto, P. X., Sánchez-Garrido, A. J., e Yepes Piqueras, V. (2024). A review of multi-criteria decision-making methods for building assessment, selection, and retrofit. Buildings, 14(1), Article 114. https://doi.org/10.3846/jcem.2024.21621

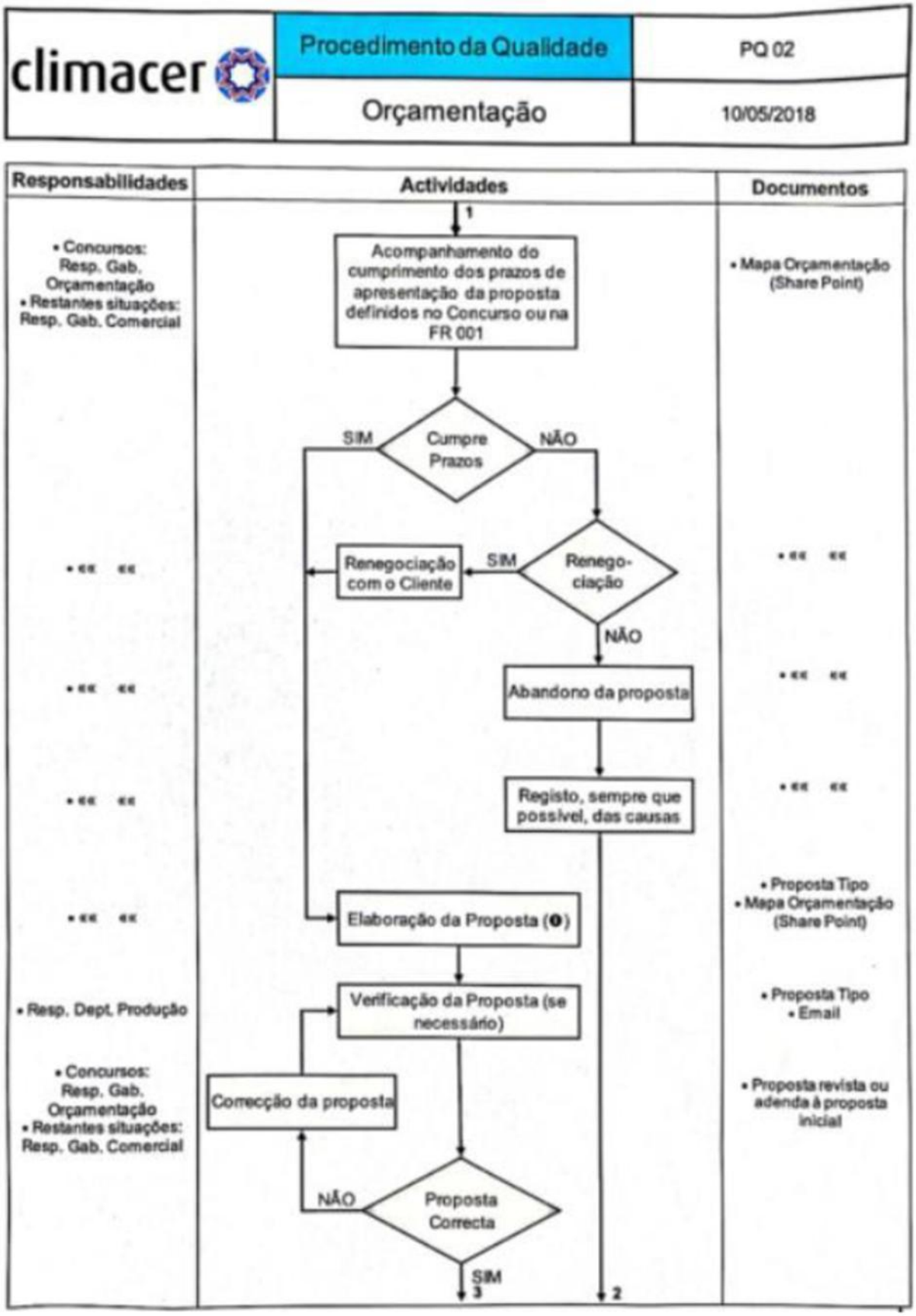
ANEXOS

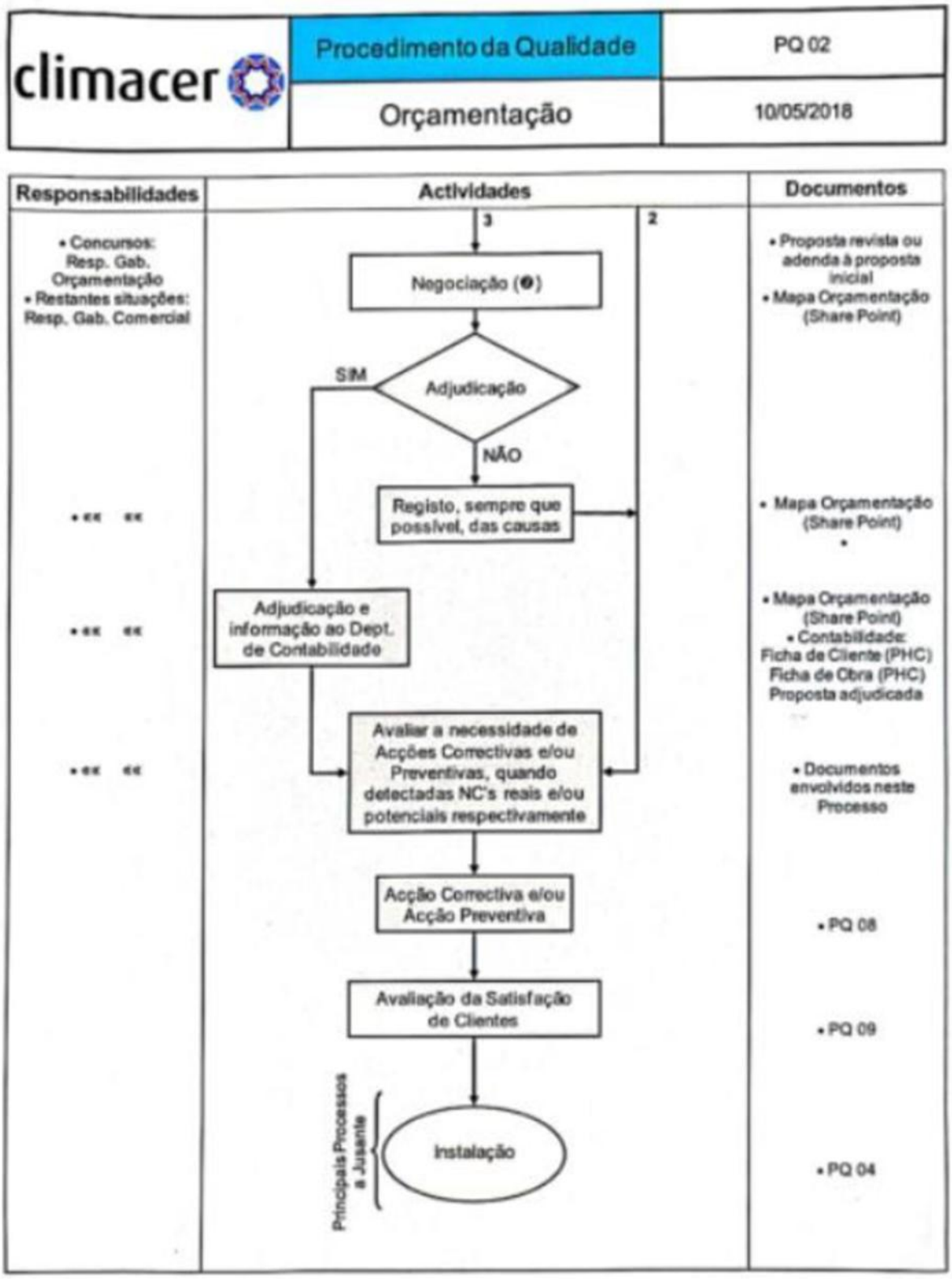
Anexo 1 – Organograma da empresa Climacer



Anexo 2 - Fluxograma do processo de orçamentação na empresa Climacer



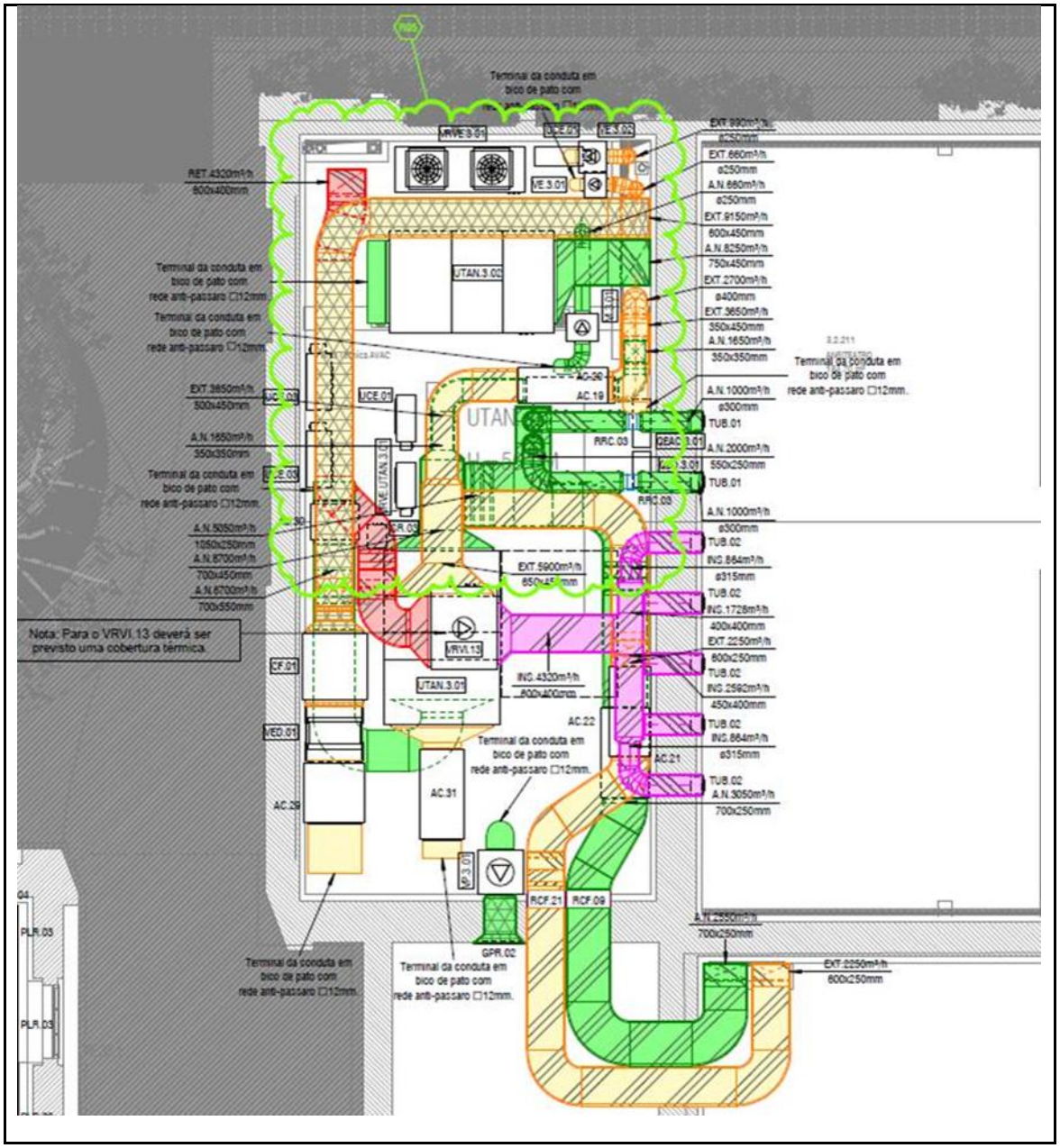

climacer
Procedimento da Qualidade
PQ 02
Orçamentação
10/05/2018
Responsabilidades
Actividades
Documentos
• Concursos: Resp. Gab. Orçamentação
• Restantes situações: Resp. Gab. Comercial
1
Acompanhamento do cumprimento dos prazos de apresentação da proposta definidos no Concurso ou na FR 001
• Mapa Orçamentação (Share Point)
SIM
Cumpre Prazos
NÃO
Renegociação com o Cliente
SIM
Renego-ciação
NÃO
Abandono da proposta
Registo, sempre que possível, das causas
Elaboração da Proposta (❶)
• Proposta Tipo
• Mapa Orçamentação (Share Point)
• Resp. Dept. Produção
Verificação da Proposta (se necessário)
• Proposta Tipo
• Email
• Concursos: Resp. Gab. Orçamentação
• Restantes situações: Resp. Gab. Comercial
Correcção da proposta
• Proposta revista ou adenda à proposta inicial
NÃO
Proposta Correcta
SIM
3
2



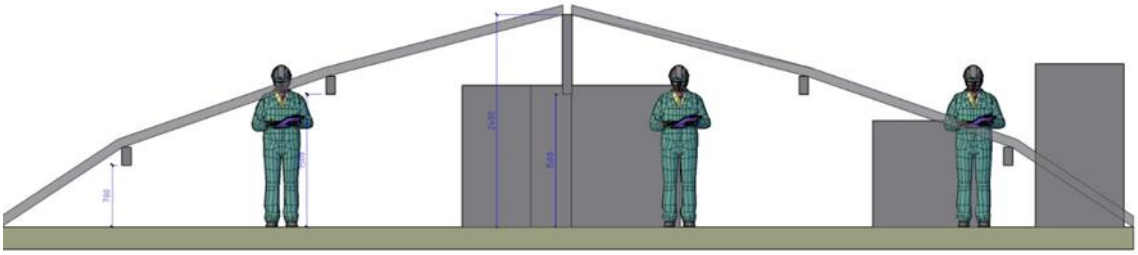
(❶) – **Código da Proposta:** Ano.N.º Sequencial.00 (Proposta inicial).
(❶) – Propostas revistas ou adendas são identificadas com o mesmo código, acrescido do número de revisão seguinte (dois últimos dígitos).

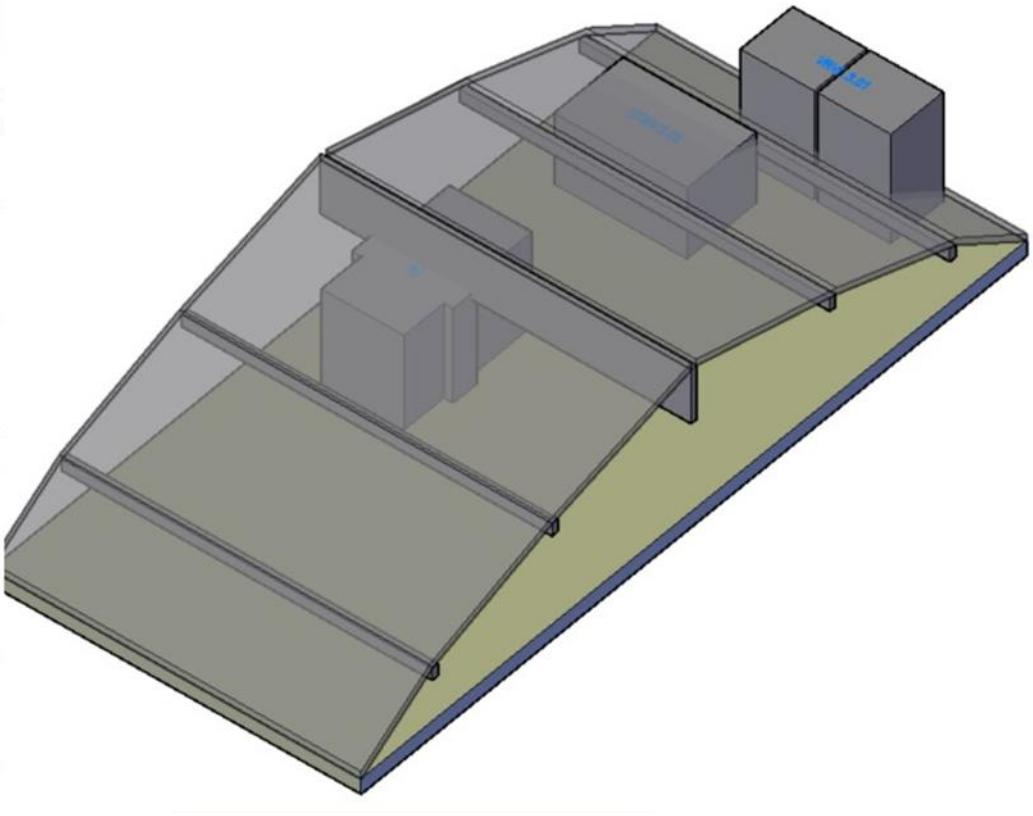
Anexo 3 – Exemplo de pedido de esclarecimento (PDE)

PDE 004
- Relativamente à área técnica de AVAC definida no piso 2 do edifício 3, de acordo com os elementos de projeto, temos os seguintes equipamentos a enquadrar (adicionando logicamente as condutas): UTAN.3.01 UTAN.3.02 VP3.01 VRVi.13 VED.01 CF.01 VE.3.01 UCE.01 VE.3.02 VI.3.01 UCE.01 2x UCE.03 VRVE.UTAN.3.01 QEAC.3.01 QED.3.01

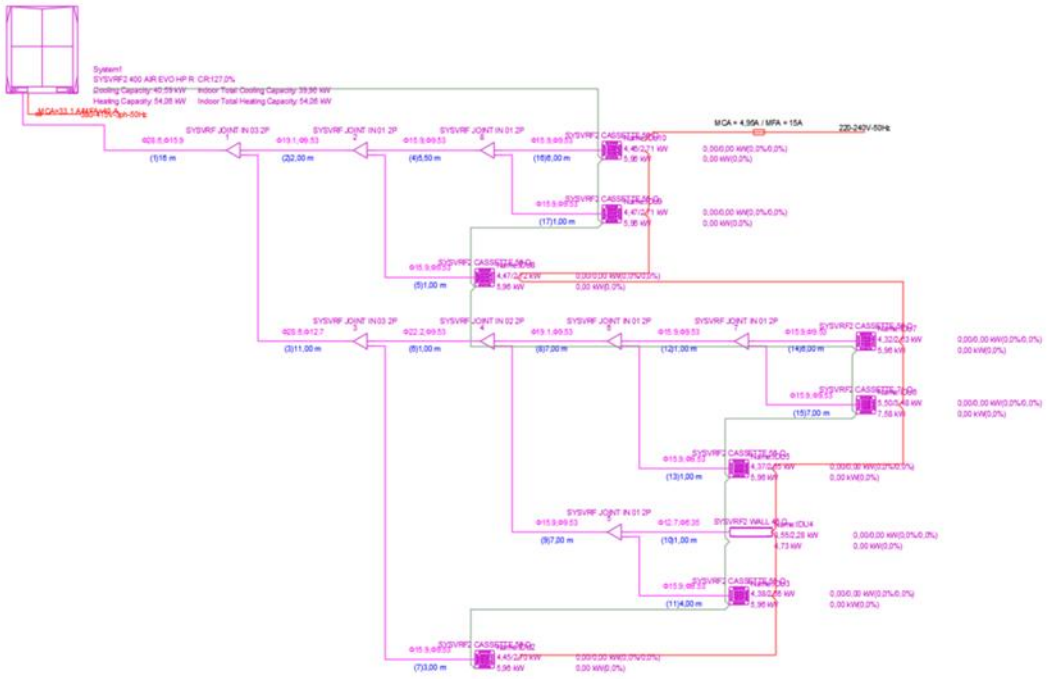


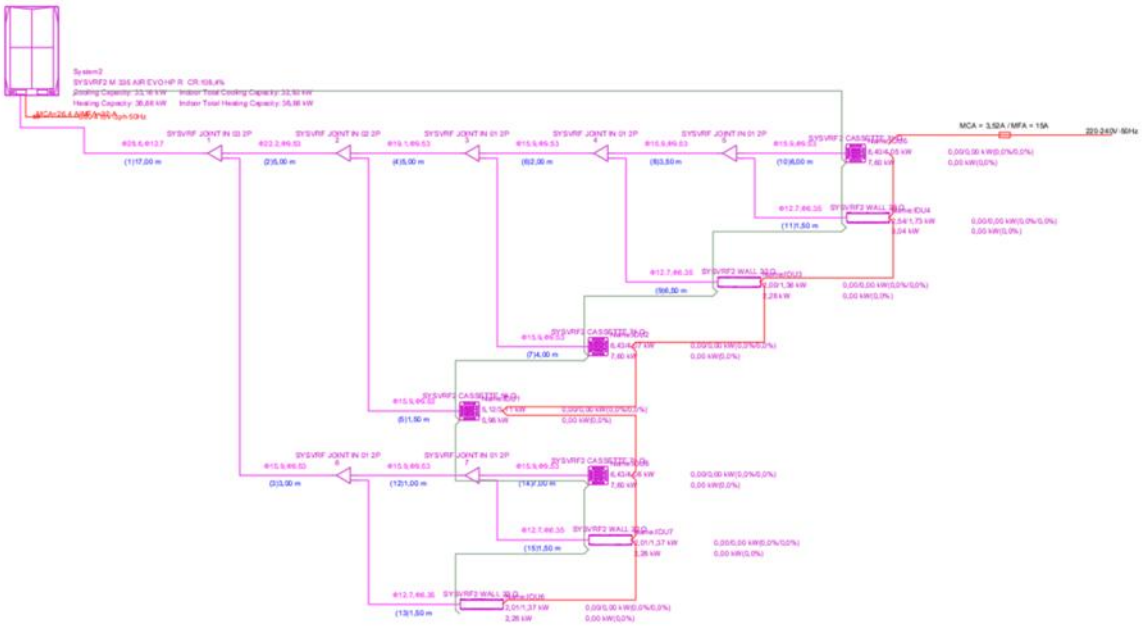
Elaborando uma preparação não exaustiva, verificamos incompatibilidades quanto ao espaço disponível quer em altura, quer em dimensão, considerando que as condutas têm de se desenvolver e interligar com zonas definidas (difusão do auditório, por exemplo), não esquecendo que o acesso a este espaço é feito através de um alçapão.

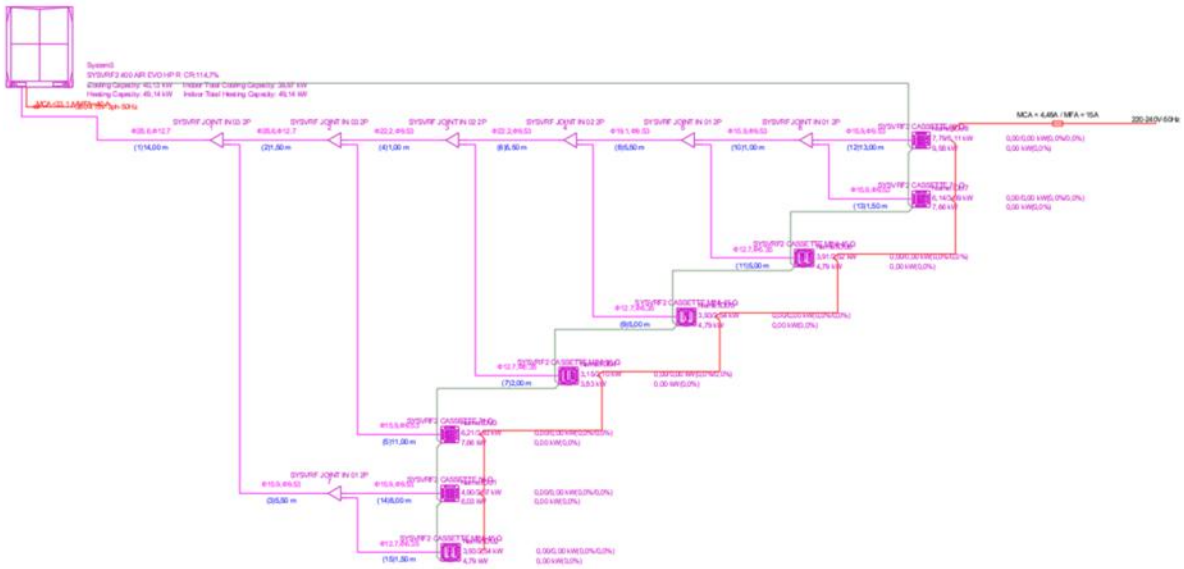


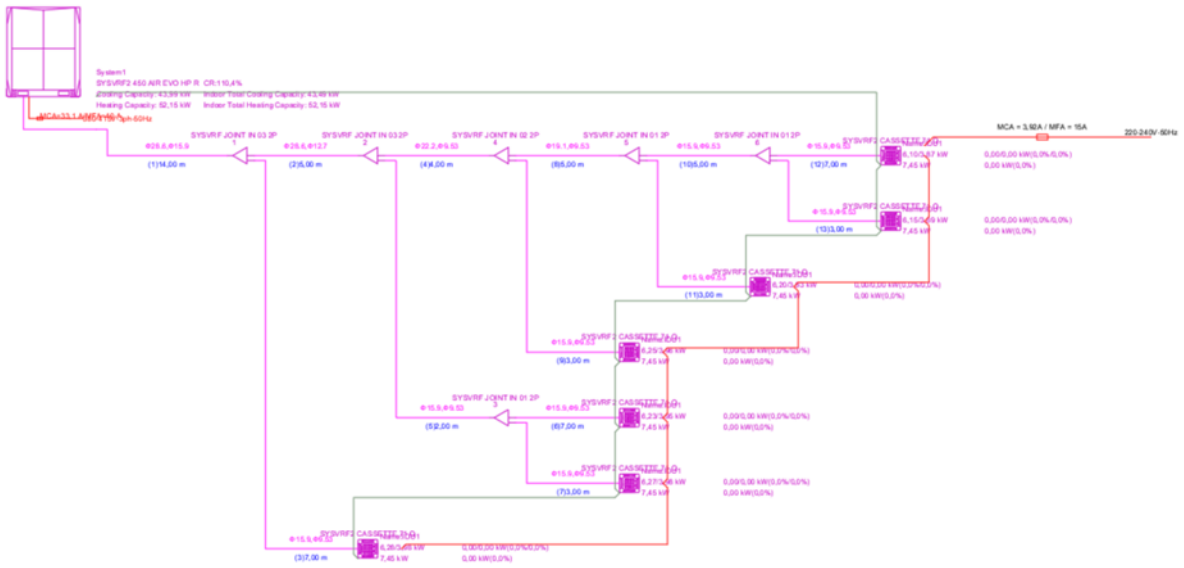


Anexo 4 – Esquemas de princípio do sistema VRV do edifício TUMO Coimbra









Instituto Superior
de Engenharia
Politécnico de Coimbra