



ISEL

INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA

Área Departamental de Engenharia Mecânica

Estágio no Domínio da Climatização de Edifícios e Material Circulante na CP

BÁRBARA MARIA COLAÇO DE BRITO
(Licenciado em Engenharia Mecânica)

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

Orientadores:

Doutora Cláudia Sofia Séneca da Luz Casaca

Engenheiro João Carlos Gonçalves Rama Azevedo

Júri:

Presidente: Doutor João Manuel Ferreira Calado

Vogais: Doutor Hélder Manuel Ferreira dos Santos

Doutora Cláudia Sofia Séneca da Luz Casaca

Maió de 2017



INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA

Área Departamental de Engenharia Mecânica

ISEL

Estágio no Domínio da Climatização de Edifícios e Material Circulante na CP

BÁRBARA MARIA COLAÇO DE BRITO
(Licenciado em Engenharia Mecânica)

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

Orientadores:

Doutora Cláudia Sofia Séneca da Luz Casaca

Engenheiro João Carlos Gonçalves Rama Azevedo

Júri:

Presidente: Doutor João Manuel Ferreira Calado

Vogais: Doutor Hélder Manuel Ferreira dos Santos

Doutora Cláudia Sofia Séneca da Luz Casaca

Maio de 2017

Agradecimentos

Em primeiro lugar, agradeço imenso à minha orientadora, Doutora Cláudia Sofia Séneca da Luz Casaca, por todo o acompanhamento ao longo da realização do trabalho, por todo o empenho, interesse, disponibilidade, apoio e motivação, porque sem ela a entrega deste trabalho não teria sido possível. Agradeço também ao Centro de Estudos de Engenharia Mecânica que proporcionou os primeiros contactos com a Empresa.

Quero agradecer também ao meu orientador de estágio na CP, Engenheiro João Carlos Gonçalves Rama Azevedo, e ao Engenheiro Pedro Dias, também da CP, pelo acompanhamento durante todo o estágio, pela partilha de conhecimento e pela experiência que foi muito enriquecedora.

Agradeço à Engenheira Alexandra Velez, da Daikin, por toda a disponibilidade prestada na selecção de equipamentos e aprendizagem do *software* Xpress, quer presencialmente, quer através da troca de e-mails. Também agradeço ao Engenheiro Alexandre Casquilho, da Mitsubishi Electric, pela ajuda prestada e pela disponibilidade de esclarecimento de dúvidas.

Quero agradecer e expressar ainda a minha gratidão para com os meus amigos que estiveram presentes neste processo e que de alguma maneira o tornaram especial. Sendo eles: Adriano Balhana, Afonso Henriques, André Ramalhinho, Andreia Valente, Filipa Tancredo, Joana Costa, João Reis, Mafalda Viegas, Patrícia Pereira, Pedro Gaspar, Rita Silva, Sara Fernandez e Sara Tomar.

Ao meu namorado, João Tiago Coutinho Nunes, quero agradecer todo o apoio, os comentários que fez relativamente ao meu trabalho, e também à paciência que teve durante esta época stressante.

Por fim, e o mais importante, quero agradecer aos meus pais. Primeiro à minha Mãe por nunca me ter deixado desistir, pelo apoio incondicional e por me ter aturado. Ao meu Pai, quero agradecer pelas mesmas coisas, e que apesar de não ter visto este processo completo, tenho a certeza que ficaria muito orgulhoso.

A Todos, o meu muito obrigado!

Resumo

O conforto térmico é um factor cada vez mais importante na sociedade actual. É utilizado como um critério para avaliar o bem-estar dos seres Humanos, quer estejam no trabalho, em casa, em transportes públicos ou privados, e em muitas outras actividades interiores. Nos dias de hoje é considerado indispensável ao longo de todo o ano.

O presente relatório reflecte o trabalho desenvolvido ao longo do estágio curricular realizado na empresa Comboios de Portugal, E.P.E. (CP), o qual permitiu fazer a ligação com os conhecimentos teóricos adquiridos ao longo do Mestrado, assim como a consolidação dos conhecimentos relativos à temática de aquecimento, ventilação e ar condicionado (AVAC) e qualidade do ar interior (QAI).

Na primeira parte do estágio o trabalho desenvolvido visou a identificação da solução mais adequada de um sistema AVAC para o edifício da CP situado em Santa Apolónia, Lisboa. Foi efectuado um levantamento detalhado das características de construção do edifício, com vista ao cálculo das potências envolvidas. Com base nos resultados, a solução encontrada foi o sistema de Volume de Refrigerante Variável (VRV), o qual foi dimensionado através de dois *softwares* de diferentes marcas de equipamento, a fim de permitir a comparação entre dois sistemas. Adicionalmente, foram efectuados dois casos de estudo relativos à reabilitação de sistemas *split* existentes em edifícios da CP incluindo os respectivos custos.

Na segunda parte do estágio, foi possível conhecer o material circulante que a CP detém, incluindo uma breve discussão dos sistemas de climatização nos comboios. Relativamente à QAI, e uma vez que não existem normas/directivas que se apliquem especificamente aos comboios, propõe-se que os parâmetros para o ar interior em edifícios se apliquem no material circulante. Finalmente, foram identificados os métodos para a realização de ensaios no interior dos comboios, relativamente à medição da temperatura, da humidade relativa e da velocidade do ar, assim como dos componentes do ar que, em elevadas concentrações, podem ser prejudiciais para a saúde.

Em suma, o trabalho realizado contribui com propostas para a melhoria do conforto térmico e da saúde, em particular das pessoas que trabalham ou utilizam as instalações ou comboios da CP.

Palavras chave: Climatização, AVAC, VRV, Qualidade do ar, CP, conforto térmico.

Abstract

Thermal comfort is an increasingly important factor for society. It is used as a criteria to assess the wellness of humans, whether they are at work, at home, at a shopping centre, or traveling by public or private transportation, or in many other indoor activities. Nowadays it is considered essential throughout the whole year.

This report reflects the work developed during the curricular internship at the Portuguese trains company, Comboios de Portugal (CP), E.P.E., which allowed to link the theoretical knowledge obtained during the Master Course with its practical use. It also allowed to consolidate the academic learning related to the themes of heating, ventilation, air conditioning (HVAC) and of indoor air quality.

The work developed during the first part of the internship aimed at identifying the best solution of an HVAC system for the CP building located at Santa Apolónia, Lisboa. The approach that was followed started with detailed surveys about the construction characteristics of the building, that allowed to compute the HVAC power needed for each room/office. Based on the results and follow-up discussion, the solution found pointed to a Variable Refrigerant Flow (VRF) system, that was dimensioned with two different software packages. Additionally, two study cases were made regarding the renovation of the “split” systems existing in various CP buildings, involving the respective costs.

The second part of the internship was dedicated to learn about the CP trains and their equipment, which included a brief discussion of the air conditioning systems in the trains. Regarding the indoor air quality, and since there are no specific standards/guidelines for the trains, it was proposed that the parameters used for buildings be applicable to air quality inside the trains. Finally, the procedures for the measurement of air temperature, relative humidity and air speed inside the trains, were identified, as well as the procedures for the control of the air components that are harmful above certain limits.

In summary, the results of this work may contribute with proposals for the improvement of people’s thermal comfort and health, particularly of those who work at or use CP’s buildings and trains.

Key Words: Air conditioning, HVAC, VRV, Air quality, CP, comfort

Lista de Acrónimos

ASHRAE	American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers
CP	Comboios de Portugal, E. P.E
DFOP	Direcção de Gestão da Frota Operacional
DGP	Direcção-Geral de Produção e Negócios
ITE 50	Coefficientes de Transmissão Térmica de Elementos da Envolvente dos Edifícios
LNEC	Laboratório Nacional de Engenharia Civil
QAI	Qualidade do Ar Interior
RCCTE	Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios
RSECE	Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização de Edifícios
SCE	Sistema de Certificação Energética de Edifícios
UDD	Unidade Dupla Diesel
UME	Unidade Múltipla Eléctrica
UQE	Unidade quádrupla Eléctrica
UTA	Unidade de Tratamento de ar
UTE	Unidade Tripla Eléctrica
VRV	Volume de refrigerante variável

Nomenclatura

A_{ext} - Área da envolvente exterior [m²];

A_{int} - Área da envolvente interior [m²];

A_j - Área do elemento j da envolvente medida pelo interior [m²];

A_p - Área útil do pavimento [m²];

B_j - Desenvolvimento linear (medido pelo interior) do elemento j em contacto com o terreno, ou da ponte térmica linear j, [m];

e_j - Espessura do material j [m];

f_c - factor de correcção;

F_h - Factor de sombreamento do horizonte por obstruções longínquas exteriores ao edifício ou por outros elementos do edifício;

FF - Factor de forma;

F_f - Factor de sombreamento por elementos verticais adjacentes ao envidraçado;

F_o - Factor de sombreamento por elementos horizontais sobrepostos ao envidraçado;

g'_{\perp} - Factor solar do vão envidraçado com protecção solar e vidro incolor;

g_{\perp} - Factor solar do vão envidraçado;

$g_{\perp v}$ - Factor solar do envidraçado;

GD - Número de graus-dias de aquecimento;

K - Coeficiente relacionado com a potência consumida pelos equipamentos auxiliares NA - Número de aparelhos;

M - Duração média da estação [meses];

M_{si} - Massa superficial do elemento i [kg/m²];

NA - Número de aparelhos;

NP - Número de pessoas;

P - Potência [W];

Pd – Pé direito [m];

Pj - Potência do aparelho electrónico j [W];

Pl - Potência estipulada da lâmpada [W];

Pp – Potência correspondente a cada pessoa [W];

Q_{gu} – Ganhos de calor útil resultantes dos ocupantes, iluminação, equipamentos e ganhos solares dos vãos envidraçados [kWh];

qi – Ganhos térmicos internos por unidade de área [W/m^2], Quadro IV.3 do RCCTE;

Q_i - Ganhos térmicos internos;

Q_s - Ganhos solares através de vãos envidraçados;

Q_t – Perdas de calor por condução através da envolvente do edifício [kWh];

Q_v – Perdas de calor resultantes da renovação do ar [kWh];

Radiação específica – radiação específica [$Kcal/m^2 h$]

R_j – Resistência térmica da camada j [$m^2 \cdot ^\circ C/W$];

R_{ph} - Número de renovações horarias do ar interior [h^{-1}];

R_{si} e R_{se} - Resistência térmica superficial interior e exterior, respetivamente [$m^2 \cdot ^\circ C/W$];

S_i – Área da superfície interior do elemento i [m^2];

U – Coeficiente de transmissão térmica [$W/ m^2 \cdot ^\circ C$]

U_j – Coeficiente de transmissão térmica do elemento j [$W/ m^2 \cdot ^\circ C$];

V – Volume útil [m^3];

Ψ_j - Coeficiente de transmissão térmica linear do elemento j em contacto com o terreno ou da ponte térmica linear j, [$W/m \cdot ^\circ C$];

η_v – Rendimento do sistema de recuperação;

θ_a – Temperatura do ar local não aquecido [$^\circ C$];

θ_{atm} – Temperatura do ar exterior [$^\circ C$];

θ_i – Temperatura do ar interior do edifício [$^\circ C$];

λ_j – Condutibilidade térmica do material j [W/ m. °C]

ΔT - Variação da temperatura [°C];

ΔT_e - Variação da temperatura [°C];

τ – Amplitude térmica entre o interior e o exterior;

Índice

Agradecimentos	i
Resumo	iii
Abstract.....	v
Lista de Acrónimos.....	vii
Nomenclatura.....	ix
Índice	xiii
Índice de Figuras	xv
Índice de Tabelas	xix
1. Introdução.....	1
1.1 Enquadramento do tema	1
1.2 Motivação e Objectivos	2
1.3 Metodologia	2
2. A CP – Comboios de Portugal, EPE	5
2.1 História e descrição.....	5
2.2 Direcção de Gestão da Frota Operacional	8
2.3 Classificação do material circulante	9
2.4 Sistema de climatização.....	14
3. Conforto Térmico e a QAI	19
3.1 Introdução	19
3.2 Sistema de Certificação Energética de Edifícios	20
3.3 Regulamento das Características de Comportamento Térmico de Edifícios.....	21
3.3.1 Zonas Climáticas.....	21
3.3.2. Parâmetros de caracterização térmica.....	22
3.3.2.1. Coeficiente de transmissão térmica	22

3.3.2.2. Factor Solar	23
3.3.2.3. Taxa de Renovação de ar	24
3.3.2.4. Inércia térmica	24
3.3.2.5. Necessidades nominais de energia útil para aquecimento	25
3.4. Qualidade do ar interior	31
3.5 Fluido frigorigéneo	33
4. Trabalho desenvolvido no estágio	37
4.1 Aplicação em Edifícios	37
4.1.1. Caracterização do edifício.....	37
4.1.2. Selecção do sistema de climatização	48
4.1.3 Potências a instalar.....	50
4.1.4 Daikin.....	52
4.1.5. Mitsubishi Electric	62
4.1.7. Comparação entre as duas marcas	70
4.1.8. Substituição e aquisição de novos equipamentos	71
4.2 A aplicação em Material Circulante	74
4.2.1 Sistema de climatização	74
4.2.2 Medição da qualidade do ar interior	77
5. Considerações finais.....	83
5.1 Conclusões	83
5.2 Propostas para trabalhos futuros	85
Bibliografia.....	87
ANEXOS	93

Índice de Figuras

Figura 2.1- Caminhos-de-ferro em Portugal [4].	5
Figura 2.2 - Locomotiva a vapor [5].	6
Figura 2.3 - Locomotiva Diesel [7].	6
Figura 2.4 - Locomotiva eléctrica [8].	6
Figura 2.5 - Caminhos-de-ferro existentes hoje em dia em Portugal [11].	7
Figura 2.6 – Organograma da estrutura organizacional da CP adaptado de [12].	8
Figura 2.7 – Organização da DFOP adaptado de [12].	9
Figura 2.8 - Organograma do material circulante.	10
Figura 2.9 – Material circulante da série 0351-0371 [14]	10
Figura 2.10 - Material circulante da série 0451-0469 [15].	10
Figura 2.11 - Material circulante da série 9601-967 [14].	11
Figura 2.12 - Material circulante da série 2241-2297 [14].	11
Figura 2.13- Material circulante da série 2301-2342 e 2351-2392 [14].	11
Figura 2.14 - Material circulante da série 2401-2414 e 2451-2664 [19].	11
Figura 2.15 - Material circulante da série 3401-3434 e 3451-3484 [14].	11
Figura 2.16 - Material circulante da série 3519-3530 e 3569-3580 [14].	12
Figura 2.17 - Material circulante da série 4001-4010 e 4051-4060	12
Figura 2.18 – Material circulante da série 3151-3163, 3255, 3261-3263 e 3251-3271 [14]	12
Figura 2.19 - Material circulante da série 5601-5630 [29].	13
Figura 2.20 - Material circulante da série 1401-1469.	13
Figura 2.21 - Principais componentes do ciclo frigorífico, adaptado de [1].	15
Figura 2.22 - Sistema Split [33].	15
Figura 2.23 - Sistema VRV a três tubos, adaptado de [36].	16

Figura 2.24 – Chiller de absorção [37].	17
Figura 2.25 – UTA [36].	18
Figura 2.26 – Sistema close control [39].	18
Figura 3.1 - Evolução da legislação e regulamentação aplicadas a edifícios [40].	19
Figura 3.2 - Esquema dos Regulamentos implementados em 2006, adaptado de [44].	20
Figura 3.3 - Zonas climáticas de Inverno (esquerda) e de Verão (direita) de Portugal Continental [42].	22
Figura 4.1 - Localização do edificio da CP [53].	38
Figura 4.2 - Entrada do edifício da CP [53].	38
Figura 4.3 - Extensão do edifício [53].	38
Figura 4.4 - Data de fabrico dos equipamentos.	40
Figura 4.5 - Dimensão da sala do lado direito e esquerdo [m].	42
Figura 4.6 - Dimensões da Sala de Reuniões [m].	43
Figura 4.7 - Dimensões da Copa [m].	43
Figura 4.8 - Esquema ilustrativo da arquitectura básica do sistema, adaptado de [57].	49
Figura 4.9 - Unidade exterior- modelo REYQ [35].	53
Figura 4.10- Unidade interior modelo FXSQ [35].	53
Figura 4.11 - Unidade interior modelo FXAQ [35].	54
Figura 4.12 - Caixa recuperadora BS-Q14A [35].	54
Figura 4.13 - Comando Remoto [35].	54
Figura 4.14 – Controlo remoto central [35].	55
Figura 4.15 - Dados inseridos no software da Daikin.	55
Figura 4.16 - Selecção das unidades interiores.	56
Figura 4.17 – Selecção da caixa recuperadora e introdução da unidade exterior.	57
Figura 4.18 – Opção piping	57
Figura 4.19 . Inserção de todos com comprimentos.	57

Figura 4.20 - Selecção do controlo centralizado	58
Figura 4.21 - Unidade exterior [60].....	62
Figura 4.22 - Unidade interior tipo mural [60].....	63
Figura 4.23 - Unidade interior [60].	63
Figura 4.24 - Distribuidor BC controller [60].	63
Figura 4.25- Comando Remoto [60].	64
Figura 4.26 - Controlo remoto central [60].	64
Figura 4.27 – Dimensionamento através do programa Mitsubishi Electric	65
Figura 4.28 - Introdução da unidade exterior.	65
Figura 4.29 - Selecção do controlador e da unidade interior.....	66
Figura 4.30 - Esquema de um veículo ferroviário de passageiros com sistema AVAC, adaptado [62].....	74
Figura 4.31 - Sistema de climatização compacto da série UQE 2400 [63].....	75
Figura 4.32 - Sistema de climatização split da série UQE 3250 [64].....	76
Figura 4.33 - Esquema exemplificativo da ventilação no transporte ferroviário [65].....	77
Figura 4.34 - Evolução da temperatura interior em função da temperatura exterior, adaptado de [66].....	78
Figura 4.35 - Localização da medição da temperatura interior adaptado [69]	79
Figura 4.36 - Humidade relativa aceitável, adaptado de [64].....	80
Figura 4.37 Velocidade do ar aceitável, adaptado de [64].	80

Índice de Tabelas

Tabela 2.1 - Características da automotora diesel climatizada [16] [17] [18].....	11
Tabela 2.2 -Características da automotora eléctrica climatizada [20] [21] [22] [23] [24] [25] [26] [27].....	12
Tabela 2.3 - Características da locomotiva eléctrica climatizada [28]	13
Tabela 2.4 - Características da locomotiva diesel não climatizado [30].	13
Tabela 2.5 - Características das carruagens climatizadas.....	14
Tabela 3.1 - Limiar de protecção e margem de tolerância para os poluentes físico-químicos [31].	32
Tabela 4.1 – Equipamento instalados.	39
Tabela 4.2 - Fluidos frigorigéneos existentes nos splits.....	39
Tabela 4.3 - Constituição das salas do primeiro 0.....	41
Tabela 4.4- Constituição das salas do primeiro piso 1.	41
Tabela 4.5 -Constituintes das salas tipo.....	44
Tabela 4.6a - Coeficientes globais de transmissão de térmica.	45
Tabela 4.6b - Coeficientes globais de transmissão de térmica.	45
Tabela 4.7 - Potência das salas tipo.....	48
Tabela 4.8 - Potências referentes à ala Norte do piso 1.....	50
Tabela 4.9 - Potências referentes à ala Sul do piso 1.	51
Tabela 4.10 - Potências referentes ao Rés-do-chão.....	51
Tabela 4.11 - Características das unidades exteriores.	59
Tabela 4.12a - Características das unidades interiores.....	60
Tabela 4.12b - Características das unidades interiores.....	61
Tabela 4.13 - Características das unidades exteriores.	67
Tabela 4.14a - Características das unidades interiores.....	68

Tabela 4.14b - Características das unidades interiores.....	69
Tabela 4.15 – Comparação dos critérios seleccionados	71
Tabela 4.16 - Métodos de referência, métodos equivalentes e requisitos mínimos para analisadores portáteis de leitura em tempo real [46] [71].	81

1. Introdução

1.1 Enquadramento do tema

Os sistemas de climatização, nos dias de hoje, são indispensáveis para o conforto térmico do Homem. Estes sistemas, conhecidos também por aquecimento, ventilação e ar condicionado (AVAC), são compostos por equipamentos, dispostos de forma estratégica, para que seja possível transportar o fluido, até ao espaço que se pretende climatizar, obtendo-se assim as condições pretendidas [1].

Em 1902 Willis H. Carrier desenvolveu o primeiro sistema automático de climatização, e desde então em qualquer edifício, transporte, o sistema é utilizado, com as devidas mudanças que advieram com o tempo. O conforto térmico é, portanto, um parâmetro sem o qual a sociedade de hoje não consegue viver [1].

A importância dos sistemas de AVAC é também comprovada pelo seu consumo de energia a nível mundial, tanto a nível industrial como doméstico, porque representa cerca de 40% do consumo de energia do mundo. Este valor, apesar de elevado, é imperativo o porquê da sua existência, pois os sistemas AVAC são essenciais para o conforto térmico das pessoas, quer seja no trabalho, nos transportes ou em casa [2]. Uma característica que se deve ter em conta ao dimensionar/installar um sistema de AVAC é que este tem de ser o mais optimizado possível para que não haja desperdício de energia, que consequentemente, resulta numa poupança energética e económica, e contribui para um mundo mais sustentável.

Além dos sistemas de climatização em instalações, também as empresas de transporte pretendem obter o melhor conforto dos seus clientes. Para tal, é necessário que haja uma boa projecção e concepção destes sistemas. Esta é uma preocupação da CP, o conforto dos trabalhadores e dos passageiros, quer seja na parte estática, edifícios, quer seja da parte móvel, nos comboios, uma vez que muitas pessoas passam bastante tempo neste meio de locomoção.

1.2 Motivação e Objectivos

Uma das principais motivações prende-se com o facto de conseguir fazer uma ligação entre o conhecimento teórico apreendido ao longo do Curso de Licenciatura e Mestrado em Engenharia Mecânica do Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, com os conhecimentos aplicados no “terreno”, ou seja, na CP.

O estágio na CP teve primeiramente como objectivo contactar com o mundo laboral e a aplicação prática dos conceitos teóricos estudados ao longo dos Cursos. Outros dos objectivos foi a escolha do sistema de climatização mais favorável para o edifício de Santa Apolónia e ainda a sua projecção através da utilização de softwares da Daikin e da Mitsubishi. Foi também possível perceber a composição da frota da CP e a forma como a mesma é climatizada, quais os componentes e onde se situam. Foi ainda descrito quais os parâmetros do ar, que servem para verificar a qualidade do mesmo, quais os seus valores máximos e quais os problemas que podem advir. Para evitar estes problemas, são descritos os testes que tem de se fazer e quais os instrumentos utilizados.

Para que os objectivos e respectivas motivações fossem de encontro aos da empresa e vice-versa, foi então realizado um programa de estágio, onde se encontra discriminado os objectivos e metas a cumprir, bem como os respectivos prazos. Esse documento serviu de guia para que, ao longo de todo o estágio, nunca se perdesse o rumo e objectivos finais.

1.3 Metodologia

O presente documento tem como base o estágio realizado na CP e está dividido em cinco capítulos, dos quais, numa fase inicial se faz uma breve introdução ao tema da climatização de edifícios e comboios (capítulo um).

O capítulo dois refere-se à descrição da CP, empresa onde foi realizado o respectivo estágio. Neste capítulo é abordado a sua história, os comboios que possui, quais os seus sistemas de climatização e como funcionam.

No capítulo três é abordada a legislação referente à climatização de espaços tendo como guia o Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE), a temática dos fluidos frigorígenos utilizados nos sistemas de ar condicionado e ainda os componentes referentes à qualidade do ar interior e ainda os problemas que podem advir daí.

O quarto capítulo remete para o trabalho desenvolvido durante o estágio. Começando por ser apresentada uma descrição do edifício da CP em Santa Apolónia, o cálculo de potências, o dimensionamento dos equipamentos necessários para a climatização dos espaços, quais os valores que não podem ser ultrapassados dos diferentes componentes do ar e a forma indicada de os medir nas carruagens.

Finalmente, no capítulo cinco, são apresentadas as principais conclusões retiradas ao longo de todo o estágio na Comboios de Portugal.

2.A CP – Comboios de Portugal, EPE

2.1 História e descrição

Em 1844, nasceu a primeira empresa em Portugal para a construção de caminhos-de-ferro, denominada de Companhia das Obras Públicas de Portugal. Porém, devido à instabilidade política, a empresa não durou muito tempo.

Em 1860, é criada a Companhia Real dos Caminhos de Ferro Portugueses. E após a Implementação da Republica, 5 de Outubro de 1910, a Companhia vê o seu nome alterado para Companhia dos Caminhos de Ferro Portugueses. Anos depois, em 1975, é criada a empresa publica CP – Caminhos de Ferro Portugueses, E.P., para que fossem geridos os caminhos-de-ferro em Portugal. Em 1985, existiam diversos caminhos-de-ferro em Portugal tal como mostra a figura 2.1 [3].

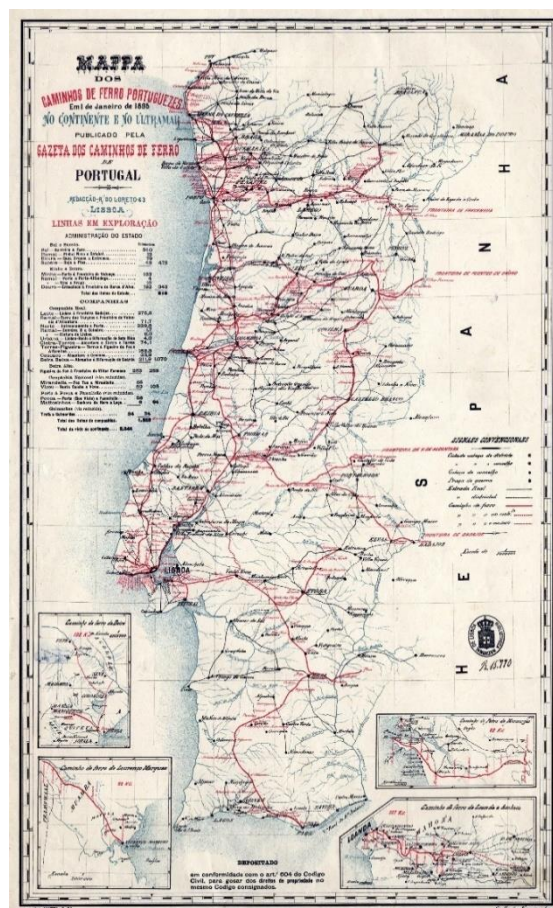


Figura 2.1- Caminhos-de-ferro em Portugal [4].

As primeiras locomotivas eram movidas a vapor, como na figura 2.2, sendo que a primeira utilizava uma caldeira a lenha, e posteriormente, o carvão mineral.



Figura 2.2 - Locomotiva a vapor [5].

Após o término da Segunda Guerra Mundial, surgem as locomotivas movidas a *diesel*, como se pode ver na figura 2.3. Estas provaram ser melhores do que as movidas a vapor, porém, o seu poder de tracção era fraco, e desta forma, surgiram as diesel-eléctricas [6].



Figura 2.3 - Locomotiva Diesel [7].

No início dos anos 90, são introduzidas em Portugal as locomotivas eléctricas, menos poluentes que as *diesel* e ao mesmo tempo, menos dispendiosas, pois fica mais barato utilizar a electricidade como fonte de energia do que a *diesel* [6]. Apresentam também um novo *design* como demonstra a figura 2.4.



Figura 2.4 - Locomotiva eléctrica [8].

Em 1997, é criada a Rede Ferroviária Nacional - REFER, EP, através do Decreto-Lei n.º 104/97, a qual ficou responsável pela gestão das infra-estruturas ferroviárias [9] [3].

A partir de 2009, a CP (Comboios de Portugal) como é conhecida passou a ser designada como Comboios de Portugal, E.P.E, através do Decreto-Lei nº 137-A/2009, uma vez que esta se transformou numa entidade pública empresarial, em que o Estado tem a totalidade da empresa [7] [10].

Em Agosto de 2009, é constituída a CP Carga, que passa a ser responsável pelo transporte de mercadorias, sendo que até então a responsabilidade recaía na CP. Neste sentido, a partir dessa data a CP passou apenas a ser responsável pelo transporte ferroviário de passageiros. A CP participa directamente e indirectamente no capital de diversas sociedades [3].

Actualmente, devido ao crescimento populacional, construção de vias rápidas e desenvolvimento industrial, os caminhos-de-ferro em Portugal têm uma menor extensão, tendo sido substituídos, na sua maioria, por auto-estradas. A figura 2.5 evidencia os caminhos-de-ferro existentes hoje em dia.



Figura 2.5 - Caminhos-de-ferro existentes hoje em dia em Portugal [11].

A CP tem como missão a prestação de “serviços de transporte ferroviário de passageiros, com uma dinâmica de inovação, salvaguarda do ambiente e melhoria de segurança, aumentando o valor do serviço prestado ao cliente e reforçando as quotas de mercado nos segmentos-alvo” [3].

Nos dias de hoje, a CP tem uma estrutura organizacional bem definida, como se pode visualizar na figura 2.6.

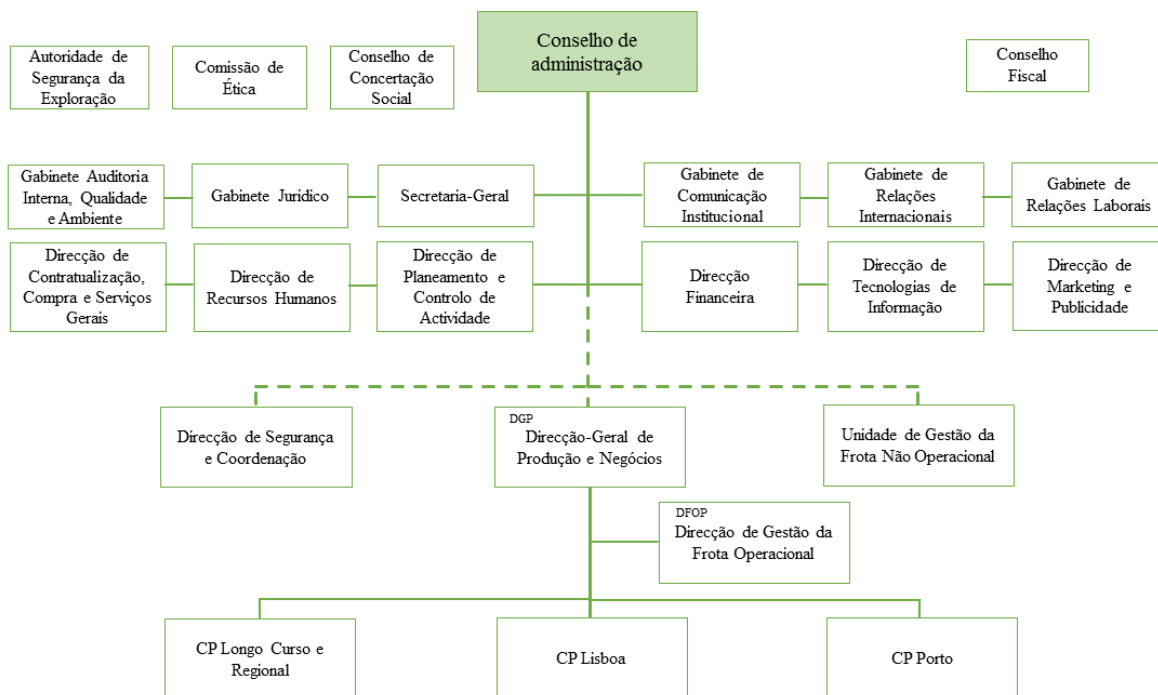


Figura 2.6 – Organograma da estrutura organizacional da CP adaptado de [12].

2.2 Direcção de Gestão da Frota Operacional

O departamento da Organização onde se enquadra o presente estágio é na Direcção de Gestão da Frota Operacional (DFOP), que está inserido na Direcção-Geral de Produção e Negócios (DGP). A DFOP encontra-se presente na figura 2.6, porém, na figura 2.7, encontra-se com mais detalhe. Esta encontra-se dividida em três áreas: Gestão Técnica, Gestão Contratual e Gestão Operacional de Manutenção.

A DGP tem como missão “Conceber, produzir e comercializar, de forma sustentável, serviços de transporte de passageiros, Urbanos, Regionais e de Longo Curso, definindo objectivos de qualidade, segurança, fiabilidade e pontualidade por eixo e assumindo a responsabilidade pelos resultados alcançados, numa lógica empresarial e de obrigações de serviço público. Fortalecer a quota de mercado, através de uma melhor percepção das necessidades dos Clientes, de forma a permitir alcançar o crescimento de receitas e margens de forma sustentável” [3].

A DFOP encontra-se localizada em um edifício da CP, em Santa Apolónia, e tem 67 colaboradores. Alguns dos objectivos da DFOP prendem-se com a contratualização e gestão dos contractos de material circulante activo [13].

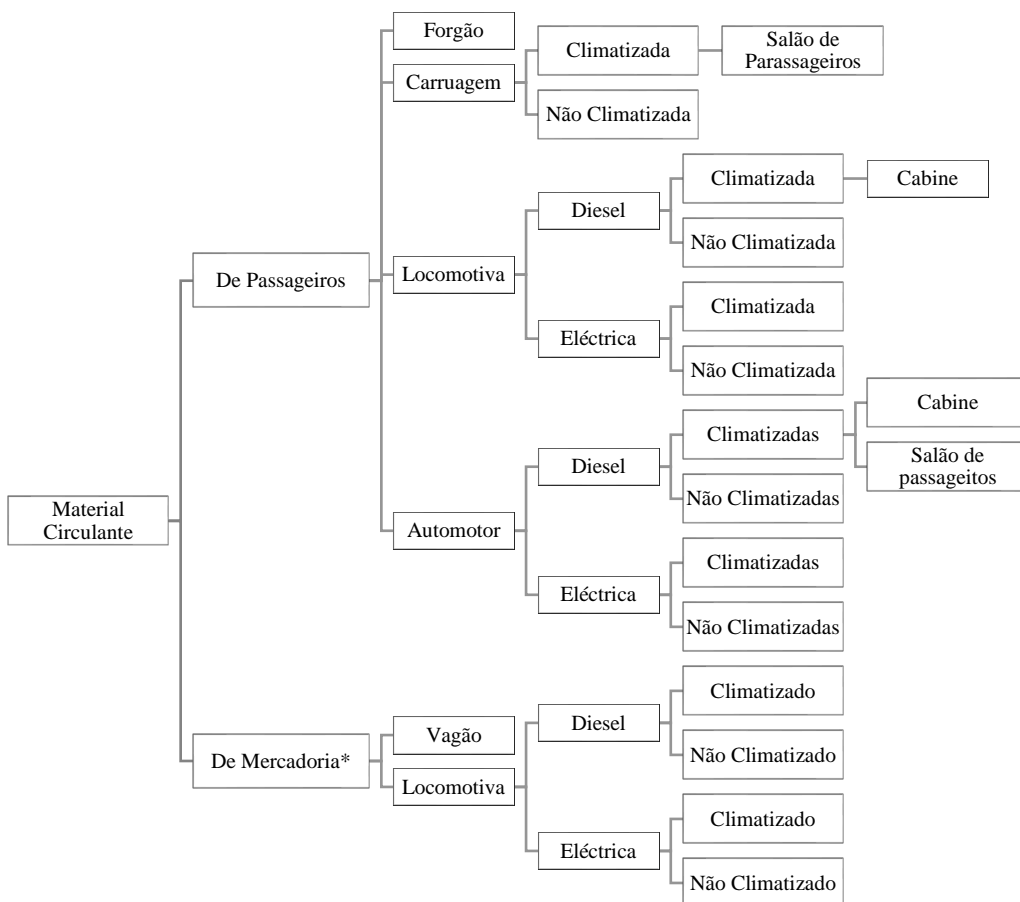


Figura 2.7 – Organização da DFOP adaptado de [12].

2.3 Classificação do material circulante

Para se conseguir perceber melhor o papel da DFOP, é necessário compreender o conceito de material circulante. O termo material circulante prende-se com o conjunto de todos os equipamentos que circulam na ferrovia. Assim podemos dizer que existem alguns tipos de material circulante como os Suburbanos, Urbanos, Regionais, Intercidades e o Alfa Pendular.

A Figura 2.8 permite compreender como se divide o material circulante, principalmente em locomotivas e automotora, se são eléctricas ou a *diesel*, e ainda se são climatizadas ou não climatizadas. É ainda visível, uma parte que pertence agora à CP Carga, tal como referido no capítulo 2.1, e que neste momento não é explorada pela CP.



*Não explorado pela CP

Figura 2.8 - Organograma do material circulante.

Para que se perceba melhor qual o material circulante que a CP detém e ilustrar a descrição efectuada na figura 2.8, são apresentadas da tabela 2.1 a 2.4 com algum detalhe, algumas características das respectivas unidades. Ao mesmo tempo que são apresentadas as tabelas, ilustram-se também através de figuras as mesmas tabelas, desde a figura 2.9 até à figura 2.20.



Figura 2.9 – Material circulante da série 0351-0371 [14].



Figura 2.10 - Material circulante da série 0451-0469 [15].



Figura 2.11 - Material circulante da série 9601-967 [14].

Tabela 2.1 - Características da automotora *diesel* climatizada [16] [17] [18].

Material circulante	Ano de entrada ao serviço	Unidades a operar	Velocidade máxima [km/h]	Circulação
Série 0350 (0351-0371) – Allan (USD 0350)	2000 (após modernização)	19	100	Regional e inter-regional
Série 0450 (0451-469) - UDD 450	1999 (após modernização)	19	120	Regional e inter-regional
Série 9630 (9631-9637) - UDD 9630	1991	7	90	Regional e inter-regional



Figura 2.12 - Material circulante da série 2241-2297 [14].



Figura 2.13- Material circulante da série 2301-2342 e 2351-2392 [14].



Figura 2.14 - Material circulante da série 2401-2414 e 2451-2664 [19].



Figura 2.15 - Material circulante da série 3401-3434 e 3451-3484 [14].

Tabela 2.2 -Características da automotora eléctrica climatizada [20] [21] [22] [23] [24] [25] [26] [27].

Material circulante	Ano de entrada ao serviço	Unidades a operar	Velocidade máxima [km/h]	Circulação
Serie 2240 (2241-2297) - UTE 2240	2004/2005 (após modernização)	57	120	Regional e Inter-regional
Série 2300 (2301-2351) - UQE 2300	1992	39	120	Suburbano
Série 2400 (2401-2451) - UQE 2400	1997	14	120	Suburbano
Série 3150 (3151-3163) - UTE 3150	1998 (após modernização)	13	90	Urbano
Série 3250 (3251-3271) UQE 3250	1980 (após modernização)	21	90	Urbano
Série 3400 (3401-3034) UME 3400	2002	34	140	Urbano
Série 3500 (3519-3530) UQE 3500 (2 pisos)	1999	12	140	Suburbano
Série 4000 (4001-4010) – Alfa Pendular (CPA 4000)	1999	10	220	Alfa Pendular



Figura 2.16 - Material circulante da série 3519-3530 e 3569-3580 [14].



Figura 2.17 - Material circulante da série 4001-4010 e 4051-4060.



Figura 2.18 – Material circulante da série 3151-3163, 3255, 3261-3263 e 3251-3271 [14].

Tabela 2.3 - Características da locomotiva eléctrica climatizada [28].

Material circulante	Ano de entrada ao serviço	Unidades a operar	Velocidade máxima [km/h]	Circulação
Série 5600 (5601-5630) - Siemens / Krauss Maffei (LE 5600)	1992	29	220	Intercidade



Figura 2.19 - Material circulante da série 5601-5630 [29].

Tabela 2.4 - Características da locomotiva diesel não climatizado [30].

Material circulante	Ano de entrada ao serviço	Unidades a operar	Velocidade máxima (km/h)	Circulação
Série 1400 (1401-1467) - English Electric (LD 1400)	1967-1969	24	105	Regional



Figura 2.20 - Material circulante da série 1401-1469.

Tabela 2.5 - Características das carruagens climatizadas.

Material circulante	Ano de entrada ao serviço	Unidades a operar	Velocidade máxima [km/h]
1997001(1997001-1997010) - Carruagens Corail 1ª Classe	2003 (após modernização)	10	200
2197001 (2197001-2197037) - Carruagens Corail 2ª Classe	2003 (após modernização)	36	200
8597001 (8597001-8597010) - Carruagens Corail 1ª Classe/Bar	1993/1994 (após modernização)	10	160
8997001- Carruagem Corail “VIP”	2003 (após modernização)	1	200
2074001(2074001-2074031) – Carruagens Modernizadas 2ª Classe	1993/1994	30	160
1074001(1074001-1074003) - Carruagens Modernizadas 1ª Classe	1993/1994	3	160
8574101 (8574101-8574111) - Carruagens Modernizada 1ª Classe/Bar	2003 (após modernização)	10	200

2.4 Sistema de climatização

Para que os sistemas de climatização consigam desempenhar a sua função, manter as condições de um determinado espaço conforme o desejado, é necessário que os mesmos disponham de determinados equipamentos. Primeiro é preciso entender que estas máquinas são equipamentos que funcionam por ciclos e que o fluido que circula nestes denomina-se de fluido frigorigéneo. Os equipamentos essenciais para o funcionamento do ciclo frigorífico são o compressor, o condensador, a válvula de expansão e o evaporador. A figura 2.21 representa os equipamentos que são essenciais para o funcionamento do ciclo frigorífico [31].

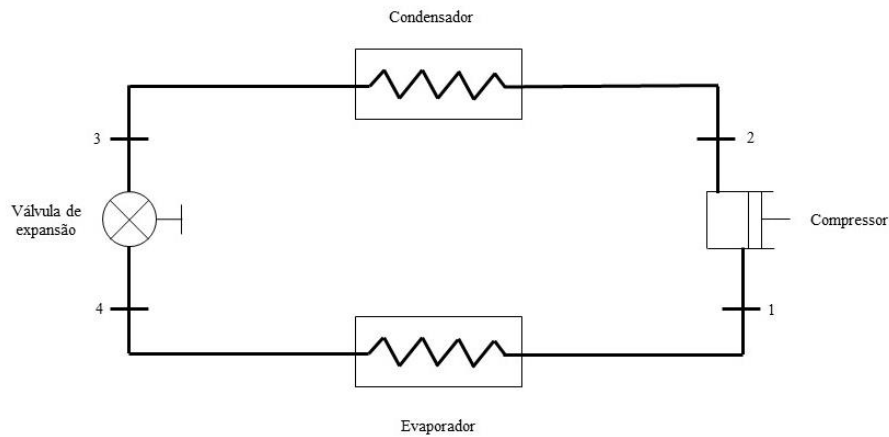


Figura 2.21 - Principais componentes do ciclo frigorífico, adaptado de [1].

Um dos sistemas a ser abordado neste trabalho é o sistema *split*. Este é um sistema de expansão directa, ou seja, existe expansão do fluido refrigerante dentro de uma serpentina em contacto com o ar a climatizar. Tal como o nome indica, é um sistema “separado”, onde existe uma unidade interior (evaporador) que fica dentro do local, e uma unidade exterior (condensador e compressor) que fica no exterior do local. Ambas as unidades são ligadas por tubos onde circula o fluido frigorigéneo tal como se pode verificar pela figura 2.22 [32].

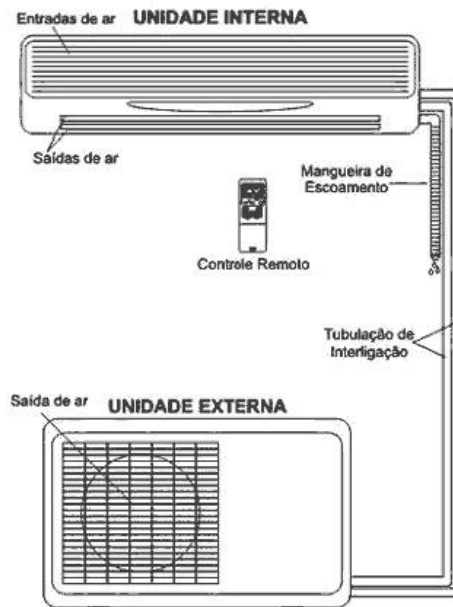


Figura 2.22 - Sistema *Split* [33].

O sistema *multi-split* parte do mesmo princípio que o *split*, sendo a única diferença é que tem uma unidade exterior que pode estar ligada a diversas unidades interiores.

O sistema VRV é um sistema de volume de refrigerante variável, onde existe uma unidade exterior ligada a diversas unidades interiores. A principal diferença entre este sistema e o *multi-split*, é o número de unidades interiores que podem estar ligadas à unidade exterior. No VRV, o número de unidade interiores pode chegar a 64, enquanto que no *multi-split* o número é de 5 unidades interiores. O VRV pode ser de dois tubos ou a três tubos. A diferença reside no facto que se for a dois tubos, todas as unidades produzem frio, ou todas produzem calor. Caso seja a três tubos, permite que algumas unidades produzam frio e outras, em simultâneo, calor [34] [35].

A figura 2.23 exemplifica a ligação de um sistema VRV a três tubos onde é possível verificar que umas unidades interiores estão a produzir frio, e outro calor, em simultâneo. Ou seja, é possível que, com a mesma unidade exterior, uma unidade interior esteja a produzir calor, e outra unidade interior reproduza frio. Isto é possível, pois existe uma bateria, entre a unidade exterior e as unidades interiores, ou uma bateria por cada unidade interior, dependendo do projecto, que permite que haja a simultaneidade entre o frio e o calor nas unidades interiores.

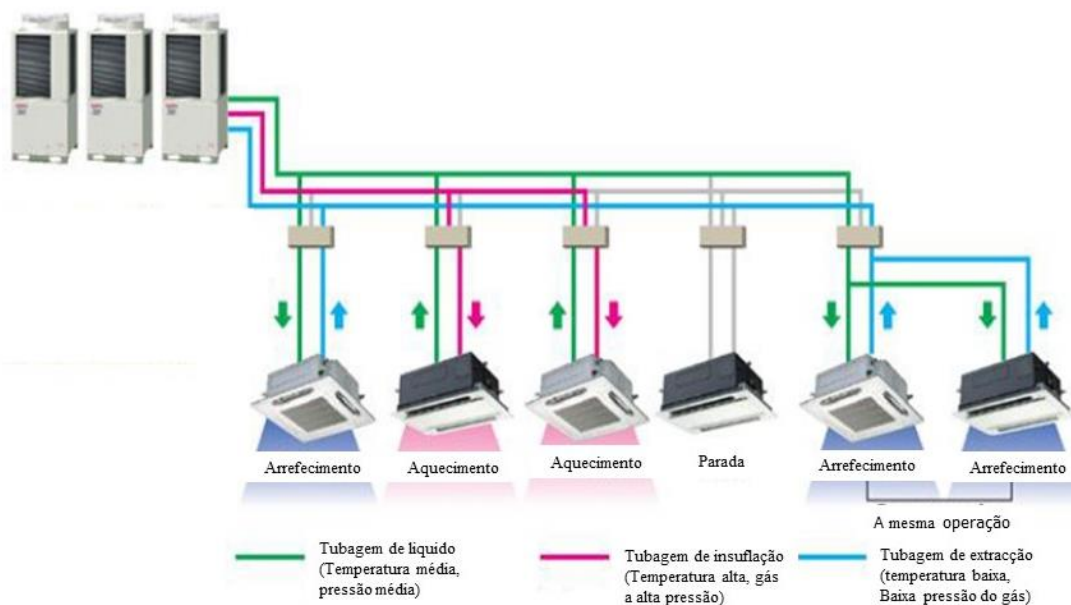


Figura 2.23 - Sistema VRV a três tubos, adaptado de [36].

Os *chillers* são unidades produtoras de água refrigerada, devendo arrefecer a mesma através da condensação do ar ou através de água a uma temperatura mais baixa. Esta é uma boa característica para instalações em Portugal, uma vez que é no Verão que mais são utilizados os sistemas de climatização. Neste caso, uma vez que a água é refrigerada e a sua temperatura mais baixa que a exterior, as trocas de calor entre o exterior e o interior são mais eficientes. Porém, nos dias de hoje, o *chiller* já consegue também ter a função de aquecimento. A figura 2.24 é um exemplo de um *chiller de absorção* [36].

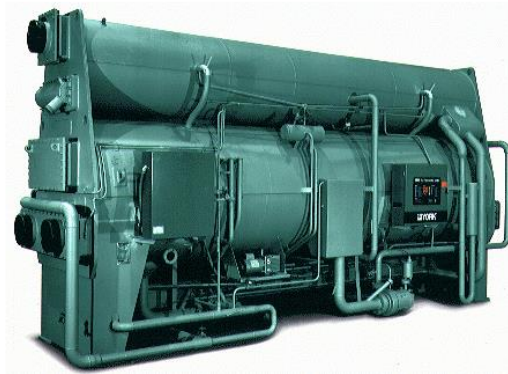


Figura 2.24 – *Chiller de absorção* [37].

Uma unidade de tratamento de ar (UTA) é um equipamento concebido para responder a certas e determinadas necessidades de climatização, condicionamentos e renovações/circulação de ar no interior de edifícios. Contribuem assim para uma melhor qualidade do ar interior, conforto térmico e eficiência energética das instalações em que se inserem [1].

As UTA são compostas por uma caixa metálica que contam normalmente no seu interior com um ventilador, uma câmara de mistura, uma câmara de filtragem e baterias de arrefecimento e/ou aquecimento. Caso estas tratem a mistura, ou seja, a junção de ar de retorno com o ar novo proveniente do exterior, denominamos de UTA, caso introduzam no espaço a climatizar 100% de ar novo, é designada de UTAN, isto é, unidade de tratamento de ar novo.



Figura 2.25 – UTA [36].

Os sistemas *close control*, ver figura 2.26, são sistemas idênticos aos sistemas *split* existindo uma unidade interior, uma unidade exterior, um compressor, um condensador, um ventilador, um evaporador, um filtro secador. A temperatura e a humidade são controladas com precisão através dos componentes que compõem o sistema. Porém existem algumas limitações como a distância entre a unidade interior e exterior. São maioritariamente utilizados em salas de servidores [38].



Figura 2.26 – Sistema *close control* [39].

3. Conforto Térmico e a QAI

3.1 Introdução

Devido ao aumento da população mundial e da evolução tecnológica, bem como às crescentes exigências de conforto, verifica-se que o consumo energético tem vindo a aumentar exponencialmente. Uma vez que esta energia provém, maioritariamente, de combustíveis fósseis, e que estes contribuem para o aumento do efeito de estufa, diminuição da camada de ozono, entre outros, é necessário a aplicação das políticas existentes, por forma a otimizar ao máximo o consumo energético.

Em 1998, Portugal assinou o Protocolo de Quioto, sendo este um tratado internacional com compromissos mais rígidos para a redução da emissão dos gases que agravam o efeito estufa. Desta forma, começou-se a olhar para a climatização de uma outra forma, tendo consciência dos perigos para o planeta aquando da utilização de certos fluidos frigorigéneos nos sistemas.

A primeira regulamentação térmica em Portugal, Decreto-lei 40/90 – Regulamento das Características de Comportamento Térmico de Edifícios (RCCTE), surgiu em 1990. A figura 3.1 representa a evolução das normas relativamente às necessidades energéticas dos edifícios.

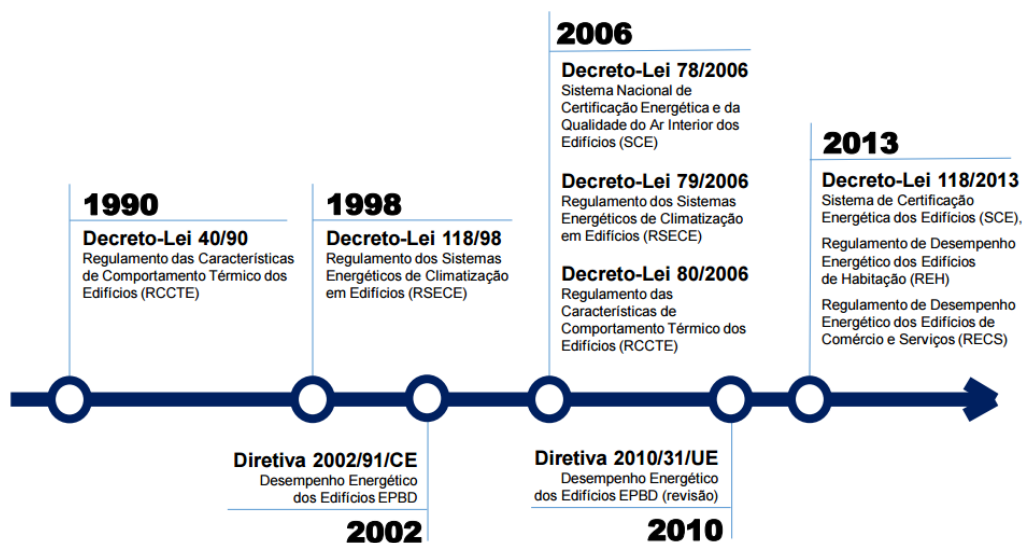


Figura 3.1 - Evolução da legislação e regulamentação aplicadas a edifícios [40].

3.2 Sistema de Certificação Energética de Edifícios

O Sistema de Certificação Energética de Edifícios (SCE), juntamente com outros dois regulamentos técnicos, Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE) e Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização de Edifícios (RSECE) são imprescindíveis para que os edifícios estejam bem dimensionados do ponto de vista energético. E, apesar de os mesmos já não estarem em vigor e de terem sido substituídos respectivamente, O RCCTE pelo Decreto-Lei nº 118/2013 e o RSECE pelo Decreto-Lei N.º 28/2016, servem, ainda hoje, como guia para cálculos e valores que são necessários utilizar. Assim, este terá um bom desempenho energético, e por consequência, uma poupança de energia, sem nunca comprometer a finalidade para que o edifício foi construído [41] [42] [43].

Segundo o Artigo 2.º do Decreto-Lei nº78/2006, o objectivo do SCE é garantir a aplicação dos regulamentos, nomeadamente, as condições da eficiência energética e a garantia da qualidade do ar interior (QAI). O SCE define regras e métodos para verificação da aplicação dos regulamentos mencionados acima a novos edifícios, bem como, numa fase posterior, aos edifícios já construídos.

A Figura 3.2 pretende demonstrar que, apesar de haver 3 regulamentos distintos, ambos se interligam para melhorar o conforto humano.

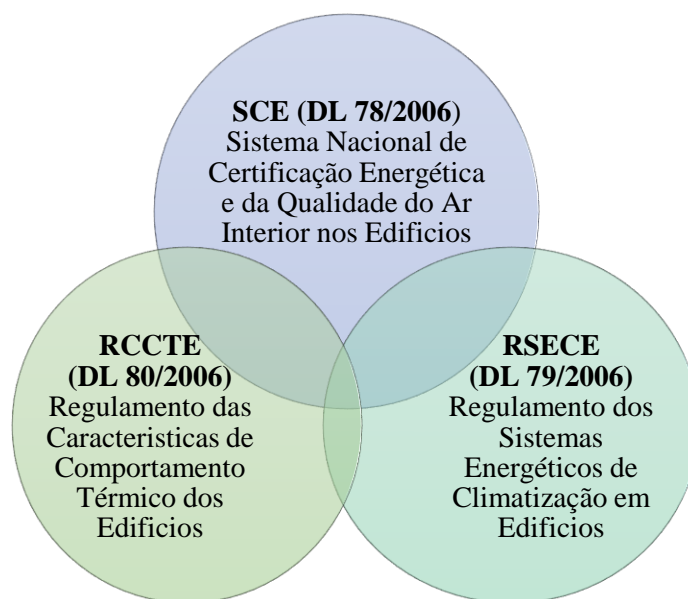


Figura 3.2 - Esquema dos Regulamentos implementados em 2006, adaptado de [44].

3.3 Regulamento das Características de Comportamento Térmico de Edifícios

O Decreto-Lei 80/2006 de 4 de Abril, Regulamento das Características de Comportamento Térmico de Edifícios, determina as regras que devem ser cumpridas relativamente a novos edifícios de habitação e pequenos edifícios de serviço sem sistemas de climatização. São impostos limites à produção de águas quentes sanitárias, e também aos consumos energéticos [42].

Uma preocupação deste regulamento prende-se com a dependência dos combustíveis fósseis. Assim, é imposto pelo mesmo, a instalação de painéis solares térmicos, e sempre que possível, recorrer também a outras fontes de energia renovável [42]. O RCCTE apresenta a metodologia que se deve utilizar no cálculo de cargas térmicas e outros, para que se cumpram os requisitos hoje em dia exigidos. Seguidamente, ir-se-á apresentar a metodologia de cálculo de cargas térmicas segundo o RCCTE, tendo sido o método adoptado neste trabalho.

3.3.1 Zonas Climáticas

Para que o edifício seja o mais eficiente possível, é necessário que se leve em conta a sua localização. Assim, o País é dividido em três zonas climáticas de Inverno (I1, I2 e I3) e três zonas climáticas de Verão (V1, V2 e V3). As zonas de Verão encontram-se ainda subdivididas em Região Norte e Região Sul. Esta última Região engloba área a sul do rio Tejo e ainda os seguintes concelhos dos distritos de Lisboa e Santarém: Lisboa, Oeiras, Cascais, Amadora, Loures, Odivelas, Vila Franca de Xira, Azambuja, Cartaxo e Santarém [42].

A zona climática de Inverno é diferenciada através do número de graus-dias de aquecimento. Por outro lado, a zona climática de Verão é estabelecida pela temperatura média exterior do local.

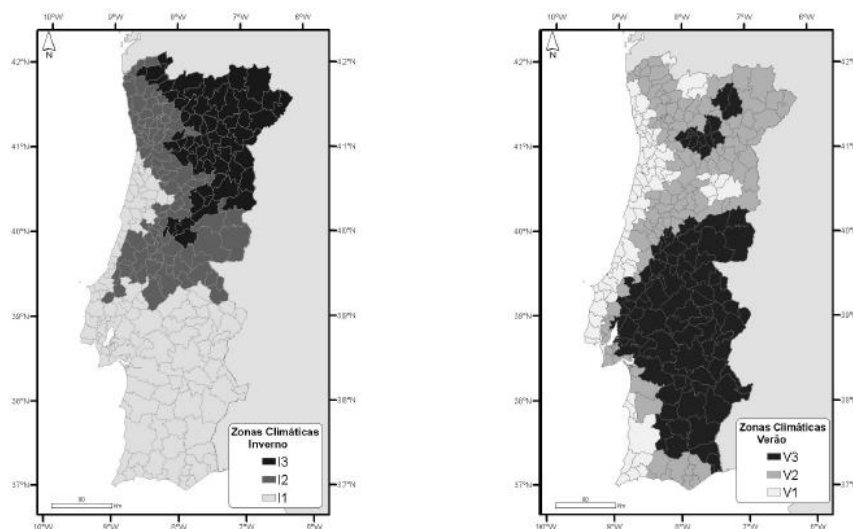


Figura 3.3 - Zonas climáticas de Inverno (esquerda) e de Verão (direita) de Portugal Continental [42].

3.3.2. Parâmetros de caracterização térmica

3.3.2.1. Coeficiente de transmissão térmica

Segundo o RCCTE, o coeficiente de transmissão térmica de um elemento em relação à sua envolvente é “a quantidade de calor por unidade de tempo que atravessa uma superfície de área unitária desse elemento da envolvente por unidade de diferença de temperatura entre os ambientes que ele separa”. Este valor depende do factor construtivo, ou seja, do material utilizado, se este material é homogéneo ou heterogéneo e a sua espessura. Este valor leva também em conta a existência de caixas-de-ar entre materiais [42].

Os valores dos coeficientes de transmissão térmica dos materiais mais utilizados encontram-se tabelados no documento ITE 50, publicado pelo Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), bem como noutros documentos como no Manual de Aire Acondicionado da Carrier. Porém, como o documento ITE 50 é uma referencia relativamente a materiais de construtivos, optou-se por ser esta referência a ser utilizada. Desta forma, é então necessário recorrer a um cálculo para se obter o valor do coeficiente de transferência térmica (U). Sendo o cálculo efectuado conforme demonstra a equação 1:

$$U = \frac{1}{R_{si} + \sum_j R_j + R_{se}} \quad (1)$$

Onde,

R_j – Resistência térmica da camada j [$m^2 \cdot ^\circ C/W$];

R_{si} e R_{se} - Resistência térmica superficial interior e exterior, respetivamente [$m^2 \cdot ^\circ C/W$];

U – Coeficiente de transmissão térmica [$W/m^2 \cdot ^\circ C$].

Para a utilização da equação 1 é preciso saber o valor da resistência térmica do material em causa. Sendo esta calculada através da razão entre a espessura do material e a sua condutibilidade térmica tal como revela a equação 2:

$$R_j = \frac{e_j}{\lambda_j} \quad (2)$$

Em que,

e_j – Espessura do material j [m];

λ_j – Condutibilidade térmica do material j [$W/m \cdot ^\circ C$]. É de salientar que se encontra no Anexo IX do RCCTE o quadro IX.1 que limita os valores máximos admissíveis para os coeficientes de transmissão térmicos.

3.3.2.2. Factor Solar

O RCCTE define que o factor solar de um vidro é a razão entre a energia solar transferida para o interior do espaço através do vidro e a energia solar que nele incide. Determina ainda que o factor solar de um vão envidraçado é o quociente entre a energia solar transmitida para o interior através de um vão envidraçado com o respectivo aparelho de protecção e a energia da radiação solar nele incidente. É de notar que o factor solar toma diferentes valores para as diferentes épocas do ano. Existe duas formas de calcular o factor solar, caso o vidro seja duplo calcula-se pela equação 3, e caso seja simples, utiliza-se a equação 4.

$$g_{\perp} = \frac{g'_{\perp} \times g_{\perp v}}{0,85} \quad (3)$$

$$g_{\perp} = \frac{g'_{\perp} \times g_{\perp v}}{0,75} \quad (4)$$

Onde,

g_{\perp} - Factor solar do vão envidraçado;

g'_{\perp} - Factor solar do vão envidraçado com protecção solar e vidro incolor;

$g_{\perp v}$ - Factor solar do envidraçado.

3.3.2.3. Taxa de Renovação de ar

Segundo o RCCTE, é necessário que existam 0,6 renovações de ar por hora no local a climatizar, para que se consiga garantir a qualidade do ar interior. Devendo assim existir no edificio ou fracção autónoma mecanismos de ventilação para que o valor acima referido seja respeitado. Neste sentido, um edificio pode ter ventilação forçada ou natural. A ventilação forçada consiste na renovação do ar interior por ar novo atmosférico através de ventiladores eléctricos. Enquanto a ventilação natural é a renovação do ar sem recurso a elementos mecânicos.

Para os edificios com ventilação natural, que não cumpram as 0,6 renovações de ar por hora, o valor de renovações por hora é determinado através do grau de exposição dos edificios à acção do vento e, ainda, conforme a permeabilidade ao ar da caixilharia que se pretende utilizar [42].

3.3.2.4. Inércia térmica

O conceito de inércia térmica caracteriza a resistência oferecida pelos sistemas térmicos à tentativa de alterar o seu estado termodinâmico. Esta grandeza calcula-se através da equação 5:

$$I_t = \frac{\sum M_{si} \times S_i}{Ap} \quad (5)$$

Em que,

M_{si} - Massa superficial do elemento i [kg/m^2];

S_i - Área da superfície interior do elemento i [m^2];

Ap - Área útil do pavimento [m^2].

3.3.2.5. Necessidades nominais de energia útil para aquecimento

De acordo com o RCCTE, a necessidade nominal de energia útil para aquecimento é definida como “o parâmetro que exprime a quantidade de energia útil necessária para manter em permanência um edifício ou uma fracção autónoma a uma temperatura interior de referência durante a estação de aquecimento”. Através da equação 6, é então possível calcular as necessidades nominais de energia útil para aquecimento [42].

$$N_{ic} = \frac{(Q_t + Q_v - Q_{gu})}{Ap} \quad (6)$$

Onde,

Q_t - Perdas de calor por condução através da envolvente do edifício [kWh];

Q_v - Perdas de calor resultantes da renovação do ar [kWh];

Q_{gu} - Ganhos de calor útil resultantes dos ocupantes, iluminação, equipamentos e ganhos solares dos vãos envidraçados [kWh];

Ap - Área útil do pavimento [m^2].

O factor Q_t é determinado através do somatório de todas as perdas de calor inerentes ao mesmo, ver equação 7. Sendo estas, o calor perdido através da envolvente em contacto com o exterior (Q_{ext}), em contacto com locais não aquecidos (Q_{lna}), pavimento e paredes em contacto com o solo (Q_{pe}) e, finalmente, pontes térmicas lineares (Q_{pt}).

$$Q_t = Q_{ext} + Q_{lna} + Q_{pe} + Q_{pt} \quad (7)$$

Para se proceder ao cálculo da parcela da envolvente em contacto com o exterior (Q_{ext}) é necessário conhecer algumas variáveis como o coeficiente de transmissão térmica, a área e ainda, o número de graus-dias. Sendo o Q_{ext} dado pela equação 8:

$$Q_{ext} = 0,024 \times \sum U_j \times A_j \times GD \quad (8)$$

Em que,

U_j – Coeficiente de transmissão térmica do elemento j [W/ m². °C];

A_j – Área do elemento j da envolvente medida pelo interior [m²];

GD – Número de graus-dias de aquecimento.

A energia necessária para compensar as perdas de calor de elementos em contacto com locais não aquecidos (Q_{lna}), como por exemplo, corredores, garagens, escadas, entre outros é calculada através da equação 9.

$$Q_{lna} = 0,024 \times \sum U_j \times A_j \times GD \times \tau \quad (9)$$

Em que a amplitude térmica entre o interior e o exterior, é dado pela equação 10:

$$\tau = \frac{\theta_i - \theta_a}{\theta_i - \theta_{atm}} \quad (10)$$

Onde,

τ – Amplitude térmica entre o interior e o exterior;

θ_i – Temperatura do ar interior do edifício [°C];

θ_a – Temperatura do ar local não aquecido [°C];

θ_{atm} – Temperatura do ar exterior [°C].

Porém, conhecer o valor exacto da temperatura do ar local não aquecido é difícil, uma vez que este também depende de diversos factores. Deste modo, utiliza-se a Tabela IV.1 do RCCTE, onde são indicados diversos valores para τ , tendo em conta as situações mais frequentes em espaços não aquecidos [42].

Seguidamente, ir-se-á descrever o método de cálculo das perdas de calor pelo pavimento e pelas paredes em contacto com o solo, através da equação 11:

$$Q_{pe} = 0,024 \times \sum_j \Psi_j \times B_j \times GD \quad (11)$$

Em que,

Ψ_j - Coeficiente de transmissão térmica linear do elemento j em contacto com o terreno ou da ponte térmica linear j, [W/m.°C];

B_j - Desenvolvimento linear (medido pelo interior) do elemento j em contacto com o terreno, ou da ponte térmica linear j, [m].

Por fim, calcula-se a energia necessária para compensar as perdas térmicas lineares, na estação de aquecimento, dada pela equação 12:

$$Q_{pt} = 0,024 \times \sum_j \Psi_j \times B_j \times GD \quad (12)$$

As perdas de calor por unidade de tempo relativas à renovação do ar interior provem do factor Q_v (perdas de calor resultantes da renovação do ar), ver equação 13. Assim:

$$Q_v = 0,024 \times 0,34 \times R_{ph} \times A_p \times P_d \times GD \times (1 - \eta_v) \quad (13)$$

Onde,

R_{ph} - Número de renovações horarias do ar interior [h^{-1}];

P_d - Pé direito [m];

η_v - Rendimento do sistema de recuperação.

Os ganhos térmicos brutos, Q_g , podem ser decompostos em dois, conforme demonstra a equação 15.

$$Q_g = Q_i + Q_s \quad (14)$$

Em que,

Q_i - Ganhos térmicos internos;

Q_s - Ganhos solares através de vãos envidraçados.

Onde Q_i é calculado através da equação 15.

$$Q_i = qi + M + Ap + 0,72 \quad (15)$$

Em que,

qi – Ganhos térmicos internos por unidade de área [W/m^2], Quadro IV.3 do RCCTE;

M – Duração média da estação [meses].

O factor de obstrução, F_s , varia entre 0 e 1 representando a redução solar que incide no vão envidraçado, e calcula-se pela equação 16.

$$F_s = F_h \times F_o \times F_f \quad (16)$$

Em que,

F_h - Factor de sombreamento do horizonte por obstruções longínquas exteriores ao edifício ou por outros elementos do edifício;

F_o – Factor de sombreamento por elementos horizontais sobrepostos ao envidraçado;

F_f - Factor de sombreamento por elementos verticais adjacentes ao envidraçado.

O factor de forma (FF), ver equação 17, prende-se com a razão entre o somatório das superfícies da envolvente exterior e a envolvente interior onde ocorrem trocas de calor, pelo volume útil.

$$FF = \frac{A_{ext} + \sum_i (\tau \times A_{int}) i}{V} \quad (17)$$

Onde,

FF - Factor de forma;

τ - Amplitude térmica entre o interior e o exterior;

A_{int} - Área da envolvente interior [m^2]

V - Volume útil [m^3]

Para calcular se os ganhos através da radiação solar, obteve-se a equação 18 que relacionada a área da parede, a radiação específica e um factor de correcção.

$$P = A_{int} \times \text{radiação específica} \times fc \quad (18)$$

Em que,

P - Potência [W]

A_{int} - Área da envolvente interior [m^2]

Radiação específica – radiação específica [$Kcal/m^2 h$]

fc – factor de correcção

O cálculo dos ganhos de calor através da transmissão de paredes exteriores e telhado é obtido através da equação 19.

$$P = A_{ext} \times \Delta T_e \times U_j \quad (19)$$

Onde,

P - Potência [W]

A_{ext} - Área da envolvente exterior [m^2]

ΔT_e - Variação da temperatura [$^{\circ}C$]

U_j – Coeficiente de transmissão térmica do elemento j [$W/ m^2 \cdot ^{\circ}C$];

Através da equação 20, obtém-se o valor do cálculo dos ganhos de calor através da transmissão por paredes interiores, portas, chão e tecto.

$$P = A_j \times \Delta T \times U_j \quad (20)$$

Onde,

P - Potência [W]

A_j - Área do elemento j da envolvente medida pelo interior [m²]

ΔT - Variação da temperatura [°C]

U_j - Coeficiente de transmissão térmica do elemento j [W/ m². °C];

Relativamente aos ganhos através da iluminação calculou-se através da equação 21 que relaciona o número de aparelhos, a potência dos mesmos e um factor de potência.

$$P = NA \times Pl \times k \quad (21)$$

Em que,

NA - Número de aparelhos

Pl - Potência estipulada da lâmpada [W]

K - Coeficiente relacionado com a potência consumida pelos equipamentos auxiliares

O cálculo dos aparelhos electrónicos é idêntico ao da equação 22, porém não existe potência estipulada da lâmpada, mas sim a potência de cada componente electrónico.

$$P = NA \times Pj \times fc \quad (22)$$

Em que,

NA - Número de aparelhos

Pj - Potência do aparelho electrónico j [W]

fc - Factor de correcção

Os ganhos latentes do local, ou seja, das pessoas foi calculado através da equação 23.

$$P = NP \times Pp \times fc \quad (23)$$

Onde,

NP – Número de pessoas

Pp – Potência correspondente a cada pessoa [W]

fc – Factor de correcção

3.4. Qualidade do ar interior

De modo a que haja uma maior eficiência dos edifícios e dos seus sistemas de climatização, a procura de materiais sintéticos e químicos fez com que a qualidade do ar interior dentro dos mesmos diminuísse. Se juntarmos uma fraca qualidade do ar interior a problemas de saúde pública, estamos perante um grande problema. Dessa forma, foram então criados limites, para a utilização de certos componentes, que não devem ser ultrapassados pondo em causa a qualidade da vida humana [45].

Não existem normas, decretos-lei, e/ou portarias que estabeleçam definições ou limites referentes à qualidade do ar nos transportes ferroviários. Neste sentido, os limites definidos para a qualidade do ar interior em edifícios irão ser utilizado como se fosse para transportes ferroviários.

As concentrações dos compostos a que se deve ter atenção são o dióxido de carbono (CO₂), as partículas em suspensão (fracções PM₁₀ e PM_{2,5}), monóxido de carbono (CO), os compostos orgânicos voláteis totais (COVs totais) e o Formaldeído (CH₂O) [46]. O dióxido de carbono é um gás inodoro e incolor e um constituinte do ar atmosférico, entre 300 a 350 ppm. A sua concentração depende essencialmente da respiração dos Humanos. Apesar de não ter consequências tão graves como outros gases, a sua elevada concentração pode provocar fadiga, dores de cabeça, irritações nasais e problemas respiratórios [46] [47]. As partículas suspensas no ar (PM₁₀), apresentando um diâmetro inferior a 10 µm, provêm de diversas origens como grãos de pólen, fumos, poeiras, e até os próprios sistemas de ventilação. As partículas de menores dimensões são as que podem provocar um maior risco pois acumulam-se mais facilmente nos pulmões, podendo levar ao aparecimento de doenças.

Estas podem ser infecções nos olhos ou respiratórias, bronquite, e quem sabe, a longo prazo, até o cancro [46] [47]. O monóxido de carbono, tal como o dióxido de carbono, é um gás incolor e inodoro, pelo que detectar a sua presença torna-se quase impossível. Este gás torna-se especialmente perigoso porque ao combinar-se com o sangue, diminui o fluxo de oxigénio que circula nas células do corpo, o que pode levar, no limite, à morte. Os sintomas que provoca são náuseas, fadiga, dor no peito e dores de cabeça [46]. Os compostos orgânicos voláteis totais são compostos cujo ponto de ebulição varia entre os 50 °C e os 250 °C. Os principais compostos assim conhecidos são as tintas, revestimentos, componentes de decapagem, artigos de limpeza, solventes de tintas, entre outros. Os efeitos provocados pelos mesmos são dores de cabeça, náuseas, danos no fígado e rins [46] [47]. O Formaldeído (CH₂O) é um gás incolor, mas que o seu odor se torna irritativo caso a sua concentração seja superior a 0,2 ppm. É utilizado, por exemplo, em contraplacados, produtos de higiene e fumo do tabaco. Este composto causa náuseas, dificuldade de respiração e, caso a sua concentração seja muito elevada, pode provocar ataques de asma, e até mesmo, o cancro [47].

Na tabela 3.1, encontram-se as concentrações máximas dos poluentes admissíveis em edifícios de comércio e serviços, referentes à pressão de 101,325 kPa e a 293,15 K (20 °C).

Tabela 3.1 - Limiar de protecção e margem de tolerância para os poluentes físico-químicos [31].

Poluentes	Limiar da protecção¹	Margem de tolerância (%)
Partículas em suspensão - fracção PM ₁₀	50 (µg/m ³)	100
Partículas em suspensão – fracção PM _{2,5}	25 (µg/m ³)	100
Compostos orgânicos voláteis totais – COVs totais	600 (µg/m ³)	100
Monóxido de carbono – CO	10 (mg/m ³) 9 (ppmv)	-
Formaldeído (CH ₂ O)	100 (µg/m ³) 0,08 (ppmv)	-
Dióxido de carbono – CO ₂	1200 (mg/m ³) 1250 (ppmv)	30

¹ Os limiares de protecção indicados dizem respeito a uma média de 8 horas.

Por forma a obter-se uma melhor avaliação da qualidade do ar interior deve-se ainda medir os seguintes parâmetros: Temperatura do ar, Humidade relativa do ar e Velocidade do ar (à saída dos difusores e/ou ao nível dos ocupantes).

3.5 Fluido frigorígeno

Um fluido frigorígeno é um composto químico responsável pelas trocas térmicas num determinado sistema. Este fluido, passa do estado líquido ao gasoso, e vice-versa, permitindo a absorção/libertação de calor [48]. Um bom fluido frigorígeno deve ter, entre outras, as seguintes principais características [49]:

- O intervalo de pressão correspondente às temperaturas no evaporador e no condensador deve ser pequeno, com o intuito de reduzir o trabalho no compressor;
- Ser quimicamente estável;
- Não ser corrosivo;
- Não ser inflamável;
- Não ser tóxico;
- Não ter odor;
- Ser miscível com o óleo lubrificante;
- Não contribuir para o aquecimento global e destruição da camada de ozono.

Os fluidos frigorígenos podem ser classificados como:

- CFC's – Hidrocarbonetos halogenados – São hidrocarbonetos de contêm Cloro (Cl), Flúor (F) e Brómio (Br). Ex. R-11, R-502;
- HCFC's – Hidroclorofluorocarbonetos. Ex.: R-22;
- HFC's – Hidrofluorocarbonetos. Ex.: R-134a
- Naturais – Ex.: amónia, dióxido de carbono e Hidrocarbonetos;
- Mistura contendo HFC's – Ex.: 410a; R407c.

O problema que advém da utilização de alguns dos fluidos frigorígenos é quando há uma fuga do fluido para a atmosfera sem qualquer tipo de controlo ou tratamento. Quando isso acontece, dependendo do fluido, existe destruição da camada do ozono. Assim, foi

necessário a introdução de nova legislação que, em primeiro lugar, diminuísse a utilização destes fluidos, e posteriormente, proibisse a sua utilização, como é o caso do R-22.

O Regulamento (UE) n.º 517/2014, que abrange os gases fluorados (HFC's), estabelece regras em relação ao confinamento, utilização, recuperação e destruição do fluido. Impõe condições à colocação no mercado de produtos e equipamentos que utilizem estes gases e estabelece limites relativos à quantidade colocada no mercado [50].

O fluido R-22 é um HCFC e, portanto, devido aos regulamentos europeus e também nacionais, a sua utilização começa agora a ser diminuta devido à sua contribuição para o aumento do efeito de estufa e destruição da camada de ozono. Até 2015 poderiam ser realizadas operações de manutenção em instalações com este fluido. Depois dessa data, passou a ser proibido a utilização deste fluido frigorífero. Desta forma, quando for necessário fazer manutenção ao equipamento que contenha este fluido, esta fica impossibilitada. Assim, será necessária a substituição dos equipamentos que utilizem o R-22 como fluido frigorífero por outros equipamentos que utilizem outro fluido, ou ainda, a adaptação dos que já existam, para que possam então receber um novo fluido.

Devido aos prazos estabelecidos pela norma CE nº2037/2000, foi necessário a criação de alternativas para quem utilizava o R-22 como fluido. Assim, existem três alternativas possíveis. A primeira prende-se com manter o gás R-22, porém, caso seja preciso alguma intervenção no equipamento, esta não será possível. A segunda hipótese tem como pressuposto a mudança do fluido, caso seja possível, mantendo o equipamento existente. A última hipótese, e a mais recomendada, é então a alteração do equipamento por um novo, com um fluido frigorífero que cumpre as normas e que seja mais eficiente.

O R-407C é uma mistura de gases frigoríferos HFC, que não destroem a camada de ozono. Relativamente a pressões e temperaturas de trabalho é parecido com o R22, sendo por vezes, utilizado para substituir o mesmo [51].

O fluido frigorífero R-422A é uma mistura HCFC. Tal como o fluido mencionado anteriormente, este também não é prejudicial para a camada de ozono e pode também servir de substituto para o R22 [52].

O R-410A é um fluido que provoca poucas dandas na camada do ozono, não é tóxico nem inflamável [49]. Este foi desenvolvido para substituir o R-22 e a sua grande vantagem relativamente ao R-22 é a sua elevada capacidade de refrigeração que pode chegar a ser superior cerca de 50%.

O fluido R-134A é um HFC utilizado maioritariamente nos ares condicionados dos automóveis e na indústria da refrigeração. É utilizado também como substituto fluido R-22 [49].

4. Trabalho desenvolvido no estágio

O estágio foi, no seu todo, realizado no edifício da CP em Santa Apolónia. Este começou no dia 26 de Outubro de 2015, e terminou no dia 30 de Junho. O mesmo dividiu-se em duas partes, a primeira parte, denominada de “climatização de edifícios”, decorreu desde o dia 26 de Outubro, até 22 de Abril. A outra parte, “climatização de material circulante”, começou a dia 26 de Abril e terminou no dia 30 de Junho.

No capítulo 4.1 será apresentado a parte desenvolvida no âmbito dos edifícios e no capítulo 4.2 a parte relacionada com o material circulante.

4.1 Aplicação em Edifícios

Neste subcapítulo ir-se-á descrever o edifício em estudo, a forma como foram calculadas as potências, a solução de climatização escolhida, a escolha dos componentes da solução, e ainda, quais são as possibilidades de aproveitamento dos equipamentos que vão ser substituídos pela nova solução.

4.1.1. Caracterização do edifício

O edifício em estudo situa-se em Santa Apolónia, ver figura 4.1, e é constituído por dois pisos (figura 4.2). A principal particularidade deste edifício prende-se com o seu comprimento que supera os 200 m, como se pode ver na figura 4.3. Contudo, existem outras, como a existência de um sótão com 2 metros de pé direito e a utilização de *splits* e *multi-splits* como sistema de climatização, instalados em 12 salas do piso 0 e em 88 salas no piso 1. O que representa uma quantidade inúmera de equipamentos, quer interiores como exteriores, que conduzem a um maior número de horas de manutenção, a uma manutenção diferenciada pois os equipamentos não são todos iguais nem têm o mesmo tempo de vida. O sistema de climatização adoptado tem um impacto visual negativo para quem olha para a fachada do edifício, pois é nela que se encontram as unidades exteriores dos *splits* e *multi-splits*.



Figura 4.1 - Localização do edifício da CP [53].



Figura 4.2 - Entrada do edifício da CP [53].



Figura 4.3 - Extensão do edifício [53].

Para se incrementar uma nova solução, é necessário verificar que tipo de equipamentos existem e estão instalados. Desta forma, foi realizado um levantamento referente à marca, ao fluido frigorígeno e ainda, à data de fabrico, tal como é possível verificar nas tabelas 4.1 e 4.2 e na figura 4.4.

Tabela 4.1 – Equipamento instalados.

Marca	Quantidade
Carrier	2
Daikin	17
Electra	8
General	1
Hitachi	1
Midea	2
Mitsubishi	11
Panasonic	7
Sanyo	64
Season	1
TOTAL	114

Tabela 4.2 - Fluidos frigorigéneos existentes nos *splits*.

Fluido frigorigéneo	Nº de Equipamento
R22	31
R407C	4
R410A	74
R422	3
Sem informação	2
TOTAL	114

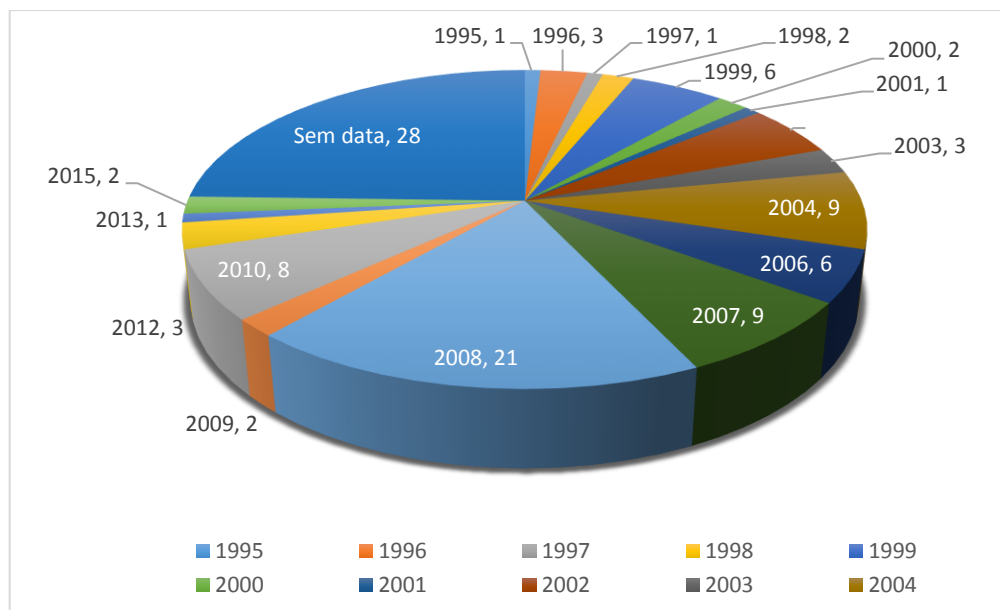


Figura 4.4 - Data de fabrico dos equipamentos.

Através da figura 4.4, verifica-se a existência de alguns equipamentos com um tempo de vida superior ao previsto para os mesmos. O levantamento realizado neste capítulo teve como propósito verificar o que está instalado, o tempo de vida que o equipamento tem, de modo a que se consiga encontrar uma melhor solução. Após este levantamento, concluiu-se que alguns equipamentos vão precisar de ser substituídos. As principais razões encontradas, como discutido no capítulo 3.5, são as seguintes:

- Utilização de fluidos que estão agora proibidos de ser usados;
- Alguns equipamentos já atingiram o seu tempo de vida útil;
- A marca em questão já não comercializa este tipo de equipamentos;
- Registo de manutenção.

Neste sentido, é melhor substituir-se todos os equipamentos, por um sistema mais eficiente, mais amigo do ambiente e que não tenha limitações em termos de utilização do fluido, manutenção entre outros.

Para que fosse possível qualquer cálculo térmico relativamente ao edifício, a primeira tarefa a fazer foi um levantamento detalhado das características de construção do edifício, assim como da ocupação humana e material de cada sala e dos respectivos equipamentos eléctricos. Para tal, foi necessário, em primeiro lugar, obter as plantas do primeiro piso, quer em papel, quer em AutoCAD, e proceder à sua actualização (ANEXO A). Seguidamente, e visto não

existirem plantas em AutoCAD do rés-do-chão, apenas em papel e desactualizadas, foi necessário ir ao local e proceder à medição das 12 salas, e seguidamente, fazer essa mesma planta em AutoCAD (ANEXO B). Por forma a se saber as características de construção do local procedeu-se ao saber que os trabalhadores e engenheiros possuíam do edifício, uma vez que não havia registos destas mesmas características. Quanto ao material de cada sala e dos respectivos equipamentos eléctricos foi necessário ir aos locais e avaliar o que os mesmos possuíam. Após o levantamento e análise do edifício, considerou-se que existem 4 salas tipo para o estudo, sendo estas:

- Sala do lado direito do corredor;
- Sala do lado esquerdo do corredor;
- Sala de reuniões;
- Copa.

As tabelas 4.3 e 4.4 apresentam a constituição da construção do local considerada, mais propriamente das paredes, tecto e chão do referido edifício.

Tabela 4.3 - Constituição das salas do primeiro 0.

Material	Espessura (mm)
Teto	
Madeira	20
Cimento	200
Paredes interiores	
Reboco	15
Alvenaria de tijolo	150
Reboco	15
Parede exterior	
Reboco	20
Alvenaria de tijolo	300
Reboco	20
Pavimento	
Vinílico	2
Betão	200

Tabela 4.4- Constituição das salas do primeiro piso 1.

Material	Espessura (mm)
Teto	
Gesso	15
Paredes interiores	
Reboco	15
Alvenaria de tijolo	150
Reboco	15
Parede exterior	
Reboco	20
Alvenaria de tijolo	300
Reboco	20
Pavimento	
Tacos de madeira	20
Cimento	200

Seguidamente, serão apresentadas as plantas das salas tipo, com as respectivas medidas, tal como podemos ver na figura 4.5, 4.6 e 4.7.

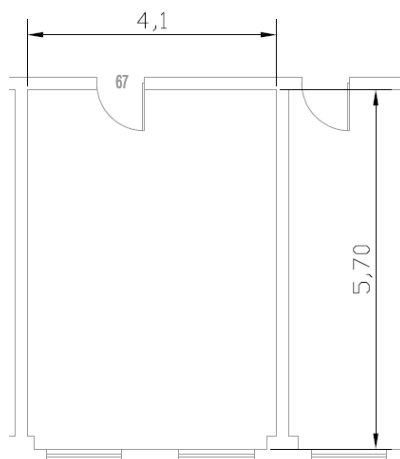


Figura 4.5 - Dimensão da sala do lado direito e esquerdo [m].

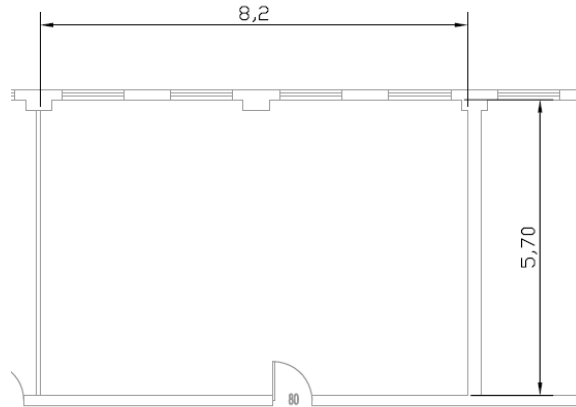


Figura 4.6 - Dimensões da Sala de Reuniões [m].



Figura 4.7 - Dimensões da Copa [m].

Na tabela 4.5, e após o levantamento realizado, é possível verificar a constituição de cada sala tipo (piso 1) e dos respectivos equipamentos eléctricos. É de notar que este trabalho foi também feito para o rés-do-chão, sala a sala. Os valores das potências presentes na tabela 4.3 foram retirados no American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers (ASHRAE) Handbook Fundamentals [54].

Tabela 4.5 -Constituintes das salas tipo.

Objecto	Quantidade	Potência (W)
Sala do lado direito e esquerdo do corredor		
Porta (2,2 × 0,75 m)	1	-
Janela - Vidro duplo + caixilharia PVC - (1,3 × 0,4) m	4	-
Iluminação - Lâmpadas fluorescentes	2×2	58
Computadores	2	200
Pessoas	2	-
Sala de Reuniões		
Porta (2,2 × 0,75)	2	-
Janela - Vidro duplo + caixilharia PVC - (1,3 × 0,4) m	4×2	-
Lâmpadas fluorescentes	6×2	58
Computador	1	200
Projector	1	180
Pessoas	16	-
Copa		
Porta - 2,2 × 0,75 m	1	-
Vidro duplo + caixilharia - (1,3 × 0,4)	3 × 2	-
Vidro duplo + caixilharia – 0,55 × 0,6 m	1	-
Lâmpadas LED	7	18
Microondas	2	600
Máquina de café	1	1725
Máquina de snacks	1	240
Frigorifico	1	300
Pessoas	20	-

O cálculo das potências das salas tipo encontra-se previsto para o dia 15 de Julho, para as 12 horas. Esta foi a data escolhida pois prende-se com o pico do Verão, logo, a carga máxima que será necessário retirar das salas, e ainda com a orientação do edificio, uma vez que a

fachada direita do edifício, virada para a Avenida Infante D. Henrique, está sujeita a cargas térmicas diferentes. Considerou-se que a temperatura exterior seria de 35 °C e a temperatura interior de 27 °C (valores típicos, utilizados nos catálogos dos fornecedores de equipamento).

O deficiente isolamento encontrado no edifício, mais evidente no telhado, faz com que as necessidades energéticas do edifício aumentem, e conseqüentemente, é necessário um sistema de climatização com uma maior potência.

Para se proceder ao cálculo dos coeficientes globais de transferência térmica foi necessário, para além de saber as espessuras, saber a condutibilidade térmica e ainda a resistência térmica dos materiais. Para tal, recorreu-se ao ITE 50 para se saber os valores necessários, e ainda, para o cálculo, utilizou-se as equações 1 e 2 presentes no capítulo 3.3.2.1.

É de notar que as paredes interiores podem ser ignoradas, caso pertençam á mesma ala do corredor, uma vez que se considera que todas as salas da mesma ala estão à mesma temperatura.

Tabela 4.6a - Coeficientes globais de transmissão de térmica.

Elemento de Camada	e (m)	λ (W/m.K)	R (m².K/W)	U (W/m².K)
Parede Exterior				
Resistência Interior	-	-	0,130	
Reboco Hidrófugo	0,020	1,30	0,015	
Alvenaria de Tijolo Cerâmico	0,30		0,560	1,314
Reboco Hidrófugo	0,020	1,30	0,015	
Resistência Exterior	-	-	0,040	
Parede Interior				
Resistência Interior	-	-	0,130	
Reboco Hidrófugo	0,015	1,30	0,012	
Alvenaria de Tijolo Cerâmico	0,15		0,390	1,486
Reboco Hidrófugo	0,015	1,30	0,012	
Resistência interior	-	-	0,130	

Tabela 4.6b - Coeficientes globais de transmissão de térmica.

Elemento de Camada	e (m)	λ (W/m.K)	R (m².K/W)	U (W/m².K)
Pavimento				
Resistência Interior	-	-	0,130	
Tacos de madeira	0,020	0,18	0,111	2,803
Cimento	0,20	1,73	0,116	
Tecto				
Resistência Interior	-	-	0,170	
Gesso	0,015	0,57	0,026	3,375
Resistência interior	-	-	0,100	
Teto falso Sem isolamento				
Resistência Interior	-	-	0,130	
Gesso cartonado	0,015	0,25	0,060	3,125
Resistência Interior	-	-	0,13	
Chão				
Resistência Interior	-	-	0,130	
Vinílico	0,002		0,010	2,326
Betão	0,3	2	0,250	
Resistência Exterior	-	-	0,040	

No anexo C encontram-se presentes as folhas de cálculo, referentes às salas do edifício, que permitiram chegar aos valores que serão apresentados na tabela 4.7, 4.8, 4.9 e 4.10. Nestas folhas de cálculo teve-se em consideração os ganhos de calor sensível através da radiação solar, os ganhos de calor através da transmissão de paredes exteriores, interiores e telhados, os ganhos de calor interno através da iluminação, dos objectos electrónicos presentes na sala, da quantidade de pessoas e ainda da renovação de ar que é obrigatória, tal como descrito no capítulo 3.3.2.3.

Para se calcular os ganhos através da radiação solar, recorreu-se ao Manual de Aire Acondicionado da Carrier para se retirar o valor da radiação específica [55]. E o coeficiente de global de transmissão térmica calculado encontra-se na tabela 4.6. Utilizou-se então a equação 18 do capítulo 3.3.2.5 para este calculo.

O cálculo dos ganhos de calor através da transmissão de paredes exteriores e telhado, calculado através da equação 19, teve por base para além da área das mesmas superfícies, a consulta da tabela 19 do Manual de Aire Acondicionado da Carrier e os coeficientes globais de transmissão térmica obtidos e apresentados na tabela 4.6 [55]

Os ganhos de calor através da transmissão por paredes interiores, portas, chão e tecto, tiveram por base os valores apresentados na tabela 4.6, e o diferencial térmico obtido pela fórmula $\Delta T = T_e - T_i - 3 = 5^\circ C$ que nos indica a diferença de temperatura que devemos colocar, neste caso, de 5 graus. A fórmula utilizada neste cálculo é a equação 20 presente no capítulo 3.3.2.5.

Relativamente aos ganhos através da iluminação foi necessário saber que tipo de iluminação existia (ex. fluorescente ou incandescente), a sua potência e o número de lâmpadas por sala, e ainda, foi necessário utilizar um coeficiente relacionado com a potência consumida pelos equipamentos auxiliares segundo a equação 21 [56]. Quanto aos aparelhos electrónicos foi necessário apenas saber a potência unitária de cada um, e quantos estavam presentes na sala. A potência destes equipamentos foi calculada através da equação 22.

Os ganhos latentes do local, portanto das pessoas, foram retirados do Manual de Aire Acondicionado da Carrier, da tabela 48, e calculados através da equação 23 [55]. A carga latente proveniente de equipamentos é considerada residual por estes funcionarem apenas durante num curto período de tempo, por essa razão, desprezou-se este valor.

Ao total dos cálculos efectuados anteriormente, é feita uma correcção de 5% (factor de correcção de 1,05) para que seja possível minimizar erros ou possíveis esquecimentos que possam ter ocorrido a quando dos cálculos, garantindo assim que os valores mínimos são obtidos.

O cálculo da potência relativa à renovação de ar, que é obrigatória, está descrito no capítulo 3.3.2.3.

Por forma a obter-se a potência final que será necessária retirar da sala, é só proceder à soma de todos os paramentos indicados anteriormente.

A tabela 4.7 apresenta um resumo das potências obtidas para cada espaço, para que se possa ter uma ideia dos valores calculados. Para que a descrição de todos os valores não se tornasse demasiado extensa, foi efectuado o Anexo C onde são apresentados os respectivos valores para cada espaço.

Tabela 4.7 - Potência das salas tipo.

	Sala do lado direito [W]	Sala do lado esquerdo [W]	Sala de Reuniões [W]	Copa [W]
Janelas	319,6	107,5	215,0	496,5
Telhado	614,8	614,8	1 229,5	1 252,0
Parede exterior	57,4	42,6	85,2	246,2
	126,9	126,9	126,9	40,1
Paredes interiores	126,9	79,0	158,1	184,8
	79,0	126,9	126,9	173,6
Tecto	393,8	393,8	787,7	869,9
Pavimento	239,0	239,0	478,0	527,9
Porta	27,8	27,8	55,6	27,8
Iluminação	290,0	290,0	870,0	126,0
Computadores	400,0	400,0	200,0	-
Projector	-	-	180,0	-
Pessoas	239,4	239,4	1 915,3	2 394,2
Ar exterior	122,4	122,4	979,2	1 224,0
Máquina de café	-	-	-	517,5
Máquina de Snacks	-	-	-	120,0
Microondas	-	-	-	240,0
Frigorifico	-	-	-	300,0
TOTAL	3 072,7	2 810,2	7 407,4	8 740,5

4.1.2. Selecção do sistema de climatização

Para o caso de estudo, verificou-se que as possíveis soluções a aplicar seriam a colocação de VRV's, volume variável de refrigerante (do inglês "variable refrigerante flow"), *chillers* ou UTA. A hipótese de colocar *splits* ou *multi-splits* nas divisões foi excluída, uma vez que esta é a solução já implementada e que danifica a fachada do edifício e é visualmente inestético.

Porém, devido a limitações impostas na solução dos *chillers*, como por exemplo, a colocação de tubagem com diâmetro superior à tubagem onde circula fluido refrigerante, a possibilidade de fugas de água e consequentemente, infiltrações, a colocação de mais

equipamentos como depósitos de inércia, uma maior exigência em termos de manutenção, o espaço disponível, entre outras, levou à exclusão desta hipótese.

A hipótese da unidade de tratamento de ar (UTA) também foi excluída uma vez que associada a esta estariam componentes como baterias de arrefecimento e/ou aquecimento, humidificadores, válvulas, ventiladores, recuperadores de calor e filtros, e condutas, quer seriam condicionadas pelo espaço existente. Outra condicionante, teria a haver com o facto de que ligada à UTA, estaria, muito provavelmente, um *chiller*, que pelas razões já mencionadas é uma hipótese posta de parte.

Assim sendo, a solução em estudo prender-se-á com a colocação de VRV's no edifício para que a sua climatização seja mais eficaz e eficiente. Para tal, será necessário verificar quais as potências de cada divisão, se existem unidades VRV's que compreendam essas potências e se é possível a existência de arrefecimento e aquecimento em simultâneo uma vez que o edifício tem zonas de ocupação bastante dispares de carga térmica. Adicionalmente terá de verificar-se se há espaço disponível para a colocação das unidades exteriores, dividir as unidades interiores pelos equipamentos onde ocorrem as trocas de calor e quais as unidades interiores a serem instaladas. Na figura 4.8, apresentar-se-á um esquema referente à arquitectura básica do sistema escolhido para este trabalho, o VRV.

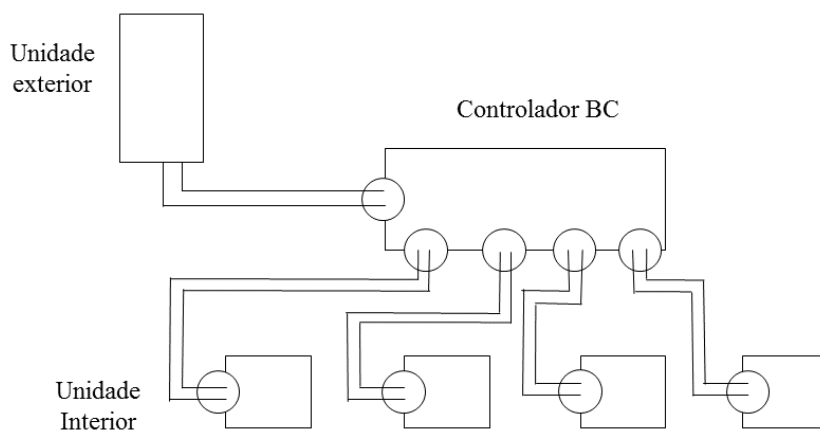


Figura 4.8 - Esquema ilustrativo da arquitectura básica do sistema, adaptado de [57].

A sala de Arquivo de Desenhos é uma sala onde são guardados desenhos em papel, feitos à mão ou a computador, muitos deles exemplares únicos, manuais entre outros, pelo que a característica que diferencia esta sala de todas as outras, é a quantidade de documentos importantes, em papel, que nela se encontram. Documentos estes, que tem de ser

preservados, para que as gerações futuras possam ter acesso aos mesmos, uma vez que são bocados de história do nosso país. Assim sendo, a única forma de os preservar é controlando a temperatura e a humidade relativa, uma vez que em condições adversas, o papel degrada-se muito rapidamente. Desta forma, a solução escolhida foi *close control*, tema abordado no capítulo 2.4.

Os estudos para as diferentes soluções serão baseados nos produtos das marcas Daikin e Mitsubishi Electric. Estas foram as marcas seleccionadas pois apresentam os produtos com as características desejadas, têm uma vasta gama de produtos, disponibilizaram informação e prestaram um apoio de decisão, isto é, efectuaram um bom serviço ao cliente.

4.1.3 Potências a instalar

Para se proceder à selecção dos equipamentos, foi necessário calcular a potência de arrefecimento de cada sala, uma vez que esta, tipicamente no nosso país, é maior relativamente à potência de aquecimento. Assim, ao garantirmos que o equipamento suporta a potência de arrefecimento, em princípio, a potência de aquecimento também será suportada. Este cálculo teve em conta a dimensão das salas, a orientação, a sua constituição, os equipamentos eléctricos e ainda o número de pessoas, elementos já referidos nos capítulos 4.1.1 e 4.1.2. Os valores finais presentes nas tabelas 4.8, 4.9 e 4.10 advém dos cálculos presentes no Anexo C e resumido na tabela 4.7.

Tabela 4.8 - Potências referentes à ala Norte do piso 1.

Sala	Potência calculada [kW]
1.02; 1.46	2,5
1.03 + 1.01	7,4
1.04; 1.06; 1.08; 1.10; 1.12; 1.14; 1.16; 1.18; 1.20; 1.24; 1.32; 1.34; 1.36; 1.38; 1.48; 1.50; 1.52; 1.54; 1.56; 1.58; 1.60	2,9
1.41 - Sala técnica	3
1.05; 1.07; 1.09; 1.11; 1.13; 1.15; 1.17; 1.19; 1.21; 1.23; 1.25; 1.27; 1.29; 1.31; 1.33; 1.35; 1.37; 1.43; 1.45; 1.47; 1.49; 1.51	3,1
1.39; 1.53	4,2
Sala 1.42 + Sala 1.44	6,9

Tabela 4.9 - Potências referentes à ala Sul do piso 1.

Sala	Potência calculada [kW]
1.77 - Central IPTelecom	2
1.71; 1.85;	2,5
1.62; 1.64; 1.76; 1.78; 1.82; 1.84; 1.86; 1.88; 1.90; 1.98 1.100; 1.102; 1.106 (Lado Tejo); Sala 1.62	2,9
1.61; 1.63; 1.65; 1.67; 1.73; 1.75; 1.79; 1.81; 1.87; 1.89; 1.91; 1.93; 1.95; 1.99 1.83B; 1.85 1.101; 1.104; 1.105; 1.106B;	3,1
1.66+.168; 1.80	6,9

Tabela 4.10 - Potências referentes ao Rés-do-chão.

Sala	Potência calculada [kW]
Copa	5
Dptº Tracção chefe	1,8
Dptº Tracção sala cacifos	2,6
Dptº Tracção sala gestão	3,3
Dptº Tracção Sala Social Maquinistas	2,9
Dptº Tracção vestiário	2,5
ex auto expresso	4,8
Gabinete Cardoso e Maciel	2,6
Gabinete Chefe CAT	2,6
Inst. Sociais revisores	3,3
Open Space 1	15,9
Open Space 1 bastidor	2,6
Open Space 2	10,9
Sala 1.Sala Reuniões (R/C)	7
Sala 1.Casa forte (R/C)	8,6

Uma vez que já foi escolhida a solução, o VRV, é agora necessário conhecer os equipamentos que fazem parte dessa solução, para que seja possível perceber como é que os mesmos vão ser distribuídos e quais as limitações existentes. Assim para esta solução ser

viável, é necessário distribuir equipamentos como, unidades interiores, unidades exteriores, caixa recuperadora/controlador BC, e ainda a tubagem. Por forma a distribuir os equipamentos de uma forma funcional e eficaz, foi necessário ter em conta o espaço disponível, as quantidades de unidades interiores, exteriores e caixa recuperadora/controlador BC e ainda o comprimento da tubagem. Por conseguintes, e tendo em conta as marcas já seleccionadas no capítulo 4.1.2, decidiu-se estabelecer os seguintes critérios como base:

- Espaço disponível para a colocação das unidades exteriores;
- Localização das unidades interiores;
- Localização das unidades exteriores;
- Comprimento da tubagem da unidade exterior até à caixa recuperadora/controlador BC inferior a 120 m;
- Comprimento da tubagem da caixa recuperadora/controlador BC até à inferior unidade interior mais longínqua inferior a 40 m;
- Localização da caixa recuperadora/controlador BC;
- Distribuição das unidades interiores pela caixa recuperadora/controlador BC;
- Impacto visual.

4.1.4 Daikin

Para se proceder à escolha dos equipamentos desta marca, foi necessária uma pesquisa prévia para ver que produtos existentes possuíssem os requisitos necessários de projecto. Dentro dos vários equipamentos da marca, optou-se pela escolha dos seguintes modelos de equipamentos:

- Unidade exterior: VRV IV – REYQ-T;
- Unidade interior: FXSQ-A e FXAQ-P;
- Caixa recuperadora: BS-Q14A;
- Comando remoto com ligação por cabo: BRC 1 E 51;
- Controlo remoto central: INTELLIGENT TOUCH MANAGER – DCm601a51.

A unidade exterior VRV IV – REYQ-T, ver figura 4.9, é um equipamento de expansão directa de produção centralizada, modelo REYQ, série T. É um equipamento de recuperação de calor a 3 tubos. Esta unidade está equipada com um compressor de velocidade variável, ou seja, um sistema do tipo inverter. Encontra-se dimensionada para operar desde as temperaturas $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $+43\text{ }^{\circ}\text{C}$ [58].



Figura 4.9 - Unidade exterior- modelo REYQ [35].

A Unidade interior FXSQ-A, apresentada na figura 4.10, é uma unidade interior em que o tipo de ligação é de condutas. Esta unidade interior funciona através da permuta entre o fluido frigorigéneo, R410a, e o ar.



Figura 4.10- Unidade interior modelo FXSQ [35].

A Unidade interior FXAQ-P é uma unidade interior do tipo Mural. Tal como a Unidade interior FXSQ-A, aqui também existe a permuta entre o fluido frigorigéneo, R410a, e o ar [58].



Figura 4.11 - Unidade interior modelo FXAQ [35].

A Caixa recuperadora BS-Q14A é própria para ligação com as unidades exteriores VRV IV REYQ-T, sendo esta de volume de refrigerante variável. Esta caixa tem várias sondas de temperatura e válvulas, que determinam o ciclo de funcionamento da unidade exterior [58]. Na figura 4.12 é apresentado o modelo da caixa recuperadora. Este equipamento é importante, uma vez que permite que duas ou mais unidades interiores, ligadas à mesma unidade exterior, possam estar em modo de aquecimento ou arrefecimento em simultâneo. Desta forma, é então possível que uma divisão esteja a aquecer, e outra a arrefecer, simultaneamente.



Figura 4.12 - Caixa recuperadora BS-Q14A [35].

O Comando remoto, ligado por cabo exibido na figura 4.13 é utilizado para comunicação com a unidade interior. Algumas das suas funções prendem-se com ligar e desligar a unidade, seleccionar dois tipos de velocidades de ventilação possíveis, indicar quando existe uma avaria, entre outras [58].



Figura 4.13 - Comando Remoto [35].

O Controlo remoto central INTELLIGENT TOUCH MANAGER – DCm601a51, presente na figura 4.14, é um comando centralizado onde algumas das suas características são que consegue controlar 64 unidades interiores ou 64 grupos de unidades interiores, onde cada grupo só poderá ter no máximo 16 unidades interiores; permite ligar e desligar, individualmente, cada unidade interior ou um conjunto das mesmas, permite paragem em caso de incêndio, uma distribuição proporcional de energia entre todas as unidades, entre outras [58].



Figura 4.14 – Controlo remoto central [35].

Para que o dimensionamento ficasse correcto, procedeu-se à realização da planta, tal como está no ANEXO D, para se saber a distância entre os diferentes equipamentos. Seguidamente, utilizou-se o programa VRV Xpress, disponibilizado pela Daikin, para o correcto dimensionamento dos equipamentos [35]. A figura 4.15 apresenta um pequeno resumo de alguns dados inseridos no programa bem como o aspecto geral do mesmo.

Name	FCU	Temp C	Rq TC	Max TC	Rq SC	Max SC	Tevap	Temp H	Rq HC	Max HC	Airflow
1.02	FXAQ32P	24.0°C / 50%	2.5kW	3.1kW	2.4kW	6.0°C	22.0°C	3.7kW	142/s		
1.01	FXAQ40P	24.0°C / 50%	3.7kW	3.9kW	3.4kW	6.0°C	22.0°C	4.7kW	200/s		
1.03	FXAQ40P	24.0°C / 50%	3.7kW	3.9kW	3.4kW	6.0°C	22.0°C	4.7kW	200/s		
1.04	FXAQ32P	24.0°C / 50%	2.9kW	3.1kW	2.4kW	6.0°C	22.0°C	3.7kW	142/s		
1.05	FXAQ32P	24.0°C / 50%	3.1kW	3.1kW	2.4kW	6.0°C	22.0°C	3.7kW	142/s		
1.06	FXAQ32P	24.0°C / 50%	2.9kW	3.1kW	2.4kW	6.0°C	22.0°C	3.7kW	142/s		
1.07	FXAQ32P	24.0°C / 50%	3.1kW	3.1kW	2.4kW	6.0°C	22.0°C	3.7kW	142/s		
1.08	FXAQ32P	24.0°C / 50%	2.9kW	3.1kW	2.4kW	6.0°C	22.0°C	3.7kW	142/s		
1.09	FXAQ32P	24.0°C / 50%	3.1kW	3.1kW	2.4kW	6.0°C	22.0°C	3.7kW	142/s		
1.10	FXAQ32P	24.0°C / 50%	2.9kW	3.1kW	2.4kW	6.0°C	22.0°C	3.7kW	142/s		
1.11	FXAQ32P	24.0°C / 50%	3.1kW	3.1kW	2.4kW	6.0°C	22.0°C	3.7kW	142/s		
1.12	FXAQ32P	24.0°C / 50%	2.9kW	3.1kW	2.4kW	6.0°C	22.0°C	3.7kW	142/s		
1.13	FXAQ32P	24.0°C / 50%	3.1kW	3.1kW	2.4kW	6.0°C	22.0°C	3.7kW	142/s		
1.14	FXAQ32P	24.0°C / 50%	2.9kW	3.1kW	2.4kW	6.0°C	22.0°C	3.7kW	142/s		
1.15	FXAQ32P	24.0°C / 50%	3.1kW	3.1kW	2.4kW	6.0°C	22.0°C	3.7kW	142/s		
1.16	FXAQ32P	24.0°C / 50%	2.9kW	3.1kW	2.4kW	6.0°C	22.0°C	3.7kW	142/s		
1.17	FXAQ32P	24.0°C / 50%	3.1kW	3.1kW	2.4kW	6.0°C	22.0°C	3.7kW	142/s		

Figura 4.15 - Dados inseridos no software da Daikin.

A primeira etapa a ser realizada no programa é a inserção de todas as unidades interiores, uma a uma, no programa. Na selecção das unidades interiores, é possível dar um nome à unidade, escolher o modelo, definir a temperatura da sala e colocar a potência que foi calculada para a unidade, tal como se pode ver pela figura 4.16.

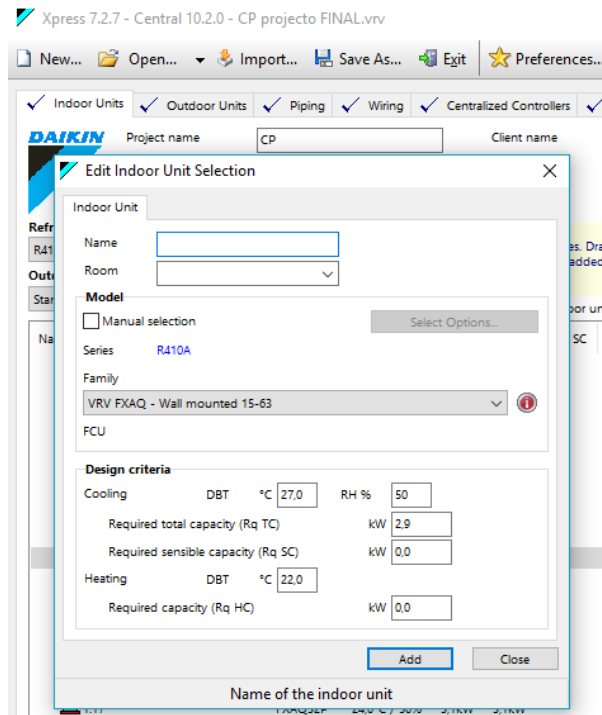


Figura 4.16 - Selecção das unidades interiores

Seguidamente, após já estarem todas as unidades interiores inseridas, é necessário distribuí-las pelas unidades exteriores, como se encontra na planta (Anexo D). Pelo que se procede à inserção da unidade exterior. Dentro deste é então possível dar um nome, seleccionar a temperatura exterior no Verão e no Inverno. Aqui também, temos o separador *system*, onde é introduzida a caixa recuperadora, e as unidades exteriores que ficam ligadas à mesma, como se pode ver na figura 4.17. E na opção *piping*, selecciona-se qual a posição da unidade exterior relativamente às unidades interiores, tal como mostra a figura 4.18.

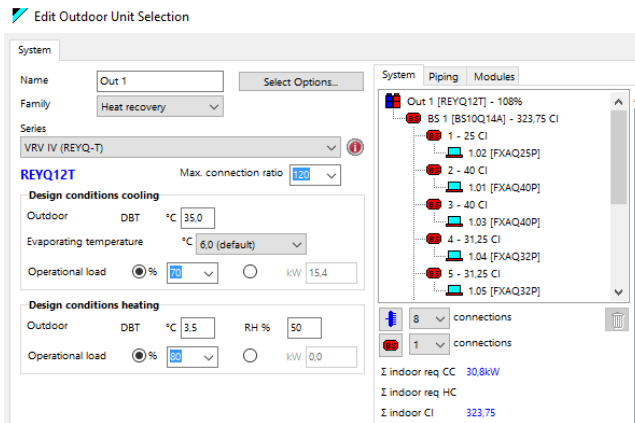


Figura 4.17 – Seleção da caixa recuperadora e introdução da unidade exterior

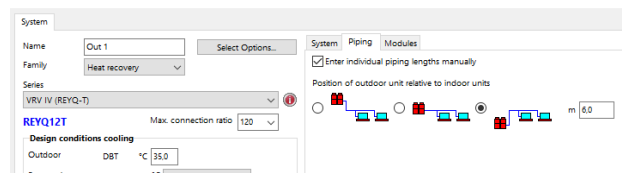


Figura 4.18 – Opção *piping*

O passo seguinte foi introduzir todos os comprimentos entre a unidade exterior e a caixa recuperadora, e depois entre a caixa recuperadora e as unidades interiores. Desta forma, fica-se a saber se os comprimentos inseridos são válidos, ou seja, se é possível, com os comprimentos introduzidos, que o sistema funciona sem qualquer problema. Para ilustrar os comprimentos inseridos temos a figura 4.19.

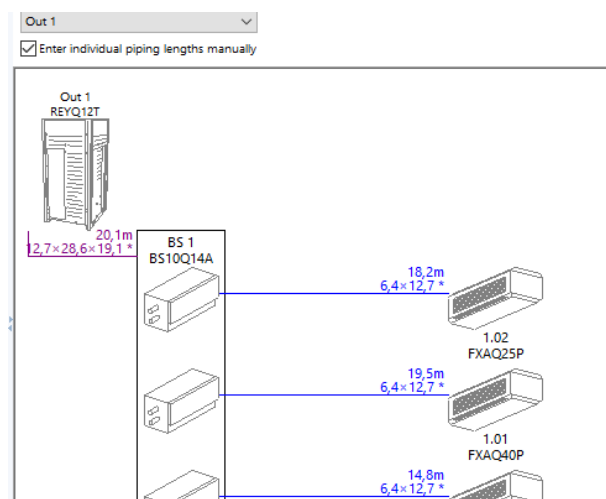


Figura 4.19 . Inserção de todos com comprimentos.

Posteriormente, e após todos os comprimentos estarem validados, é altura de se escolher, caso se queira, o controlo centralizado. Deste modo seleccionou-se um controlador centralizado para todas as unidades, como se pode ver pela figura 4.20.

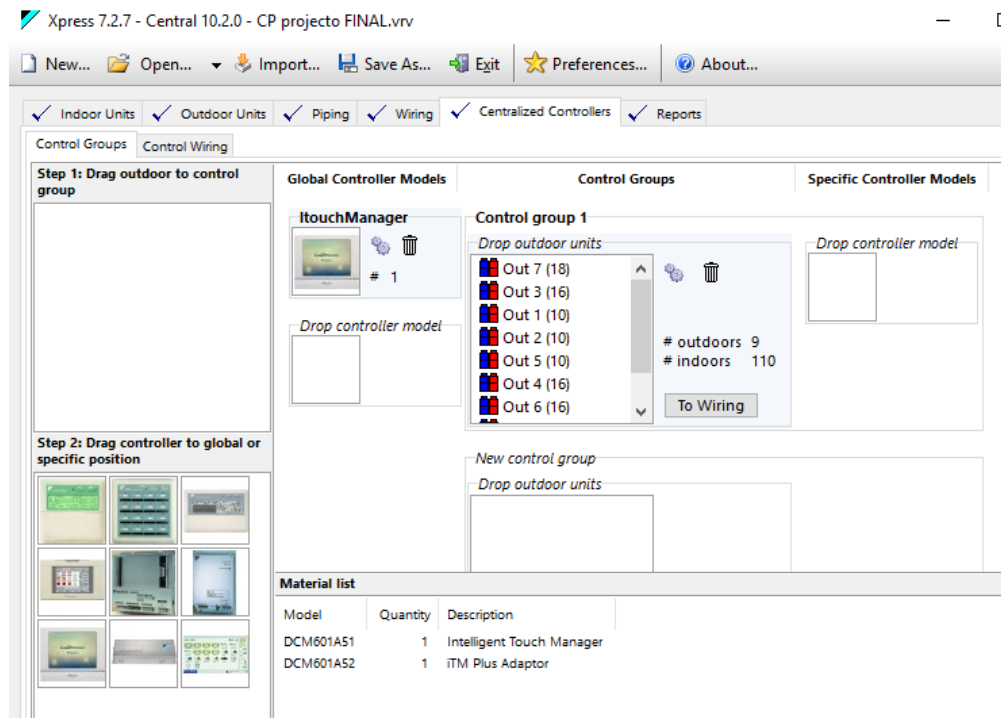


Figura 4.20 - Selecção do controlo centralizado

No final, é possível retirar do programa, um relatório completo sobre o dimensionamento executado. Onde é possível verificar-se as potências das unidades interiores, exteriores, quais as unidades interiores que estão ligadas às interiores e a que caixa recuperadora, quais os comprimentos da tubagem, a quantidade de fluido frigoriférico, entre outras.

Na tabela 4.11 são apresentadas as características das unidades exteriores, obtidas através do programa Xpress.

No anexo E, é também possível encontrar as potências nominais quer das unidades interiores, quer das unidades exteriores.

Tabela 4.11 - Características das unidades exteriores.

Nome	Modelo	Comb [%]	Capacidade de arrefecimento [kW]	Necessidades de arrefecimento [kW]	EER	ESEER	Capacidade de aquecimento [kW]	COP	Tubagem [m]	Refrigerante		
										Tipo	Bse Refr [kg]	Ex Refr [kg]
Unidade exterior 1	REYQ12T	110	28,7	21,6	3,5 / 3,6	6,8	25,5	2,7 / 4	43,6	R410A	9,9	6,9
Unidade exterior 2	REYQ12T	104	25,5	23,8	3,3 / 3,6	6,8	24,8	2,6 / 4	76,3	R410A	9,9	10,7
Unidade exterior 3	REYQ18T	115	41,8	39,7	3 / 3,3	6,3	41,1	2,9 / 4	108,6	R410A	11,8	32,7
Unidade exterior 4	REYQ20T	108	42,3	39,8	2,6 / 3	5,7	44	2,5 / 3,6	140	R410A	11,8	42,3
Unidade exterior 5	REYQ12T	110	27,3	24,5	3,3 / 3,6	6,8	23,9	2,6 / 4	126,8	R410A	9,9	23,3
Unidade exterior 6	REYQ18T	114	42,5	38,2	3,1 / 3,3	6,3	41,6	2,9 / 4	91,1	R410A	11,8	29
Unidade exterior 7	REYQ20T	116	47,9	45	2,8 / 3	5,7	47,1	2,8 / 3,6	56,8	R410A	11,8	17,8
Unidade exterior 8	REYQ10T	115	23,1	21,6	3,5 / 3,9	7,4	23	2,9 / 4,3	97,2	R410A	9,8	13,5
Unidade exterior 9	REYQ14T	111	34,4	29	3,6 / 3,7	7	28,1	2,4 / 4	136,7	R410A	11,8	28,3

COP – Coeficiente de performance

ESEER – Índice de eficiência energética sazonal europeia

EER - Índice de Eficiência de Energia

Comb – Factor de simultaneidade

Nas tabelas 4.12a e 4.12b são apresentadas as características das unidades interiores que se encontram distribuídas pelas suas respectivas unidades exteriores, ou seja, irão ser apresentadas as potências das unidades interiores de cada sala e de acordo com a unidade exterior a que se encontram ligadas. A tabela apresentada foi obtida através do relatório gerado no programa Xpress.

Tabela 4.12a - Características das unidades interiores.

Nome	Modelo	Capacidade de Arrefecimento requerido [kW]	Capacidade de arrefecimento disponível [kW]	Caudal [l/s]
Unidade exterior 1 - REYQ12T				
1.02; 1.04; 1.05; 1.06; 1.07; 1.08; 1.09; 1.10	FXAQ32P	2,5	3,1	142
1.01; 1.03;	FXAQ40P	3,7	3,9	200
Unidade Exterior 2 - REYQ12T				
1.11; 1.12; 1.13; 1.14; 1.15; 1.16; 1.17; 1.18; 1.20; 1.14	FXAQ32P	3,1	3,1	142
Unidade Exterior 3 - REYQ18T				
1.19; 1.21; 1.23; 1.25; 1.27; 1.29; 1.31; 1.32; 1.33; 1.34; 1.35; 1.36; 1.37; 1.38;	FXAQ32P	3,1	3,1	142
1.42; 1.44	FXAQ40P	3,5	3,9	200
Unidade Exterior 4 - REYQ20T				
1.39; 1.53	FXAQ50P	4,2	4,8	250
1.41; 1.43; 1.45; 1.46; 1.47; 1.48; 1.49; 1.50; 1.51; 1.52; 1.54; 1.56; 1.58; 1.60	FXAQ32P	3,0	3,1	142
Unidade Exterior 5 - REYQ12T				
1.71; 1.61; 1.62; 1.63; 1.64; 1.65; 1.67; 1.62	FXAQ32P	2,5	3,1	142
1.66; 1.68	FXAQ40P	3,5	3,9	200

Tabela 4.12b - Características das unidades interiores

Nome	Modelo	Capacidade de Arrefecimento disponível [kW]	Capacidade de arrefecimento disponível [kW]	Caudal [l/s]
Unidade Exterior 6 - REYQ18T				
1.73; 1.75; 1.76; 1.78; 1.79; 1.81; 1.82; 1.83B; 1.84; 1.85; 1.85; 1.86; 1.87	FXAQ32P	3,1	3,1	142
1.77	FXAQ25P	2,0	2,4	133
1.80; 1.80	FXAQ40P	3,5	3,9	200
Unidade Exterior 7 - REYQ20T				
1.100; 1.101; 1.102; 1.104; 1.105; 1.106 (lado tejo); 1.106B; 1.88; 1.89; 1.90; 1.91; 1.93; 1.95; 1.98; 1.99; R/ chão sala reuniões; R/ Chão sala reuniões	FXAQ32P	2,9	3,1	142
ex auto expresso	FXAQ50P	4,8	4,8	250
Unidade Exterior 8 - REYQ10T				
Copa CAT	FXAQ63P	5,0	6,1	317
dpt tração chefe	FXAQ20P	1,8	1,9	125
dpt tração cacifos; tração maquinistas; tração vestiário; open space 1 bastidor	FXAQ32P	2,6	3,1	142
dpt tração gestão; inst revisores	FXAQ40P	3,3	3,9	200
Unidade Exterior 9 - REYQ14T				
gabinete 6; gabinete 8	FXAQ32P	2,6	3,1	142
Open Space 1; Open Space 1	FXSQ100A	8,0	9,7	533
Open Space 2; Open Space 2	FXSQ63A	5,5	6,1	350

No anexo E, será possível encontrar informação adicional, onde se pode verificar tabelas resumo de todos os componentes necessários para o bom funcionamento referentes às unidades exteriores. No anexo F, são indicados os custos de todo o sistema.

4.1.5. Mitsubishi Electric

À semelhança da marca Daikin, para a escolha dos equipamentos da marca Mitsubishi Electric, foi necessária uma pesquisa prévia para ver que produtos existiam que cumprissem os requisitos necessários de projecto. Deste modo, optou-se pela escolha dos seguintes modelos de equipamentos:

- Unidade exterior: PURY-P YLM;
- Unidade interior: PKFY – VBM-E e PEFY-VMA-E;
- Distribuidor BC: CMB-P_V-GA1/HA1 e CMB-P_V-GB1/HB1;
- Comando remoto com ligação por cabo: PAR-31MAA;
- Controlo remoto central: AE50E e AE200E.

A Unidade exterior PURY-P YLM que se pode ver na figura 4.21 é do tipo expansão directa com funcionamento reversível, bomba de calor. Esta unidade consegue trabalhar, para o arrefecimento, entre uma gama de temperatura desde os -5 °C até aos 43 °C. [59].



Figura 4.21 - Unidade exterior [60].

A Unidade interior PKFY – VBM-E, ver figura 4.22, é um equipamento do tipo mural de montagem na parede, que tem como permutador o fluído refrigerante R410a / ar [59].



Figura 4.22 - Unidade interior tipo mural [60].

A Unidade interior PEFY-VMA-E é do tipo de ligação a condutas é como se pode ver na figura 4.23. São dotadas de permutador Fluido Frigorígeno/Ar. [59].

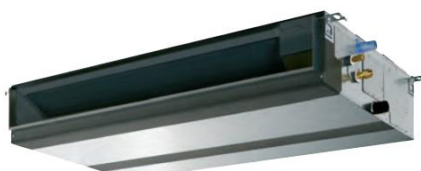


Figura 4.23 - Unidade interior [60].

O Distribuidor BC *controller*: CMB-P_V-GA1/HA1 e CMB-P_V-GB1/HB1 (figura 4.24) faz a ligação entre a unidade exterior e as unidades interiores é um componente que funciona através de válvulas de três vias, tendo como função o arrefecimento e/ou aquecimento em simultâneo [59].



Figura 4.24 - Distribuidor BC *controller* [60].

O Comando remoto, ver figura 4.25, tem ligação por cabo. Algumas das características deste comando são a indicação de anomalias, ligar e desligar, e programação horária entre outros [59].



Figura 4.25- Comando Remoto [60].

O Controlo remoto central AE200E apresentado na figura 4.26 permite até 50 unidades interiores. Este permite que seja possível controlar individualmente as unidades interiores ou em grupos. Através deste controlo remoto é possível ligar e desligar unidades, definir *set points*, indicação do consumo energético do sistema, sendo possível fazer ajustes por forma a existir uma poupança a nível energético, entre outros [59].



Figura 4.26 - Controlo remoto central [60].

Tal como referido no capítulo 4.1.4. procedeu-se à realização da planta, ANEXO D, para se saber a distância entre os diferentes equipamentos. Seguidamente, utilizou-se o programa CITY MULTI Design Tool para o correcto dimensionamento dos equipamentos. A Figura 4.27 apresenta o aspecto geral do programa que foi utilizado.

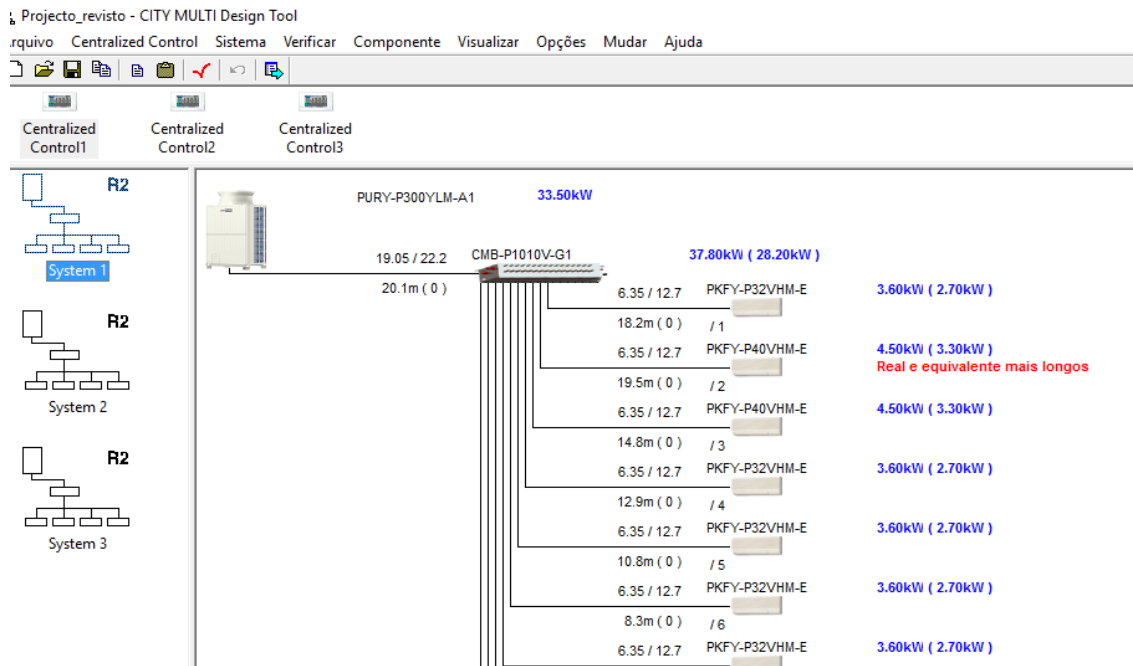


Figura 4.27 – Dimensionamento através do programa Mitsubishi Electric

O primeiro passo neste software é indicar quais as condições de temperatura interiores e exteriores, para o Verão e Inverno. Seguidamente, é necessário escolher qual a série de equipamentos que queremos introduzir, neste caso foi escolhido a série R2, tal como já foi descrito neste subcapítulo. Depois, é necessário introduzir a unidade exterior já com o modelo correcto, como se pode ver na figura 4.28.

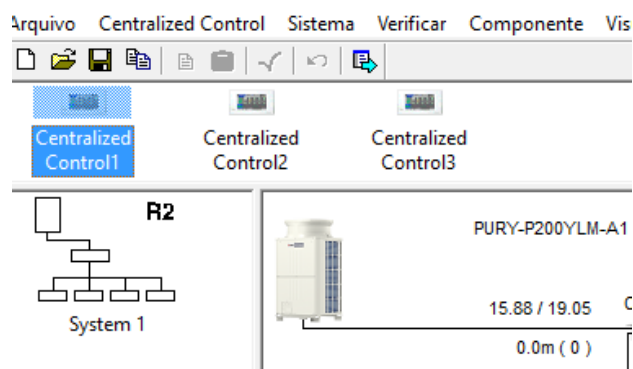


Figura 4.28 - Introdução da unidade exterior.

O passo seguinte prende-se com a selecção do controlador BC. E de seguida, a inserção das unidades interiores que vão estar conectadas a esse controlador, tal como na figura 4.29.

Seguidamente procede-se à introdução dos comprimentos de toda a tubagem para se verificar se todos os requisitos em termos de comprimentos de tubagem são cumpridos. Por último, o que se fez foi conectar as unidades exteriores ao controlo centralizado, que neste caso em concreto, tiveram de ser 3 unidades.

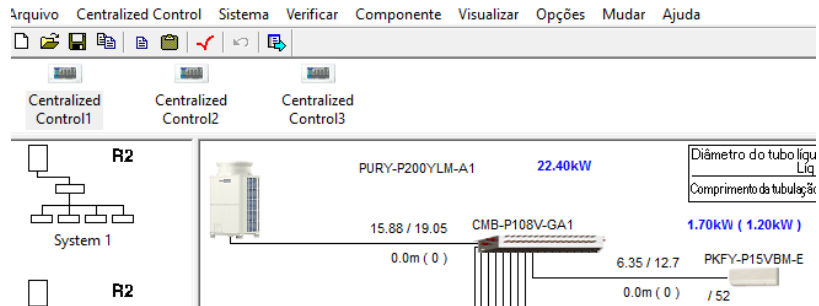


Figura 4.29 - Selecção do controlador e da unidade interior.

Na tabela 4.13 são apresentadas as características das unidades exteriores retiradas do programa CITY MULTI Design Tool.

No anexo G, é possível encontrar as potências nominais das unidades interiores e exteriores da Mitsubishi.

Tabela 4.13 - Características das unidades exteriores.

Nome	Modelo	Comb [%]	Capacidade de arrefecimento [kW]	Capacidade de aquecimento [kW]	COP	Refrigerante		
						Tipo	Bse Refr	Ex Refr
Unidade exterior 1	PURY-P300YLM-A1	117,3	31,66	35,33	3,68/4,19	R410A	10,3	13,8
Unidade exterior 2	PURY-P300YLM-A1	106,7	29,15	34,57	3,40/4,16	R410A	10,3	17,5
Unidade exterior 3	PURY-P450YLM-A1	117,3	43,43	52,27	3,26/3,79	R410A	11,8	37,2
Unidade exterior 4	PURY-P500YLM-A1	109,6	45,25	52,9	2,73/3,49	R410A	11,8	37,2
Unidade exterior 5	PURY-P300YLM-A1	112	26,33	33,60	3,06/3,98	R410A	10,3	25,1
Unidade exterior 6	PURY-P450YLM-A1	115,8	44,63	52,82	3,35/3,81	R410A	11,8	35,1
Unidade exterior 7	PURY-P500YLM-A1	118,8	52,06	55,58	3,14/3,75	R410A	11,8	29,7
Unidade exterior 8	PURY-P250YLM-A1	116,4	24,78	29,26	3,89/4,25	R410A	9,5	20,6
Unidade exterior 9	PURY-P350YLM-A1	111,4	35,24	40,37	3,17/3,86	R410A	10,3	28,7

As tabelas 4.14a e 4.14b são apresentadas as características das unidades interiores que se encontram distribuídas pelas suas respectivas unidades exteriores, ou seja, irão ser apresentadas as potências das unidades interiores de cada sala e de acordo com a unidade exterior a que se encontram ligadas. A tabela 4.14 apresenta o resumo do relatório gerado no programa CITY MULTI Design Tool.

Tabela 4.14a - Características das unidades interiores.

Nome	Modelo	Capacidade de Arrefecimento requerido [kW]	Capacidade de arrefecimento disponível [kW]
Unidade exterior 1 - PURY-P300YLM-A1			
1.02; 1.04; 1.05; 1.06; 1.07;1.08;1.109; 1.10	PKFY-P32VHM-E	2,5	3,13
1.01; 1.03	PKFY-P40VHM-E	3,7	3,91
Unidade Exterior 2 - PURY-P300YLM-A1			
1.11; 1.12; 1.13; 1.14; 1.15; 1.16; 1.17; 1.18; 1.20; 1.14	PKFY-P32VHM-E	3,1	3.13
Unidade Exterior 3 - PURY-P450YLM-A1			
1.19; 1.21; 1.23; 1.25; 1.27; 1.29; 1.31; 1.32; 1.33; 1.34; 1.35; 1.36; 1.37; 1.39	PKFY-P32VHM-E	3,1	3,13
1.42; 1.44	PKFY-P40VHM-E	3,5	3,91
Unidade Exterior 4 - PURY-P500YLM-A1			
1.39	PKFY-P50VHM-E	4,2	4,22
1.41; 1.43; 1.45; 1.46; 1.47; 1.48; 1.49; 1.50; 1.51; 1.52; 1.54; 1.56; 1.58; 1.60	PKFY-P32VHM-E	3,0	3,11
1.53	PKFY-P32VHM-E	4,2	4,22
Unidade Exterior 5 - PURY-P300YLM-A1			
1.71; 1.61; 1.62; 1.63; 1.64; 1.65; 1.67; 1.62	PKFY-P32VHM-E	2,5	3,11
1.66; 1.68	PKFY-P40VHM-E	3,5	3.25

Tabela 4.14b - Características das unidades interiores.

Nome	Modelo	Capacidade de Arrefecimento requerido [kW]	Capacidade de arrefecimento disponível [kW]
Unidade Exterior 6 - PURY-P450YLM-A1			
1.73; 1.75; 1.76; 1.78; 1.79; 1.81; 1.82; 1.83B; 1.84; 1.85; 1.85; 1.86; 1.87	PKFY-P32VHM-E	3,1	3,11
1.77	PKFY-P25VBM-E	2,0	2,29
1.80; 1.80	PKFY-P40VHM-E	3,5	3,67
Unidade Exterior 7 - PURY-P500YLM-A1			
1.88; 1.89; 1.90; 1.91; 1.93; 1.95; 1.98; 1.99; 1.100; 1.101; 1.102; 1.04; 1.105; 1.106 (lado tejo); 1.106B; R/Chão sala reuniões; R/Chão sala reuniões	PKFY-P32VHM-E	2,9	3,11
R/Chão ex auto expresso	PKFY-P50VHM-E	4,8	4,73
Unidade Exterior 8 - PURY-P250YLM-A1			
Copa CAT	PKFY-P63VKM-E	5,0	5,78
dpt tração chefe	PKFY-P20VBM-E	1,8	1,79
dpt tração cacifos; tração maquinistas; tração vestiário; open space 1 bastidor	PKFY-P32VHM-E	2,6	3,11
dpt tração gestão; inst revisores	PKFY-P40VHM-E	3,3	3,67
Unidade Exterior 9 - PURY-P350YLM-A1			
gabinete 6; gabinete 8	PKFY-P32VHM-E	2,6	3,11
Open Space 1; Open Space 1	PEFY-P100VMA- E	8,0	9,9
Open Space 2; Open Space 2	PEFY-P63VMA-E	5,5	6,1

No anexo G será possível encontrar informações adicionais, onde se pode visualizar tabelas resumo de todos os componentes necessários para o bom funcionamento referentes às unidades exteriores. Em Anexo H, serão indicados os custos de todo o sistema proposto.

4.1.7. Comparação entre as duas marcas

A comparação baseou-se nos critérios a seguir mencionados, uma vez que os critérios descritos em 4.1.6 estão todos validados e, portanto, não daria para fazer diferenciação. Assim sendo, os critérios utilizados são os seguintes:

- Custo da totalidade dos equipamentos;
- Número de quilogramas de fluido frigorígeno extra necessários;
- Número de equipamentos para uma melhor gestão centralizada;
- Número de controladores BC/caixa recuperadora.

A escolha dos critérios acima mencionados como os que deveriam ser utilizados para a comparação prende-se com diversos factores. Um desses factores tem a ver com o dinheiro que será necessário gastar, porque uma vez que a qualidade é considerada igual, quanto menos se tiver de gastar para a mesma função, melhor. Quanto menos fluido frigorígeno extra for preciso para que todo o sistema funcione em condições melhor, porque menor será o risco de fuga, e menor o dinheiro investido.

Relativamente ao terceiro critério mencionado, número de equipamentos para uma melhor gestão centralizada, achou-se que este critério seria importante uma vez que hoje em dia, a gestão centralizada, tem ganho cada vez mais importância por forma a fazer-se uma melhor e mais eficiente gestão dos equipamentos que a instalação possui. Desta forma, caso seja preciso verificar se existe alguma anomalia no sistema, basta vir ao controlador da gestão centralizada, em vez de se ir a cada local individualmente onde existem quer as unidades interiores, ou as unidades exteriores ou a caixa recuperadora. Quanto menos forem os equipamentos de gestão centralizada, melhor, uma vez que assim a informação se concentra toda num local e os custos de manutenção são menores.

O último critério prende-se com uma particularidade do sistema da Mitsubishi relativamente ao da Daikin, é que para a unidade exterior 7, tendo em conta que teria as mesmas unidades interiores, para a Mitsubishi será preciso a utilização de 2 Controladores BC, enquanto para a Daikin apenas será preciso a utilização de uma caixa recuperadora. O que faz então com que a Daikin utilize menos um equipamento relativamente à Mitsubishi.

A tabela 4.15 resume os critérios escolhidos para a comparação, e os respectivos custos podemos encontrar nos anexos F e H

Tabela 4.15 – Comparação dos critérios seleccionados

	Daikin	Mitsubishi Electric
Custo dos equipamentos + tubagem [€]	240 177,33	284 290,47
Fluido frigorígeno [kg]	204,5	244,9
Nº equipamentos para gestão centralizada	1 + adaptador	3
Número de controladores BC/caixa recuperadora	9	10

Com base nos resultados retirados dos capítulos 4.1.5 e 4.1.6 e com mais enfoque neste mesmo capítulo, depreende-se que a melhor solução seria a escolha dos equipamentos da marca da Daikin para a solução de climatização do edificio de Santa Apolónia. Dos quatro critérios seleccionados é a que apresenta uma melhor solução quer a nível financeiro, quer a nível de manutenção e número de equipamentos.

Com os componentes todos dimensionados, e assumindo que o sistema foi todo colocado no edificio, existem, portanto, *splits* que podem ser aproveitados para outras instalações de CP, com deficiência nos mesmos, ou que os mesmos estejam em fim de vida. Desta forma, o próximo subcapítulo irá retractar duas possibilidades de substituição desses mesmos equipamentos.

4.1.8. Substituição e aquisição de novos equipamentos

Primeiramente, foi efectuado um levantamento de todos os equipamentos de climatização existente na CP, e procedeu-se ao tratamento da informação. Concluiu-se que em toda a rede

da CP, existem 393 equipamentos do tipo *split* e *multi split*, dos quais 204 já se encontram obsoletos, devido ao fluido frigorigéneo que utilizam e/ou devido à sua idade, tal como referido no capítulo 4.1.1. Sendo necessário a substituição dos mesmos, progressivamente, por uns mais eficientes, que utilizem outro fluido frigorigéneo.

Para a substituição dos equipamentos é então necessário que se seleccionem critérios. Os critérios que foram discutidos e seleccionados no estágio são dois, e prendem-se com a não utilização do R-22 como fluido frigorígeno, pelas razões indicadas no capítulo 3.5 e não serem anteriores ao ano 2002, uma vez que ainda tem algum tempo de vida, caso se encontrem em bom estado. Segundo a Carrier, o tempo de vida de um aparelho de ar condicionado é cerca de 10 anos [61]. Segundo os critérios estabelecidos, os equipamentos da CP mais antigos têm cerca de 13 anos e ainda estão capazes de ser reaproveitados.

Assim, e uma vez que serão instalados, em todo o edificio da Sede da DGP, VRV's, existirão 75 equipamentos de 114 em condições de ser reaproveitados, tal como referido no capítulo 4.1.1 e concluir através da análise das tabelas 4.1 e 4.2 e figura 4.4. Estes equipamentos reaproveitados irão para outras instalações da CP dispersas pelo país, enquanto outros, terão de ser substituídos por novos pelos critérios que foram mencionados no parágrafo anterior.

Desta forma estudar-se-ão dois casos para solucionar a questão da climatização nos edifícios da CP. O primeiro prende-se com o reaproveitamento das unidades *splits* presentes nas instalações da Sede da DGP, utilizando-as em outras instalações da rede, e ainda a instalação de novos equipamentos. Assumindo-se que para este caso, a instalação dos VRV's é imperativa pois não é possível contabilizar monetariamente o impacto visual das unidades exteriores dos *splits*. No segundo caso, pressupõe-se que não se instalarão os VRV's, e proceder-se-á à substituição dos *splits* que não cumpram os dois critérios seleccionados na Sede da DGP, e ainda, ter-se-á de instalar *splits* nas instalações da CP do país inteiro que estão a necessitar de climatização.

Para ambas as opções, definiu-se que existirá um orçamento de 50000 €/ano para se proceder à substituição e/ou aquisição de novos equipamentos. Os preços a utilizar em ambos os casos foram retirados de um contracto de manutenção realizado para a CP, sendo eles: desmontagem e transferência 200 €/uni, desmontagem e levar para o operador 150 €/uni, instalar e fornecer novo equipamento e ainda retirar velho equipamento custa 1000 €/uni para 2 kW, 1070 €/uni para 2,5 kW, 1100 €/uni para 3,5 kW, 1230 €/uni para 4,2 kW, 1500

€/uni para 5 kW, 1800 €/uni para 6 kW, 2100 €/uni para 7,1 kW, 5000 €/uni para 8 kW, 5000 €/uni para 10,6 kW e 6000 €/uni para 12,4 kW.

Foi efectuado o levantamento dos equipamentos para os dois casos de estudo segundo os critérios estipulados, esperando que no fim se possa chegar a uma conclusão mais vantajosa.

No primeiro caso, serão utilizados 75 equipamentos da CP de Santa Apolónia, para outras instalações, cumprindo os requisitos estabelecidos no capítulo 4.1.8. No ano 1 serão instalados os 75 equipamentos que vêm da CP de Santa Apolónia, e ainda serão comprados mais 21 equipamentos de 2 kW e 13 de 2,5 kW. Perfazendo um total de 49910 €. No segundo ano, ir-se-á comprar 46 equipamentos de 2,5 kW. Somando um total de 49220 €. No ano 3, serão adquiridos 14 aparelhos de 2,5 kW, 6 de 3,5 kW, 8 de 4,2 kW, 7 de 5 kW e 4 de 6 kW. Neste ano o custo será de 49120 €. Por fim, no último ano, o quarto ano, ir-se-ão colocar 5 equipamentos de 6 kW e 5 de 7,1 kW. Tendo sido obtido como valor final 19500 €. No total, seria necessário um investimento de 167750 €.

No segundo caso, ir-se-ão substituir 36 unidades em 114 de CP Santa Apolónia por novos equipamentos, e ainda adquirir as restantes 204 unidades espalhadas por todo o país. No primeiro ano serão adquiridas para Santa Apolónia 5 equipamentos de 2,5 kW, 24 de 3,5 kW, 1 de 4 kW, 2 de 5 kW, 3 de 7 kW e 1 de 12,4 kW. E ainda, um equipamento de 2 kW para outra instalação. Sendo que o custo é de 49280 €. No ano seguinte, serão comprados 20 equipamentos de 2 kW e 28 de 2,5 kW. A quantia gasta será de 49960 €. No Ano 3, ir-se-á adquirir 46 aparelhos de 2,5 kW. Perfazendo um total de 49220 €. No quarto ano, serão comprados 4 *splits* de 2,5 kW e 41 de 3,5 kW. Sendo que o custo será de 49380 €. No quinto ano, adquirir-se-á 25 equipamentos de 3,5 kW, 8 de 4,2 kW, e 8 de 5 kW. O preço associado é de 49340 €. No último ano, o sexto, será necessário adquirir 4 equipamentos de 5 kW, 9 de 6 kW, 9 de 7,1kW, e 1 de 10,6 kW. O total será de 46100 €. O investimento total que será necessário é de 239280 €. Este processo demorara 6 anos a ficar concluído.

Comparando os dois casos, é possível retirar algumas ilações com base no custo e no número de anos que seria necessário para completar o processo. Estes formam os critérios escolhidos uma vez que implicam o custo total da instalação bem como o tempo que essa mesma instalação demoraria a ficar concluída. Quando é utilizado o custo como critério, verifica-se que ao aproveitar-se os equipamentos existentes em Santa Apolónia, o custo do caso 1 é cerca de 30% inferior ao caso 2. Relativamente ao número de anos que seriam necessários

para completar o processo de renovação e/ou substituição dos equipamentos, constata-se que no caso 2 são necessários dois anos a mais quando comparado com o primeiro caso.

Analisando os dois critérios em simultâneo, depreende-se que, possivelmente, o caso 1, a opção do reaproveitamento dos *splits* em outras instalações e a instalação de VRV's nas instalações em Santa Apolónia será preferível, tendo como critérios a não utilização do R-22 como fluido frigorigéneo e o tempo de vida dos equipamentos.

4.2 A aplicação em Material Circulante

Neste subcapítulo, ir-se-á falar do material circulante, mais propriamente do sistema de climatização que os comboios possuem e onde o mesmo se localiza. Depois serão apresentados pareceres de como se pode medir a qualidade do ar interior.

4.2.1 Sistema de climatização

Para que se perceba a localização dos sistemas, de uma forma geral, e ainda por onde o ar é insuflado e extraído, e onde existem fugas, a figura 4.25 representa um resumo de como funciona e onde se situa o sistema de climatização do material circulante (transportes ferroviários ou mais conhecido por comboios).

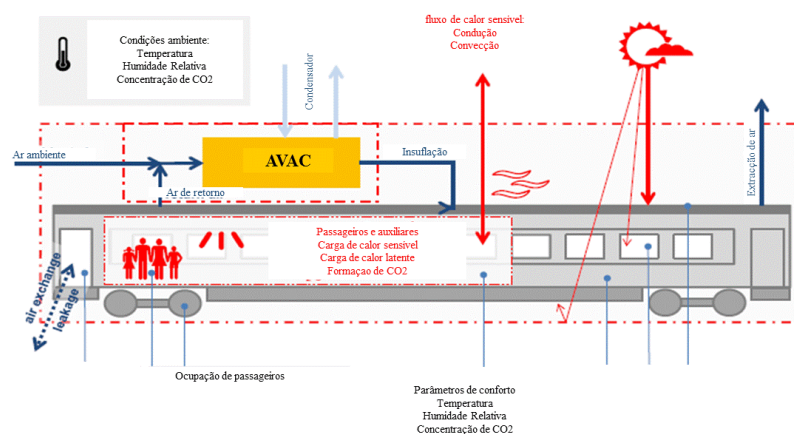


Figura 4.30 - Esquema de um veículo ferroviário de passageiros com sistema AVAC, adaptado [62].

Os sistemas de climatização actualmente em exploração no material circulante CP, podem classificar-se como compacto e *split* e tem exactamente o mesmo princípio de

funcionamento do sistema aplicado a edifícios representado na figura 2.21. No sistema compacto, o evaporador, o compressor, o condensador e os restantes componentes, encontram-se no mesmo local, montados sobre o tecto do veículo. No sistema *split*, o evaporador, o compressor, o condensador, e os restantes componentes, encontram-se montados em diversos cofres técnicos, na parte de baixo dos veículos, este tipo de montagem foi adoptado para as carruagens climatizadas. Neste sentido a diferença entre os sistemas é apenas o local onde estão colocados os componentes. Para além disto, os fluidos frigorígenos que os mesmos utilizam no sistema de climatização são o R-134^a e o R-407C já descritos no capítulo 3.5. Na figura 4.31 é apresentado um extracto do desenho de um sistema compacto, corte A-A, utilizado nas unidades motoras da série 2400.

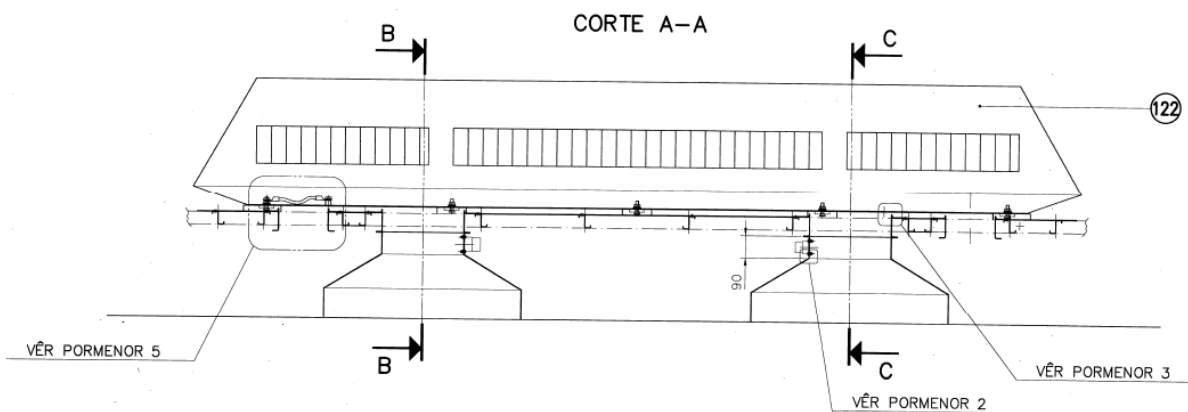


Figura 4.31 - Sistema de climatização compacto da série UQE 2400 [63].

Na figura 4.32 é apresentado um extracto do desenho do sistema *split* utilizado nas carruagens das séries 3250.

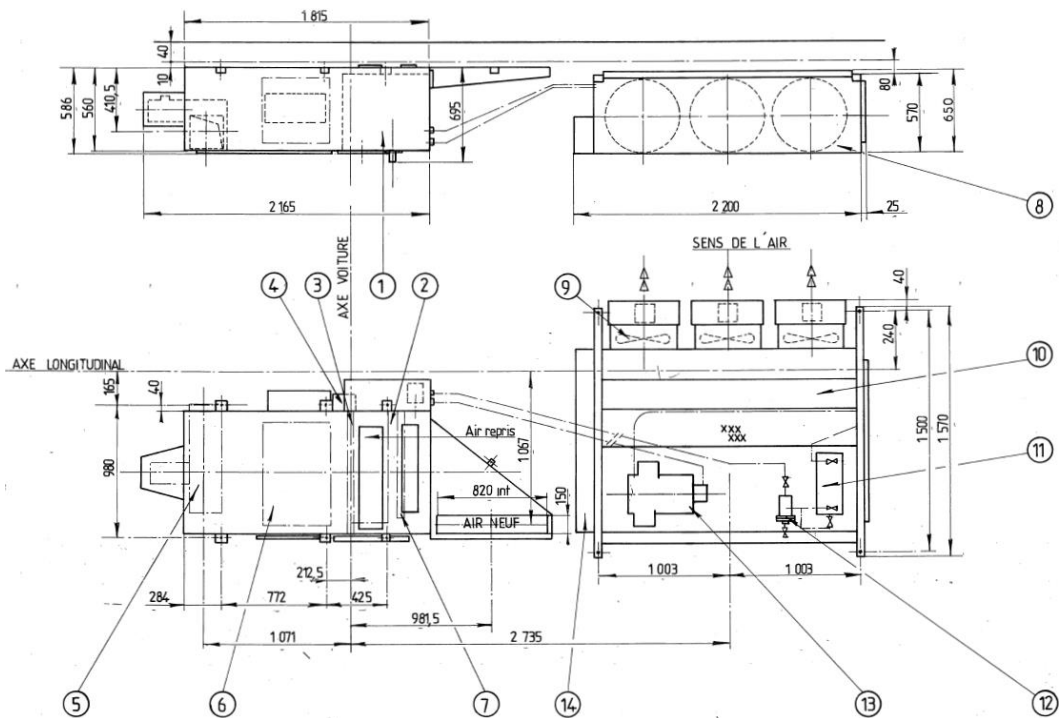


Figura 4.32 - Sistema de climatização *split* da série UQE 3250 [64].

- | | | |
|---|----------------------------|---|
| 1 – Unidade de ar condicionado | 6 - Bateria de Aquecimento | 11 – Depósito de acumulação; |
| 2 – Evaporador ou Bateria de Arrefecimento; | 7 – Filtro; | 12 – Filtro desidratador; |
| 3 – Separador de gotas; | 8 – Unidade de condensação | 13 – Grupo de compressores; |
| 4 – Termóstato de segurança; | 9 – Ventiladores; | 14 - Controlador do circuito frigorífico; |
| 5 – Ventilador; | 10 – Condensador; | |

Na figura 4.33, é apresentado um esquema exemplificativo da circulação de ar dentro de uma cabine/carruagem. Assim, é possível compreender o seu percurso desde que é admitido até ser extraído.

O ar exterior (16) mistura-se com o ar de recirculação (18) obtendo-se o ar de mistura (19). Este, passa através da bateria de aquecimento ou arrefecimento (13/14), conforme as necessidades do local, e de seguida, é filtrado (20/21) e insuflado para o espaço (22). Depois, o ar ambiente (17) é extraído do espaço, uma parte vai para o exterior (25) e a outra vai para a camara de mistura (19). Seguidamente, o ciclo descrito volta a repetir-se.

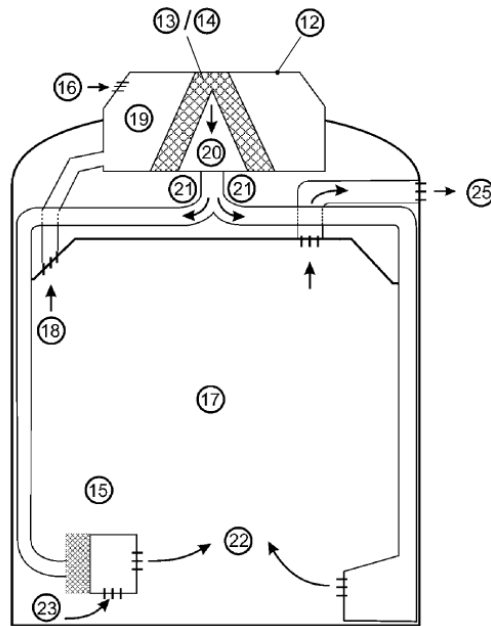


Figura 4.33 - Esquema exemplificativo da ventilação no transporte ferroviário [65].

- | | |
|---|----------------------------|
| 12 – Unidade de climatização; | 19 – Ar de mistura; |
| 13/14 – Bateria de aquecimento ou arrefecimento | 20 – Ar tratado; |
| 15 - Unidade auxiliar de aquecimento; | 21 – Ar tratado (filtrado) |
| 16 – Ar exterior; | 22 – Insuflação de ar |
| 17 – Ar ambiente (espaço); | 23 – Ar induzido |
| 18 – Ar de recirculação; | 25 – Extracção de ar |

4.2.2 Medição da qualidade do ar interior

Depois de ter sido mencionado, no capítulo 3.4, quais os componentes que deveriam ser monitorizados e qual a sua concentração máxima, neste capítulo serão então indicados em que locais se deve medir essas concentrações, alturas, e ainda quais as ferramentas que se devem utilizar na medição dos mesmos.

Com o objectivo de classificar e caracterizar as condições térmicas a bordo de um transporte ferroviário, irão ser utilizadas como guias as normas ISO 7730, UIC 553 e UIC 553-1, com integração da ISO 7726 relativa à instrumentação e medida adequada. As normas IUC (International Union of Railways) são normas específicas para o transporte ferroviário, onde são indicados os valores de temperatura, humidade relativa e velocidade do ar, entre outras grandezas que não contemplam este trabalho. As restantes normas não são específicas para

os comboios, simplesmente foram adaptadas uma vez que são normas que tratam a temperatura, humidade relativa e velocidade do ar e a forma de as medir.

Considera-se que os valores padrão da temperatura interior é entre os 22 °C e 26 °C, considerando que a temperatura exterior varia entre -10 °C e +40 °C [66] [67]. A figura 4.29 é importante uma vez que a partir da temperatura exterior medida é possível saber qual será a temperatura interior teórica esperada.

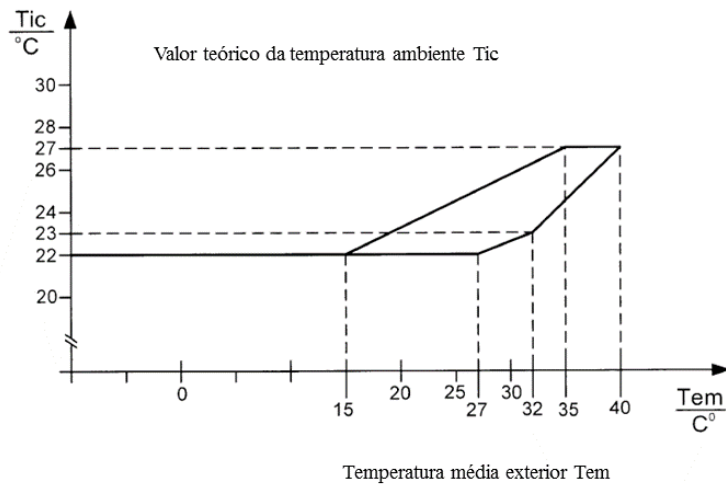


Figura 4.34 - Evolução da temperatura interior em função da temperatura exterior, adaptado de [66].

A temperatura do ar exterior e a temperatura do ar interior devem ser medidas à cota de 0,1 m e 1,1 m [66]. Deverão se considerados para requisitos de conforto, durante o período de Inverno os seguintes critérios [68]:

- Temperatura ambiente do salão de passageiros entre 20 e 24 °C (22 ± 2 °C);
- Diferença de temperaturas verticais, entre os 1,1 m e 0,1 m relativamente ao chão, inferior a 3 °C;
- Temperatura do chão entre 19 °C e 26 °C;
- Média da velocidade do ar, entre 0,1 e 1 m/s²;
- Humidade relativa a bordo entre 30 e 70%.

Deverá considerar-se para requisitos de conforto, durante o período de Verão os seguintes critérios [68]:

- Temperatura ambiente do salão de passageiros entre 23 e 26 °C ($24,5 \pm 1,5$ °C);

- Diferença de temperaturas verticais, entre os 1,1 m e 0,1 m relativamente ao chão, inferior a 3 °C;
- Média da velocidade do ar, entre 0,1 e 1 m/s²;
- Humidade relativa a bordo entre 30 e 70 %.

Não existe um lugar específico para a medição deste parâmetro, porém, a sua medição deve ser feita nos locais mais críticos, sendo que os mesmos acontecem tipicamente ao pé das portas e das janelas das carruagens do comboio. Na figura 4.35 assinalam-se os lugares, que porventura, seriam os escolhidos para a medição.

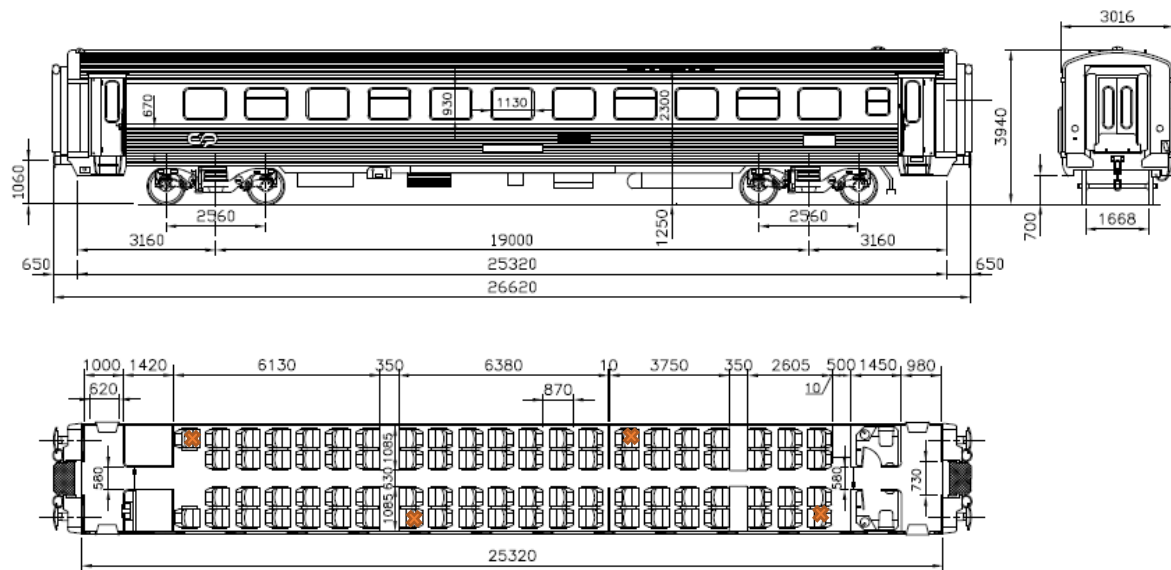
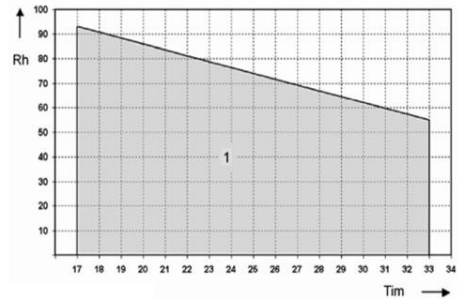


Figura 4.35 - Localização da medição da temperatura interior adaptado [69]

A medição, quer da temperatura exterior como da temperatura interior, é efectuada através de sondas. As sondas efectuam registos de 1 em 1 min, durante o percurso do comboio, para que haja um número suficiente de amostras. Obtendo-se o número de amostras necessárias, procede-se à realização de uma média entre a temperatura medida de um mesmo lugar a cotas diferentes. É necessário ainda saber se entre os valores medidos das temperaturas no mesmo lugar, mas a cotas diferentes, existe uma diferença superior a 3 °C. Se não houver, então não há problema. Se existir, é necessário fazer-se uma análise mais profunda por forma a perceber qual será o problema e tentar solucioná-lo [70].

A medição da humidade relativa é realizada em simultâneo com a temperatura interior e é também efectuada através da sonda, e às cotas já mencionadas. Após a obtenção da

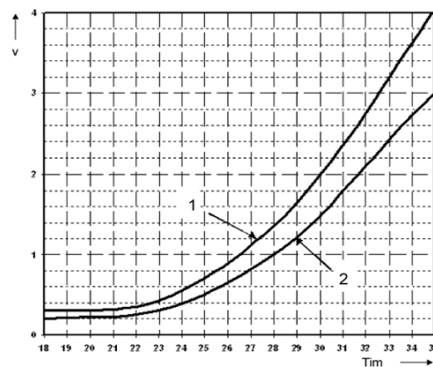
temperatura média interior, e fazendo uma correspondência desse valor com o valor da humidade relativa obtida, verificamos através da figura 4.36, se o valor resultante da intersecção dos valores se encontra dentro da zona 1. Se isso acontecer, então estamos perante um valor de humidade relativa aceitável.



Legenda
 Tim – temperatura média interior, em
 Rh – Humidade relativa, em % °C
 1 – Região de humidade relativa aceite

Figura 4.36 - Humidade relativa aceitável, adaptado de [64].

Para se efectuar a medição da velocidade do ar é necessário a utilização de um anemómetro, introduzido nas mesmas cotas já referidas anteriormente, 0,1 m e 1,1 m. As medições serão efectuadas nos mesmos lugares da figura 4.35. A média das velocidades de cada lugar, não pode ultrapassar o valor estipulado sendo que o mesmo varia entre 0,1 e 1 m/s², como se pode ver pela figura 4.37.



Tim – Temperatura média interior, em °C
 v – velocidade do ar, em m/s
 1 – velocidade máxima da ventilação para aquecimento de veículos de categoria B
 2 – velocidade do ar máxima para veículos de categoria A

Figura 4.37 Velocidade do ar aceitável, adaptado de [64].

Caso os valores obtidos experimentalmente não estejam de acordo com os valores teoricamente esperados, será então preciso compreender se o número de amostras que não está de acordo é muito grande, e qual será a causa ou causas inerentes a essa diferença. Após esta avaliação, será necessário proceder a uma manutenção para que todos os parâmetros sejam alcançados com sucesso.

Para a medição dos poluentes referidos no capítulo 3.4, é possível ver na tabela 4.16 os métodos de medição de referência, os métodos equivalentes e requisitos mínimos para analisadores portáteis de leitura em tempo real.

Tabela 4.16 - Métodos de referência, métodos equivalentes e requisitos mínimos para analisadores portáteis de leitura em tempo real [46] [71].

Parâmetro	Método/princípio de referência	Características Técnicas/ Erro Máximo Admissível
CO ₂	Infravermelho Não Dispersivo (NDIR)	± 10% da concentração máxima de referência
CO	Infravermelho Não Dispersivo (NDIR)	± 10 % da concentração máxima de referência
PM10 e PM2,5	Método gravimétrico com cabeça de amostragem selectiva (Recolha e pesagem do filtro)	± 10% da concentração máxima de referência
COVs totais	Recolha e análise por cromatografia (EN ISO 16000:2001 e 2004 – Parte V e VI)	± 10 % da concentração máxima de referência
Formaldeído (CH ₂ O)	Recolha e análise por cromatografia (EN ISO 16000:2001 e 2004 – Parte II, III, IV)	± 20% da concentração máxima de referência

A recolha e análise cromatográfica prende-se com a recolha de amostras do ar em tubos e seguidamente, através da sua separação por cromatografia nos compostos individuais do ar [45] [68].

O método Infravermelho Não Dispersivo determina a quantidade de dióxido/monóxido de carbono presente no gás através da medição da absorção de um determinado comprimento de onda da luz no gás. Com este método é possível saber, no local, qual a concentração que existe do dióxido/monóxido de carbono [45] [68].

O método gravimétrico com cabeça de amostragem selectiva (Recolha e pesagem do filtro), faz passar uma quantidade de ar através de um filtro, utilizando uma bomba de amostragem. A diferença de peso do filtro antes da passagem do ar e depois, determina a massa de partículas presente no ar [45] [68].

Após as medições, é necessário fazer uma comparação dos valores medidos com os valores presentes na tabela 3.1. Caso os valores se encontrem dentro dos parâmetros estabelecidos, então não há qualquer problema. Se o mesmo não suceder, é então necessária uma averiguação mais profunda para perceber qual a origem do problema, e assim, resolvê-lo.

É de reforçar a ideia que não existem normas específicas de qualidade do ar interior para comboios, pelo que foi necessário adaptar as normas existentes para edifícios.

5.Considerações finais

5.1 Conclusões

Para que o estágio fosse bem-sucedido, foi necessário compreender em primeiro lugar, quais os objectivos, expectativas, o local, quais as suas limitações e muito importante também, o contacto com os colaboradores. Só desta forma, seria possível a troca de ideias e de pontos de vista, entre todos, para que o resultado final fosse o melhor possível.

Foram realizadas visitas pelo “terreno”, nomeadamente pela estação do Rossio, de Campanhã por forma a se compreender quais os sistemas de climatização de edifícios que a CP possuía, quais os seus problemas, quais poderiam ser substituídos e o porquê dessa substituição.

Seguidamente, foi necessário reunir toda a informação relativamente aos equipamentos de climatização do edifício da CP em Santa Apolónia, bem como as plantas, os materiais de que é constituído o edifício, os componentes presentes nas salas. Esta tarefa demonstrou-se morosa uma vez que a informação estava dispersa e não concentrada num documento único, e por vezes, a informação era inexistente pelo que se contava com o conhecimento dos colaboradores. Assim, foi necessário ir a cada local, fazer o levantamento de toda a informação necessária e mencionada acima. Foi necessária ainda a actualização em AutoCAD da planta do primeiro piso, e necessário desenhar a planta do rés-do-chão no mesmo *software*.

Quanto ao dimensionamento do sistema de climatização foi necessário compreender os espaços que haveria disponíveis para a colocação das unidades exteriores, unidades interiores e de outros equipamentos. Após o cálculo da potência de arrefecimento necessária para cada sala, foi necessário escolher qual seria a solução a implementar, para que se procedesse ao correcto dimensionamento dos equipamentos. Assim, decidiu-se que a solução a implementar era o VRV em detrimento de outras opções como a UTA, *chiller* e sistemas *split* e *multi-split*. Esta opção prendeu-se maioritariamente pelo espaço disponível para colocar os componentes, pelo número de componentes, pela possibilidade de fugas, pelo custo da manutenção e pelo dano causado na fachada do edifício. Após a tomada de decisão, foi necessário aprender a mexer com os softwares disponibilizados pelas marcas de equipamento, neste caso o da Daikin e da Mitsubishi, e, ainda, recorrer aos colaboradores de ambas as marcas para esclarecimentos e dúvidas que existiam.

Após terem sido adquiridos os conhecimentos e informações, consideradas fundamentais, para realizar os dimensionamentos anteriormente abordados, foram escolhidos com sucesso os equipamentos que melhor se adequam à aplicação em estudo. Conclui-se que a grande diferença em relação ao dimensionamento entre a Daikin e da Mitsubishi, prende-se pelo número de equipamentos que são necessários para o mesmo sistema. Assim, a Mitsubishi requer mais um controlador BC e ainda mais 2 controladores centralizados, relativamente à Daikin. No fim, estes equipamentos a mais ir-se-ão reflectir num maior custo quer a nível de manutenção, quer a nível financeiro. Realizou-se uma comparação entre os custos dos equipamentos juntamente com os custos das tubagens entre a Mitsubishi e a Daikin, concluindo-se que a Daikin apresenta os menores custos.

Apresentaram-se dois casos de estudo, o primeiro onde se instalavam os VRV's e se aproveitam os sistemas *splits* de Santa Apolónia para as outras instalações da CP, e no segundo caso, não se instalava o sistema VRV e procedia-se à substituição dos equipamentos. O pretendido era saber qual seria o custo total da substituição e o tempo que levaria até estar concluída. Assim, conclui-se que o primeiro caso seria menos dispendioso, e demoraria menos um ano, pelo que seria esta a opção escolhida.

Seguidamente, e na segunda parte do estágio, procedeu-se à verificação do funcionamento dos sistemas de climatização presentes nos comboios e onde os mesmos se situavam dentro do comboio. Posteriormente, indicou-se como se deveria medir os parâmetros da qualidade do ar no interior de um comboio, tendo por base os parâmetros de medição de qualidade do ar interior em edifícios.

Em suma, verificou-se a importância do estudo da climatização de edifícios e de material circulante, devido à sua complexidade e necessidade de análise cuidada, para se atingir um correcto e adequado dimensionamento de todo o sistema de AVAC, o melhor orçamento para o respectivo dimensionamento efectuado, e no fim, obter o maior conforto dos ocupantes do espaço climatizado.

5.2 Propostas para trabalhos futuros

Antes de qualquer projecto e dimensionamento de climatização para o espaço em estudo, convém verificar várias possibilidades de optimização a nível energético do espaço. Por exemplo, algo que será exequível e que não deverá conduzir a grandes investimentos será a colocação de isolamento no tecto. Se esta situação for efectuada, o balanço térmico do edifício, irá alterar e conduzirá a necessidades diferentes. Neste sentido, os equipamentos a instalar, nesta situação, deverão ser de menor potência, o que levará a poupanças a níveis energéticos do edifício.

Uma ideia possível para a continuação deste trabalho, seria o dimensionamento de um sistema de climatização, sem ser o VRV, e fazer uma comparação entre os dois sistemas, o VRV e o novo, a nível de eficiência, número de equipamentos, e custo final da instalação. Poderia também calcular-se um novo sistema de climatização para o material circulante, e verificar as vantagens e desvantagens relativamente ao existente. Verificar quais as novas tecnologias existentes nestes sistemas, e verificar a nível tecnológico e financeiro as diferenças para o sistema encontrado no material circulante da CP.

Outra proposta, seria a medição dos parâmetros descritos em 4.2, e verificar quais os valores obtidos dos mesmos. De seguida, fazer a comparação dos valores obtidos com os tabelados, tirando daí as possíveis conclusões, bem como propostas de resolução de problemas. Fazer também uma comparação de valores entre os obtidos no nosso país e noutros, podendo retirar conclusões sobre o sistema e a sua eficiência.

Bibliografia

- [1] S. K. Wang, Handbook of Air Conditioning and Refrigeration, McGraw-Hill, 2001.
- [2] P. M. Ferreira, S. M.-. Silva e A. E. Ruano, Model based predictive control of HVAC systems for human thermal comfort and energy consumption minimisation, 2012.
- [3] CP, Manual da Organização, Fevereiro de 2016.
- [4] A. Alves, Carris de ferro em Portugal, 2009.
- [5] “https://pt.wikipedia.org/wiki/S%C3%A9rie_281_a_286_da_CP#/media/File:CP_4-6-0_286_Regua.jpg,” [Online]. [Acedido em 27 Janeiro 2017].
- [6] A. M. M. d. Freitas, D. P. d. Silva, D. C. R. Amorim, F. M. T. Cruz e G. T. F. Lopes, Os Comboios de Passageiros em Portugal, 2010/2011.
- [7] “160 anos de história,” [Online]. Available: <https://www.cp.pt/institucional/pt/cultura-ferroviaria/historia-cp/cronologia>. [Acedido em 29 Abril 2016].
- [8] Ficha Técnica LE 5600.
- [9] Decreto-Lei n.º 104/97 de 29 de Abril, 1997.
- [10] Decreto-Lei nº 137-A/2009, 2009.
- [11] “<http://www.infraestruturasdeportugal.pt/rede/ferroviaria/mapa>,” [Online]. [Acedido em 2 Fevereiro 2017].
- [12] CP, Deliberação 2/2014 anexo I, 2014.
- [13] CP, Deliberação 4/2014 anexo II, 2014.
- [14] “Frota de material circulante,” CP, [Online]. Available: <https://www.cp.pt/institucional/pt/cultura-ferroviaria/frota-material-circulante>. [Acedido em 12 Maio 2016].

- [15] “Série 0450 da CP,” [Online]. Available: https://pt.wikipedia.org/wiki/S%C3%A9rie_0450_da_CP. [Acedido em 12 Maio 2016].
- [16] CP, Ficha Técnica Allan 350, 15 de Setembro de 2002.
- [17] CP, Ficha Técnica UDD série 450, 9 de Abril de 2012.
- [18] CP, Ficha Técnica UDD série 9630, 8 de Outubro de 2010.
- [19] “Série 2400 da CP,” 17 Junho 2015. [Online]. Available: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/6/69/Train_back_to_Lisbon_from_Sintra.jpg. [Acedido em 12 Maio 2016].
- [20] CP, Ficha Técnica UTE 2240, Fevereiro de 2013.
- [21] CP, Ficha Técnica 2300, 31 de Janeiro de 2001.
- [22] CP, Ficha Técnica 2400, 30 de Março de 2000.
- [23] CP, Ficha Técnica 3150.
- [24] CP, Ficha Técnica 3250.
- [25] CP, Ficha Técnica 3400, 31 de Janeiro de 2003.
- [26] CP, Ficha Técnica 3500.
- [27] CP, Ficha Técnica CPA 4000.
- [28] CP, Ficha Técnica 5600, 17 de Janeiro de 1995.
- [29] “Série 5600 da CP,” [Online]. Available: https://pt.wikipedia.org/wiki/S%C3%A9rie_5600_da_CP. [Acedido em 12 Maio 2016].
- [30] CP, Ficha Técnica 1400, 1987.

- [31] L. Roriz, J. B. Barreto, A. Gonçalves, J. Jesus, F. Lourenço, L. Malheiro, C. Soares e L. Vasquez, Climatização - Conceção, Instalação e Condução de Sistemas, Edições Orion, Dezembro de 2016.
- [32] V. H. B. d. Silva, Dissertação "Impacto dos Sistemas de Climatização no Conforto Térmico em Edifícios", Ano 2010/2011.
- [33] "<http://www.portaleletricista.com.br/ar-condicionado-split/>," [Online]. [Acedido em 5 Fevereiro 2017].
- [34] T. Pires, Noções Básicas de Climatização - Seminário Energia e Qualidade de ar interior, Efacec.
- [35] Daikin, Catálogo 2015 da Daikin, 2015.
- [36] ISEL, Apontamentos da Unidade Curricular de Instalações Técnicas Especiais, 2015/2016.
- [37] ISEL, "Apontamentos da Unidade Curricular de Gestão Energética de Edifícios," 2015/2016.
- [38] J. N. M. Ramos, Dissertação "Gestão de Instalações", Dezembro de 2012.
- [39] "Close Control 2011/2012," 2011/2012. [Online]. [Acedido em 23 Setembro 2016].
- [40] "O novo enquadramento legal do Sistema Certificação Energética," 13 Dezembro 2013. [Online]. [Acedido em 14 Dezembro 2015].
- [41] Decreto-Lei nº78/2006, Diário da República Nº 67 — 4 de Abril de 2006.
- [42] RCCTE - Decreto-Lei nº80/2006, Diário da República Nº 67 - 4 de Abril de 2006.
- [43] Decreto-Lei nº79/2006, Diário da República Nº 67 - 4 de Abril de 2006.
- [44] S. G. M. Letras, Dissertação "Necessidades nominais de energia em edifícios de habitação: comparação entre as metodologias do RCCTE, REH e modelo 5R1C", 2014.
- [45] C. M. P. Costa, Dissertação "Estudo da Qualidade do Ar Interior num edifício departamental da UC", Setembro de 2011.
- [46] A. P. d. Ambiente, Qualidade do Ar em Espaços Interiores - Guia Técnico, Agência Portuguesa do Ambiente, Janeiro de 2009.

- [47] M. J. R. Teixeira, Dissertação "Avaliação da Qualidade do Ar Interior e Estudos CFD em Espaços do ISEP", 2010.
- [48] "https://www.chemours.com/Refrigerants/pt_BR/fluidos_refrigerantes.html," [Online]. [Acedido em 7 Março 2016].
- [49] R. Miller e M. R. Miller, Ar-Condicionado e Refrigeração, LTC, 2004.
- [50] D. e. n. â. d. p. InovEnergy, "Fluidos Frigorígenos," novembro de 2014. [Online]. [Acedido em 1 Fevereiro 2017].
- [51] "R-407C," [Online]. Available: <http://www.gas-servei.com/pt/componentes/sustitutos-directos-del-r12/r-407c>. [Acedido em 15 Fevereiro 2017].
- [52] "R422A," [Online]. Available: <https://www.totalar.net/tag/r422a/>. [Acedido em 17 Fevereiro 2017].
- [53] G. Maps, "Avenida Infante D. Henrique 73 1º- Lisboa 1900-263 LISBOA," [Online]. [Acedido em 12 Janeiro 2016].
- [54] ASHRAE, ASHRAE Handbook Fundamentals, 2013.
- [55] C. A. C. Company, Manual de Aire Acondicionado, 1980.
- [56] ISEL, Apontamentos da Unidade Curricular de Sistemas Eletromecânicos, 2014/2015.
- [57] M. Electric, catálogo 2015 da Mitsubishi Electric.
- [58] Daikin, Memória descritiva, 17 de Março de 2016.
- [59] M. Electric, Memória Descritiva, 4 de Abril de 2016.
- [60] M. Electric, Catálogo Mitsubishi Electric, 2015.
- [61] "Perguntas Frequentes sobre Ar Condicionado," [Online]. Available: <http://www.carrier.pt/faq>. [Acedido em 1 Março 2017].

- [62] C. Luger, J. Kallinovsky e R. Rieberer, Identification of representative operating conditions of HVAC systems in passenger rail vehicles based on sampling virtual train trips.
- [63] Desenho da CP nº1.15-7766/29 “salão montagem do ar condicionado”.
- [64] Desenho da CP nº3.25-5720/25 “encobremet groupe et unité de conditionnement”.
- [65] EN 14750-1:2006 - Railway applications - Air conditioning for urban and suburban - rolling stock - Part 1: Comfort parameters, 2006.
- [66] UIC 533 - Ventilation, chauffage et climatisation des voitures, Julho de 2003.
- [67] UIC 553-1 - Ventilation, chauffage et climatisation des voitures – Essais de type, Outubro de 2005.
- [68] ISO 7730: Ergonomics of the thermal environment -- Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria, 1994.
- [69] CP, Ficha Técnica C2074001, 24 de Setembro de 2011.
- [70] E. CP – Comboios de Portugal, Relatório do ensaio para determinação do conforto térmico no CPA 4000.
- [71] D. Jardim, P. Diegues, A. Santiago, P. Marias, V. Reis, J. Matos, T. Anacleto, M. Cano, A. Nogueira, M. Capucho, P. Gomes e S. Francisco, Metodologia de avaliação da qualidade do ar no interior de edifícios de comércio e serviços no âmbito da Portaria 353-A/2013, de 4 de dezembro, Agência Portuguesa do Ambiente em parceria com a Direção-Geral da Saúde, Fevereiro 2015.
- [72] Portaria 353-A/2013 - Diário da República, 1.ª série — N.º 235 — 4 de dezembro de 2013.
- [73] L. Matias e C. A. P. d. Santos, ITE 50 - Coeficientes de Transmissão Térmica de Elementos da Envolvente de Edifícios, Lisboa, 2007.

ANEXOS

Anexo A – Planta do piso 1

Anexo B – Planta do Rés-do-chão

Anexo C - Folhas de Cálculo

Anexo D – Planta com a disposição das unidades interiores, exteriores e caixa recuperadora

Anexo E - Tabelas resumo, da Daikin, com os componentes necessários para o bom funcionamento da instalação

Anexo F - Custos da instalação dimensionada da Daikin

Anexo G - Tabelas resumo, da Mitsubishi, com os componentes necessários para o bom funcionamento da instalação

Anexo H - Custos da instalação dimensionado da Mitsubishi

ANEXO A

(Planta do piso 1)

ANEXO B

(Planta do Rés do chão)

ANEXO C

(Folhas de Cálculo)

Anexo D

(Planta com a disposição das unidades interiores, exteriores
e caixa recuperadora)

Anexo E

(Tabelas resumo, da Daikin com os componentes necessários para o bom funcionamento da instalação)

Unidade exterior	Potência nominal de arrefecimento [W]	Potência nominal de aquecimento [W]
REYQ10T	28,0	31,5
REYQ12T	33,5	37,5
REYQ14T	40,0	45,0
REYQ18T	50,4	56,5
REYQ20T	56,0	63,0

Unidade interior	Potência nominal de arrefecimento [W]	Potência nominal de aquecimento [W]
FXAQ32P	3,6	4,0
FXAQ40P	4,5	5,0
FXAQ50P	5,6	6,3
FXAQ25P	2,8	3,2
FXAQ63P	7,1	8,0
FXSQ100A	11,2	2,5
FXSQ63A	7,1	8,0

Unidade exterior 1 - REYQ12T

Modelo	Quantidade	Descrição
REYQ12T	1	VRV IV (REYQ-T)
BS10Q14A	1	Caixa recuperadora
FXAQ32P	8	VRV FXAQ - Unidade interior tipo mural
FXAQ40P	2	VRV FXAQ - Unidade interior tipo mural
BRC1E52A	10	Controlador remoto
R410A	6,9kg	Carga de refrigerante adicional
Piping 6,4	140,3m	
Piping 12,7	160,5m	
Piping 19,1	20,1m	
Piping 28,6	20,1m	

Unidade Exterior 2 - REYQ12T

Modelo	Quantidade	Descrição
REYQ12T	1	VRV IV (REYQ-T)
BS10Q14A	1	Caixa recuperadora
FXAQ32P	10	VRV FXAQ - Unidade interior tipo mural
BRC1E52A	10	Controlador remoto
R410A	10,7kg	Carga de refrigerante adicional
Piping 6,4	142,9m	
Piping 12,7	192,5m	
Piping 19,1	49,6m	
Piping 28,6	49,6m	

Unidade Exterior 3 - REYQ18T

Modelo	Quantidade	Descrição
REYQ18T	1	VRV IV (REYQ-T)
BS16Q14A	1	Caixa recuperadora
FXAQ32P	14	VRV FXAQ - Unidade interior tipo mural
FXAQ40P	2	VRV FXAQ - Unidade interior tipo mural
BRC1E52A	16	Controlador remoto
R410A	32,7kg	Carga de refrigerante adicional
Piping 6,4	290,3m	
Piping 12,7	290,3m	
Piping 19,1	73,1m	
Piping 22,2	73,1m	
Piping 28,6	73,1m	

Unidade Exterior 4 - REYQ20T

Modelo	Quantidade	Descrição
REYQ20T	1	VRV IV (REYQ-T)
BS16Q14A	1	Caixa recuperadora
FXAQ32P	14	VRV FXAQ - Unidade interior tipo mural
FXAQ50P	2	VRV FXAQ - Unidade interior tipo mural
BRC1E52A	16	Controlador remoto
R410A	42,3kg	Carga de refrigerante adicional
Piping 6,4	270,8m	
Piping 12,7	270,8m	
Piping 19,1	109,9m	
Piping 28,6	219,8m	

Unidade Exterior 5 - REYQ12T

Modelo	Quantidade	Descrição
REYQ12T	1	VRV IV (REYQ-T)
BS10Q14A	1	Caixa recuperadora
FXAQ32P	8	VRV FXAQ - Unidade interior tipo mural
FXAQ40P	2	VRV FXAQ - Unidade interior tipo mural
BRC1E52A	10	Controlador remoto
R410A	23,3kg	Carga de refrigerante adicional
Piping 6,4	151,1m	
Piping 12,7	151,1m	
Piping 15,9	99,4m	
Piping 19,1	99,4m	
Piping 28,6	99,4m	

Unidade Exterior 6 - REYQ18T

Modelo	Quantidade	Descrição
REYQ18T	1	VRV IV (REYQ-T)
BS16Q14A	1	Caixa recuperadora
FXAQ25P	1	VRV FXAQ - Unidade interior tipo mural
FXAQ32P	13	VRV FXAQ - Unidade interior tipo mural
FXAQ40P	2	VRV FXAQ - Unidade interior tipo mural
BRC1E52A	16	Controlador remoto
R410A	29,0kg	Carga de refrigerante adicional
Piping 6,4	269,7m	
Piping 12,7	269,7m	
Piping 19,1	61,2m	
Piping 22,2	61,2m	
Piping 28,6	61,2m	

Unidade Exterior 7 - REYQ20T

Modelo	Quantidade	Descrição
REYQ20T	1	VRV IV (REYQ-T)
BS10Q14A	1	Caixa recuperadora
BS8Q14A	1	Caixa recuperadora
FXAQ32P	17	VRV FXAQ - Unidade interior tipo mural
FXAQ50P	1	VRV FXAQ - Unidade interior tipo mural
KHRQ23M64T	1	Refnet branch piping kit
BRC1E52A	18	Controlador remoto
R410A	17,8kg	Carga de refrigerante adicional
Piping 6,4	264,8m	
Piping 9,5	13,2m	
Piping 12,7	270,6m	
Piping 15,9	19,8m	
Piping 19,1	19,0m	
Piping 22,2	13,2m	
Piping 28,6	45,4m	

Unidade Exterior 8 - REYQ10T

Modelo	Quantidade	Descrição
REYQ10T	1	VRV IV (REYQ-T)
BS8Q14A	1	Caixa recuperadora
FXAQ20P	1	VRV FXAQ - Unidade interior tipo mural
FXAQ32P	4	VRV FXAQ - Unidade interior tipo mural
FXAQ40P	2	VRV FXAQ - Unidade interior tipo mural
FXAQ63P	1	VRV FXAQ - Unidade interior tipo mural
BRC1E52A	8	Controlador remoto
R410A	13,5kg	Carga de refrigerante adicional
Piping 6,4	156,2m	
Piping 9,5	18,0m	
Piping 12,7	218,8m	
Piping 15,9	18,0m	
Piping 19,1	62,6m	
Piping 22,2	62,6m	

Unidade Exterior 9 - REYQ14T

Modelo	Quantidade	Descrição
REYQ14T	1	VRV IV (REYQ-T)
BS6Q14A	1	Caixa recuperadora
FXAQ32P	2	VRV FXAQ - Unidade interior tipo mural
FXSQ100A	2	VRV FXSQ-A - Unidade interior tipo conduta
FXSQ63A	2	VRV FXSQ-A - Unidade interior tipo conduta
BRC1E52A	6	Controlador remoto
R410A	28,3kg	Carga de refrigerante adicional
Piping 6,4	28,8m	
Piping 9,5	96,4m	
Piping 12,7	28,8m	
Piping 15,9	200,8m	
Piping 22,2	104,4m	
Piping 28,6	104,4m	

Anexo F

(custos da instalação dimensionada)

Modelo	Quantidade	Descrição	Preço unitário	Preço Total
REYQ10T	1	VRV IV (REYQ-T)	6 427,00 €	6 427,00 €
REYQ12T	3	VRV IV (REYQ-T)	7 618,00 €	22 854,00 €
REYQ14T	1	VRV IV (REYQ-T)	9 326,00 €	9 326,00 €
REYQ18T	2	VRV IV (REYQ-T)	11 477,00 €	22 954,00 €
REYQ20T	2	VRV IV (REYQ-T)	12 621,00 €	25 242,00 €
BS10Q14A	4	Caixa recuperadora	3 881,00 €	15 524,00 €
BS16Q14A	3	Caixa recuperadora	5 791,00 €	17 373,00 €
BS6Q14A	1	Caixa recuperadora	2 455,00 €	2 455,00 €
BS8Q14A	2	Caixa recuperadora	3 228,00 €	6 456,00 €
FXAQ20P	1	VRV FXAQ – Unidade interior tipo mural	626,00 €	626,00 €
FXAQ25P	1	VRV FXAQ - Unidade interior tipo mural	644,00 €	644,00 €
FXAQ32P	90	VRV FXAQ - Unidade interior tipo mural	654,00 €	58 860,00 €
FXAQ40P	10	VRV FXAQ - Unidade interior tipo mural	672,00 €	6 720,00 €
FXAQ50P	3	VRV FXAQ - Unidade interior tipo mural	690,00 €	2 070,00 €
FXAQ63P	1	VRV FXAQ - Unidade interior tipo mural	707,00 €	707,00 €
FXSQ100A	2	VRV FXSQ-A - Unidade interior tipo conduta	1 147,00 €	2 294,00 €
FXSQ63A	2	VRV FXSQ-A - Unidade interior tipo conduta	935,00 €	1 870,00 €
KHRQ23M64T	1	Refnet branch piping kit	100,00 €	100,00 €
DCM601A51	1	Intelligent Touch Manager	1 980,00 €	1 980,00 €
BRC1E52A	110	Controlador remoto	121,00 €	13 310,00 €
DCM601A52	1	iTM Plus Adaptor	757,00 €	757,00 €
R410A	204,5 kg	Extra refrigerant charge	7,5€/kg	1 533,75
Piping 6,4	1715 m	Tubagem de cobre 6,4 com isolamento	1,85€/m	3172,75
Piping 9,5	127,6 m	Tubagem de cobre 9,5 com isolamento	2,85€/m	364,8
Piping 12,7	1853,1 m	Tubagem de cobre 12,7 com isolamento	3,38€/m	6 266,52
Piping 15,9	338 m	Tubagem de cobre 15,9	4,42€/m	1 714,96
Piping 19,1	494,9 m	Tubagem de cobre 19,1	6,10€/m	3 019,5
Piping 22,2	314,5 m	Tubagem de cobre 22,2	6,34€/m	1 997,1
Piping 28,6	673 m	Tubagem de cobre 28,6	8,29€/m	5 579.1
Isolamento	1820,4 m	Isolamento da tubagem de cobre de 15,9; 19,1; 22,2; 28,6	0,60€/m	1 092,6
TOTAL			240 177,33 €	

Anexo G

(Tabelas resumo, da Mitsubishi, com os componentes necessários para o bom funcionamento da instalação)

Unidade exterior	Potência nominal de arrefecimento [W]	Potência nominal de aquecimento [W]
PURY-P300YLM-A1	33,50	37,50
PURY-P450YLM-A1	50,00	56,00
PURY-P500YLM-A1	56,00	58,00
PURY-P250YLM-A1	28,00	31,50
PURY-P350YLM-A1	40,00	40,37

Unidade interior	Potência nominal de arrefecimento [W]	Potência nominal de aquecimento [W]
PKFY-P32VHM-E	3,60	4,00
PKFY-P40VHM-E	4,50	5,00
PKFY-P50VHM-E	5,60	6,30
PKFY-P25VBM-E	2,80	3,20
PKFY-P20VBM-E	2,20	2,50
PKFY-P63VKM-E	7,10	8,00
PEFY-P100VMA-E	11,20	12,50
PEFY-P63VMA-E	7,10	8,00

Unidade exterior 1 - PURY-P300YLM-A1

Modelo	Quantidade	Descrição
PURY-P300YLM-A1	1	VRF R2
CMB-P1010V-G1	1	Distribuidor BC controller
PKFY-P32VHM-E	8	Unidade interior tipo mural
PKFY-P40VHM-E	2	Unidade interior tipo mural
IRAR-31MAA	10	Controlador remoto
R410A	13,8kg	Carga de refrigerante adicional
Piping 6,35	140,3m	
Piping 12,7	140,7	
Piping 19,05	20,1m	
Piping 22,2	20,1m	

Unidade Exterior 2 - PURY-P300YLM-A1

Modelo	Quantidade	Descrição
PURY-P300YLM-A1	1	Unidade exterior da série R2
CMB-P1010V-G1	1	Distribuidor BC controller
PKFY-P32VHM-E	10	Unidade interior tipo mural
PAR-31MAA	10	Controlador remoto
R410A	17,5kg	Carga de refrigerante adicional
Piping 6,35	142,9m	
Piping 12,7	142,9m	
Piping 19,05	49,6m	
Piping 22,2	49,6m	

Unidade Exterior 3 - PURY-P450YLM-A1

Modelo	Quantidade	Descrição
PURY-P450YLM-A1	1	Unidade exterior da série R2
CMB-P1016V-GA1	1	Distribuidor BC controller
PKFY-P32VHM-E	14	Unidade interior tipo mural
PKFY-P40VHM-E	2	Unidade interior tipo mural
PAR-31MAA	16	Controlador remoto
R410A	37,2kg	Carga de refrigerante adicional
Piping 6,4	290,3m	
Piping 12,7	290,3m	
Piping 22,2	73,1m	
Piping 28,58	73,1m	

Unidade Exterior 4 - PURY-P500YLM-A1

Modelo	Quantidade	Descrição
PURY-P500YLM-A1	1	Unidade exterior da série R2
CMB-P1016V-GA	1	Distribuidor BC controller
PKFY-P32VHM-E	14	Unidade interior tipo mural
Y-P50VHM-E	2	Unidade interior tipo mural
AR-31MAA	16	Controlador remoto
R410A	37,2kg	Carga de refrigerante adicional
Piping 6,35	270,8m	
Piping 12,7	270,8m	
Piping 22,2	109,9m	
Piping 28,58	109,9m	

Unidade Exterior 5 - PURY-P300YLM-A1

Modelo	Quantidade	Descrição
PURY-P300YLM-A1	1	Unidade exterior da série R2
CMB-P1010V-G1	1	Distribuidor BC controller
PKFY-P32VHM-E	8	Unidade interior tipo mural
PKFY-P40VHM-E	2	Unidade interior tipo mural
PAR-31MAA	10	Controlador remoto
R410A	25,1kg	Carga de refrigerante adicional
Piping 6,35	151,1m	
Piping 12,7	151,1m	
Piping 19,05	99,4m	
Piping 22,2	99,4m	

Unidade Exterior 6 - PURY-P450YLM-A1

Modelo	Quantidade	Descrição
PURY-P450YLM-A1	1	Unidade exterior da série R2 series
CMB-P1016V-GA	1	Distribuidor BC controller
PKFY-P25VBM-E	1	Unidade interior tipo mural
PKFY-P32VHM-E	13	Unidade interior tipo mural
PKFY-P40VHM-E	2	Unidade interior tipo mural
PAR-31MAA	16	Controlador remoto
R410A	35,1kg	Carga de refrigerante adicional
Piping 6,35	269,7m	
Piping 12,7	269,7m	
Piping 22,2	61,2m	
Piping 28,58	61,2m	

Unidade Exterior 7 - PURY-P500YLM-A1

Modelo	Quantidade	Descrição
PURY-P500YLM-A1	1	Unidade exterior da série R2
CMB-P1010V-GA	1	Distribuidor BC controller
CMB-P108V-GB	1	Distribuidor BC controller
PKFY-P32VHM-E	17	Unidade interior tipo mural
PKFY-P50VHM-E	1	Unidade interior tipo mural
PAR-31MAA	18	Controlador remoto
R410A	29,7kg	Carga de refrigerante adicional
ping 6,35	264,8m	
ping 9,52	19,2m	
ping 12,7	264,8m	
Piping 19,05	19,3m	
Piping 22,2	45,9m	
Piping 28,58	26,6m	

Unidade Exterior 8 - PURY-P250YLM-A1

Modelo	Quantidade	Descrição
PURY-P250YLM-A1	1	Unidade exterior da série R2
CMB-P108V-G1	1	Distribuidor BC controller
PKFY-P20VBM-E	1	Unidade interior tipo mural
PKFY-P32VHM-E	4	Unidade interior tipo mural
PKFY-P40VHM-E	2	Unidade interior tipo mural
PKFY-P63VKM-E	1	Unidade interior tipo mural
PAR-31MAA	8	Controlador remoto
R410A	20,6kg	Carga de refrigerante adicional
Piping 6,35	156,2m	
Piping 9,52	18,0m	
Piping 12,7	156,2m	
Piping 15,88	18,0m	
Piping 19,05	62,6m	
Piping 22,2	62,6m	

Unidade Exterior 9 - PURY-P350YLM-A1

Modelo	Quantidade	Descrição
PURY-P350YLM-A1	1	Unidade exterior da série R2
CMB-P108V-G1	1	Distribuidor BC controller
PKFY-P32VHM-E	2	Unidade interior tipo mural
PEFY-P100VMA-E	2	Unidade interior tipo conduta
PEFY-P63VMA-E	2	Unidade interior tipo conduta
CMY-R160-J1	2	Join Pipe
PAR-31MAA	6	Controlador remoto
R410A	28,7kg	Carga de refrigerante adicional
Piping 6,35	28,8m	
Piping 9,52	96,4m	
Piping 12,7	28,8m	
Piping 15,88	36,4m	
Piping 19,05	104,4m	
Piping 28,58	104,4m	

Anexo H

(custos da instalação dimensionada)

Quantidade	Modelo	Descrição	Preço Unitário (€)	Preço total (€)
3	AE-200E	Controlo centralizado	2 645	7 935
110	PAR-31MAA	Controlador remoto	125	13 750
3	PURY-P300YLM-A1	Unidade exterior da série R2	10 272	30 816
2	PURY-P450YLM-A1	Unidade exterior da série R2	15 397	30 794
2	PURY-P500YLM-A1	Unidade exterior da série R2	16 973	33 946
1	PURY-P250YLM-A1	Unidade exterior da série R2	8 559	8 559
1	PURY-P350YLM-A1	Unidade exterior da série R2	11 982	11 982
3	CMB-P1010V-G1	BC controller single	4 269	12 807
1	CMB-P1016V-GA1	BC controller main	6 283	6 283
2	CMB-P1016V-GA	BC controller main	6 283	12 566
1	CMB-P1010V-GA	BC controller main	4 525	4 525
1	CMB-P108V-GB	BC controller sub	3 367	3 367
2	CMB-P108V-G1	BC controller single	3 543	7 086
90	PKFY-P32VHM-E	Unidade interior tipo mural	696	62 640
10	PKFY-P40VHM-E	Unidade interior tipo mural	711	7 110
3	PKFY-P50VHM-E	Unidade interior tipo mural	727	2 181
1	PKFY-P25VBM-E	Unidade interior tipo mural	693	693
1	PKFY-P63VKM-E	Unidade interior tipo mural	782	785
1	PKFY-P20VBM-E	Unidade interior tipo mural	680	680
2	PEFY-P100VMA-E	Unidade interior tipo conduta	1 246	2 492
2	PEFY-P63VMA-E	Unidade interior tipo conduta	1 013	2 026
2	CMY-R160-J1	Joint pipe	76	152
244,9 kg	R14A	Extra refrigerant charge	7,5€/kg	1 837,5
1714,9 m	Piping 6,4	Tubagem de cobre 6,4 com isolamento	1,85€/m	3 172,75
133,7 m	Piping 9,5	Tubagem de cobre 9,5 com isolamento	2,85€/m	381,9
1714,9 m	Piping 12,7	Tubagem de cobre 12,7 com isolamento	3,38€/m	5 796,7
114,4 m	Piping 15,9	Tubagem de cobre 15,9	4,42€/m	508,3
355,4 m	Piping 19,1	Tubagem de cobre 19,1	6,10€/m	2 171,6
521,8 m	Piping 22,2	Tubagem de cobre 22,2	6,34€/m	3 309,48
375,2 m	Piping 28,6	Tubagem de cobre 28,6	8,29€/m	3 117,04
1366,8m	Isolamento	Isolamento para tubagem de 15,9; 19.1; 22,2; 28,6	0,60€/m	820,2
TOTAL				284 290,47