



INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA
Departamento de Engenharia Mecânica



Projeto de AVAC para um Edifício de Apoio a Pessoas com Deficiência Mental

RUI GONÇALO MOREIRA DA COSTA
(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
Especialista João Antero N. S. Cardoso

Júri:

Presidente: Doutor Gonçalo Nuno de Oliveira Duarte
Vogais:

Especialista Francisco Manuel Fernandes Severo
Doutora Cláudia Sofia Séneca da Luz Casaca

Julho de 2021

Agradecimentos

O TFM trata-se de um projeto individual, contudo existiram durante o longo processo inúmeros contributos para que este dia chegasse.

Ambos os meus orientadores, a professora Cláudia Casaca e o professor João Cardoso, contribuírem em muito para que conseguisse atingir este objetivo e por isso o meu grande agradecimento. Também deixo aqui o meu agradecimento ao meu colega e amigo Diogo Gonçalves que fez uma caminhada idêntica à minha, ambos nos apoiámos mutuamente e ambos conseguimos concluir esta etapa com sucesso. No capítulo do desenho técnico tenho a agradecer ao Marco Felício da ACET que com um mini workshop permitiu aumentar o meu conhecimento no *software* AutoCAD.

Por fim, mas não menos importante, a família. Namorada (futura esposa), pais e irmão também vos agradeço por nunca terem desistido de mim e me terem pressionado para que este dia chegasse.

O meu muito obrigado a todos!

Resumo

O presente trabalho pretende apresentar um projeto de AVAC para um Edifício de Apoio a Pessoas com Deficiência Mental assim como o projeto de um sistema Solar Térmico para apoio às águas quentes sanitárias.

O edifício em questão está situado no Recoveiro, em Sintra, e é composto por 3 pisos, sendo um deles abaixo do solo. Apenas o piso 0 e 1 serão alvo de climatização uma vez que o piso -1 é apenas composto por um estacionamento e uma lavandaria. Devido à presença de equipamentos que proporcionam elevada carga térmica na lavandaria e de modo a simplificar a instalação das redes aerúlicas e hidráulicas em fase de obra, optou-se por uma solução de equipamentos autónomos (independentes dos restantes que serão centralizados). Dada a especificidade do edifício, e face à legislação encontrada, o edifício em questão foi equiparado a um lar de idosos quer em termos de necessidades de ar novo e extração, quer em termos de medidas organizacionais e de funcionamento.

Para a elaboração do projeto de AVAC e de forma a chegar à solução proposta, isto é à seleção dos equipamentos a usar, foi necessário ter em conta sempre a legislação em vigor e efetuar diversos cálculos, tais como: necessidades de ar novo e extração; dimensionamento aerúlico utilizando o método de recuperação estática para a insuflação e método de perda de carga constante para a extração; dimensionamento hidráulico realizado para uma perda de carga linear inferior a 250 Pa/m; cálculo das potências de arrefecimento e aquecimento necessárias em todo o edifício; perdas de carga dos circuitos hidráulicos e aerúlicos, entre outros. Em alguns destes cálculos foram usados programas que ajudaram a chegar ao resultado final sendo eles o HAP da Carrier, programas de seleção de equipamentos e o Solterm do LNEG.

Conhecendo as potências necessárias a vencer, 65 kW no caso do arrefecimento e 25,5 kW no aquecimento, partiu-se para a seleção da solução optando por uma UTAN com apoio de chiller, bomba de calor e VCs, como unidades terminais. Para o projeto do sistema Solar Térmico foi necessário traçar o perfil de consumo do edifício que, tendo em conta a legislação em vigor, referencia o valor de 55 l/cama (perfazendo a totalidade de 1320 l/dia). Este sistema será composto por um conjunto de coletores, depósito, bomba circuladora e um sistema de apoio.

Palavras-chave: projeto AVAC, qualidade do ar interior, conforto, dimensionamento, painel solar térmico.

Abstract

The present work aims to present an HVAC project and a solar thermal system project to support hot sanitary waters for a support building of people with mental disabilities.

The building in question is located in Recoveiro, Sintra, and it is organized into 3 floors, one of which is below ground. Only floors 0 and 1 will be subject to air conditioning since floor -1 is a parking lot and a laundry room.

Due to equipment, that provides a high thermal load in the laundry and to simplify the installation of the hydraulic and hydraulic networks in the construction phase, we opted for a solution of autonomous equipment.

Given the specificity of the building, and in view of the legislation found, the building in question was assimilated to an elder care facility both in terms of fresh air and extraction needs and organizational and operational measures.

For the preparation of the HVAC project and to reach the proposed solution, that is, the selection of equipment to be used, it was necessary to always take into account the legislation in force and carry out various calculations, such as fresh air and extraction needs; hydraulic design using the static recovery method for insufflation and constant pressure loss method for extraction; hydraulic design performed for a linear head loss of less than 250 Pa/m; calculation of the necessary cooling and heating powers in the entire building; pressure losses of hydraulic and hydraulic circuits, among others. In some of these calculations were used programs that helped to reach the final result, as Carrier's HAP, equipment selection programs and LNEG's Solterm.

Knowing the necessary powers to overcome 65 kW in the case of cooling and 25.5 kW in heating, the solution was chosen by opting for a AHU with the support of a chiller, heat pump and VCs, as terminal units.

For the Solar Thermal system project, it was necessary to trace the consumption profile of the building, which, considering the legislation in force, references the value of 55 l/bed (totaling 1320 l/day). This system will consist of a set of collectors, a tank, a circulating pump and a support system.

Key words: AVAC, thermal solar panel, interior air quality, comfort, sizing.

Siglas e Acrónimos

AVAC	Aquecimento, ventilação e ar condicionado
BC	Bomba de calor
COP	Coefficiente de desempenho
COV	Compostos orgânicos voláteis
DGIES	Direção Geral das Instalações e Equipamento da Saúde
DL	Decreto lei
EN	Norma europeia
HAP	<i>Hourly Analysis Program</i>
LNEC	Laboratório Nacional de Engenharia Civil
LNEG	Laboratório Nacional de Energia e Geologia
OMS	Organização Mundial de Saúde
QAI	Qualidade de ar interior
RSP	Partículas respiráveis em suspensão
SAHS	<i>Sandometal Handling Units Software</i>
SCE	Sistema de Certificação Energética dos Edifícios
UPAR	Unidade produtor de água arrefecida
UPS	Fonte de alimentação interrupta
UTA	Unidade de tratamento de ar
UTAN	Unidade de tratamento de ar novo
VAV	Volume de ar variável
VC	Ventiloconvector
VRF	Fluído refrigerante variável

Índice

Agradecimentos	i
Resumo	iii
Abstract.....	v
Siglas e Acrónimos.....	vii
Índice	ix
Índice de Figuras	xiii
Índice de Tabelas	xvii
1 Introdução.....	1
1.1 Enquadramento do tema	1
1.2 Motivação e objetivos	2
1.3 Estrutura do trabalho.....	2
2 Enquadramento teórico.....	5
2.1 Qualidade do ar interior	5
2.2 Os Sistemas de AVAC.....	8
2.3 Tipos de sistemas	10
2.3.1 Classificação dos sistemas em função da área climatizada	11
2.3.2 Classificação dos sistemas em função do fluido térmico	12
2.4 Equipamentos.....	16
2.4.1 Unidades de tratamento de ar	17
2.4.2 Split e multisplit	19
2.4.3 Fluido de Refrigerante Variável	21
2.4.4 Unidade terminal – Volume de ar variável.....	22
2.4.5 Close Control.....	23
2.4.6 Rooftop	24
2.4.7 Caldeira.....	24

2.4.8	Bomba de calor	25
2.4.9	Chiller	27
2.4.10	Unidade terminal - Ventiloinvetor	28
2.5	Cargas Térmicas	29
2.5.1	Transmissão de calor e humidade através da envolvente	30
2.5.2	Cargas térmicas interiores	31
2.5.3	Cargas térmicas devidas a infiltrações.....	33
2.5.4	Cargas térmicas devidas ao ar novo	34
3	Caraterização da instalação técnica	35
3.1	Enquadramento	35
3.2	Caraterização da envolvente	41
3.3	Caraterização dos espaços	47
3.3.1	Coeficientes globais de transmissão térmica	47
3.3.2	Coeficiente de transmissão térmica dos vãos	51
3.3.3	Horários	53
3.3.4	Cargas térmicas internas	56
3.3.5	Caraterização dos espaços no HAP	56
3.4	Cálculo de ar novo e extração	61
3.5	Regime de pressões do ar interior	64
3.6	Caracterização da solução usada.....	67
3.6.1	Unidade de tratamento de ar e ventiladores.....	67
3.6.2	<i>Chiller</i> e bomba de calor	80
3.6.3	Seleção e caraterização dos VCs, grelhas de insuflação e extração e filtros. 80	
3.6.4	Dimensionamento aeráulico	81
3.6.5	Dimensionamento hidráulico.....	84
3.7	Seleção do equipamento	86

3.7.1	Unidade de tratamento de ar, chiller e bomba de calor	86
3.7.2	Equipamentos do circuito aeráulico	89
3.7.3	Equipamentos do circuito hidráulico	94
3.8	Sistema solar térmico	101
4	Conclusões	107
	Bibliografia	111
	Anexos	115

Índice de Figuras

Figura 1 - Sistema VRF (Solutions B. C., 2021).....	12
Figura 2 - Sistema "tudo-ar" (adaptado de Grondzik, 2007).....	13
Figura 3 - Sistema "tudo-água" (adaptado de Grondzik, 2007).	15
Figura 4 - Sistema ar-água (adaptado de Grondzik, 2007).....	16
Figura 5 – Exemplo da composição de uma UTA (Trane, Unidades de Tratamento de Ar, Aplicações de conforto 1000-45 000m ³ /h, 2015).	17
Figura 6 – Modo de funcionamento de um sistema Split (adaptado de First Serve, s.d.).	19
Figura 7 - Sistema Multisplit (Daikin, Products, Split & Multisplit, 2021).....	20
Figura 8 – Diferentes tipo de Split: A - Split de parede; B – Split de conduta; C – Split de mural; D – Split de cassete (adaptado de Daikin, 2019)	20
Figura 9 - Exemplo de um sistema VRF adaptado de Daikin, 2020).....	22
Figura 10 – Caixa terminal de um sistema VAV (Arquitetura, 2017).	23
Figura 11 - Unidade de Close Control (Lennox, 2020).....	23
Figura 12 – Aparência exterior de uma Rooftop (Trane, Unidades rooftop, Airfinity 20-135 kW, 2020).....	24
Figura 13 - Unidade exterior de uma bomba de calor (Miller, 2006).	26
Figura 14 - Bomba de calor a funcionar no Verão (Miller, 2006).....	26
Figura 15 - Bomba de calor a funcionar no Inverno ((Miller, 2006)).	27
Figura 16 - Chiller (Trane, Chillers arrefecidos a ar, 2020).....	28
Figura 17 - Balanço energético do edifício (Silva, 2006).....	30
Figura 18 – Carga térmica libertada por um ocupante consoante a sua atividade	32
Figura 19 - Cargas térmicas presentes num espaço ocupado e com equipamentos elétricos (Edificações, 2019).....	33
Figura 20 - Vista Planta do edifício em questão.....	37
Figura 21 – Vista Frontal do edifício em questão.	37
Figura 22 – Fator INMG para o mês de dezembro (INMG, 1981).	46

Figura 23 – Formato e dimensões do vão exterior V1.	51
Figura 24 – Caraterísticas do vão V1 no Menu Window no HAP.	52
Figura 25 – Caraterização do Schedule da ocupação (gabinete da direção).	55
Figura 26 - Atribuição dos horários ao longo do ano.	55
Figura 27 - Caraterização das paredes exteriores (Piso -1) no HAP.	57
Figura 28 - Menu General - Gabinete de direção 00.04.	58
Figura 29 - Menu Internals - Gabinete de direção 00.04.	59
Figura 30 - Menu Walls, Windows, Doors - Gabinete de direção 00.04.	59
Figura 31 - Menu Floors - Gabinete de direção 00.04.	60
Figura 32 - Menu Partitions -Gabinete de direção 00.04.	61
Figura 33 - Caraterização da UTAN no HAP - Menu General.	69
Figura 34 - Caraterização dos diferentes componentes da UTAN - Menu Vent System Components.	69
Figura 35 - Caraterização do recuperador de calor da UTAN.	70
Figura 36 - Caraterização da bateria de arrefecimento da UTAN.	71
Figura 37 - Caraterização da bateria de aquecimento da UTAN.	71
Figura 38 - Caraterização do humidificador da UTAN.	72
Figura 39 - Caraterização do desumidificador da UTAN.	72
Figura 40 - Caraterização do ventilador de insuflação da UTAN.	73
Figura 41 - Caraterização do ventilador de extração da UTAN.	74
Figura 42 - Caraterização da UTAN no HAP - Menu Zone Components.	75
Figura 43 - Caraterização dos termostatos da UTAN.	76
Figura 44 - Caraterização do abastecimento das unidades terminais da UTAN.	77
Figura 45 - Caraterização das unidades terminais da UTAN.	77
Figura 46 - Caraterização dos diferenciais de temperatura do sistema.	78
Figura 47 - Imagem representativa da UTAN criada pelo SAHS.	79

Figura 48 - Acessórios da conduta de insuflação (ASHRAE, Handbook Fundamentals, 2017).....	83
Figura 49 - Chiller Carrier modelo 30RBSY70 (Carrier, Heating, Ventilation and Air Condiitioning, 2019).....	87
Figura 50 - Dados técnicos do chiller selecionado (Carrier, Heating, Ventilation and Air Condiitioning, 2019).....	88
Figura 51 - Bomba de calor Carrier modelo 61AF035 (Carrier, Heating, Ventilation and Air Condiitioning, 2019).....	88
Figura 52 - Dados técnicos da bomba de calor selecionada ((Carrier, Heating, Ventilation and Air Condiitioning, 2019)).	88
Figura 53 - Ventilador de extração da lavanderia. Marca SODECA, modelo CJK/EC-250 (Sodeca, 2021).....	89
Figura 54 - Tipos de difusores disponíveis no software Esay Product Finder 2 (Technik, 2019).....	93
Figura 55 - Caraterísticas técnicas da grelha de insuflação do gabinete técnico.....	93
Figura 56 - Válvula de equilíbrio dinâmico (Solutions C. H., Válvulas de Balanceamento - Série 130, 2017).....	94
Figura 57 - Válvula macho-esférico (Genebre, Art. 3023 - Ball valve for mounting actuator, 2018).....	95
Figura 58 - Filtro em Y (Genebre, Art. 3302 - “Y” Type brass strainer filter, 2018).	95
Figura 59 - Junta antivibrática (Sferaco, 2020).	95
Figura 60 - Instalação hidráulica com depósito de inércia (Grundfos).	96
Figura 61 - Coeficiente de expansão da água com a variação da temperatura relativamente a 4°C (Caleffi).	99
Figura 62 - Vaso de expansão Caleffi, modelo 556-008 (Solutions C. H., Vasos de expansão - Série 556/568/5557, 2019).	99
Figura 63 - Bomba circulador de água fria Grundfos, modelo CME 10-1 A-R-A-E-AQQE S-A-D-N (Grundfos, 2021).....	100

Figura 64 - Curva de funcionamento da bomba de acordo com a sua aplicação, modelo CME 10-1 A-R-A-E-AQQE S-A-D-N (adaptado de Grundfos).....	100
Figura 65 - Bomba circulador de água quente Grundfos, modelo MAGNA3 25-100 (Grundfos, 2021).	101
Figura 66 - Curva de funcionamento da bomba, modelo MAGNA3 25-100 (adaptado de Grundfos).....	101
Figura 67 - Depósito AQS Vulcano, modelo CV-1500-M2B (Vulcano, 2019).....	102
Figura 68 - Perfis de consumo de água em dias de semana (lado esquerdo) e fim de semana e feriados (lado direito).....	103
Figura 69- Coletor solar Vulcano, modelo FKT-2W (Vulcano, 2019).	104
Figura 70 - Análise energética do sistema Solar Térmico (adaptado de Solterm).	105
Figura 71 - Caraterização da bomba circuladora do sistema solar térmico (adaptado de Solterm).	105
Figura 72 - Grupo de circulação de água Vulcano, modelo AGS-20-2 (Vulcano, 2019).	106

Índice de Tabelas

Tabela 1 - Fatores que influenciam a qualidade do ar interior (Ambiente, 2009).....	5
Tabela 2 – Odores como indicadores de problemas nos edifícios (Ambiente, 2009).	6
Tabela 3 - Tipologia dos filtros de ar (EN 779:2012).	18
Tabela 4a - Lista de espaços (e sua área útil e pé direito).	38
Tabela 4b - Lista de espaços (e sua área útil e pé direito) – Continuação.....	389
Tabela 4c - Lista de espaços (e sua área útil e pé direito) – Continuação.....	40
Tabela 5 - Características do local onde está situada a unidade.....	42
Tabela 6 - Temperaturas consideradas para todo o ano.....	43
Tabela 7 - Valores do fator "Average Ground Reflectance" (Carrier, Hourly Analysis Program 4.80.0.30 - International Edition).	44
Tabela 8 - Valores do fator "Soil Conductivity" (Carrier, Hourly Analysis Program 4.80.0.30 - International Edition).	44
Tabela 9 - Valores de radiação solar (apresentados na unidade de potência) para o mês de dezembro.	45
Tabela 10 - Fatores de correção para a radiação solar no local para cada mês do ano.	47
Tabela 11 - Constituição da parede exterior do piso -1 e respectivos valores de condutibilidade (λ) e resistência térmica (R).....	48
Tabela 12 - Constituição do Pavimento A1 e respectivos valores de condutibilidade (λ) e resistência térmica (R).	49
Tabela 13 - Coeficiente global de transmissão térmica (U)) de todas as envoltentes opacas.	50
Tabela 14 - Coeficiente de transmissão térmica de todos os elementos construtivos.	52
Tabela 15 - Necessidades de insuflação e extração nos espaços tratados.	62
Tabela 16 - Necessidades de insuflação e extração nos espaços tratados após balanço de pressões.....	65
Tabela 17 - Perdas de carga admissíveis no ventilador de insuflação (EN 13779:2007)....	73

Tabela 18 - Perdas de carga admissíveis no ventilador de extração (EN 13779:2007).....	74
Tabela 19 - Caudal de água necessária em cada espaço.....	84
Tabela 20 - Valores determinados nos capítulos anteriores.	86
Tabela 21 - Ruído admissível e carga sensível máxima em cada espaço.....	90
Tabela 22 - Parâmetros para seleção dos depósitos de inércia.	96

1 Introdução

1.1 Enquadramento do tema

Desde os primórdios que o Homem tem a necessidade de se proteger de chuva, sol, frio e calor. A necessidade de encontrar um abrigo sempre foi essencial para o homem das cavernas sobreviver, sendo que em algumas regiões do nosso planeta essa proteção é impossível de encontrar. Com a evolução do Homem a exigência de conforto nas habitações existentes começaram a ser maiores. Apesar do avanço tecnológico e estrutural dos edifícios estas condições ficaram sempre aquém das nossas exigências. Para além de proteção, as habitações tinham de possuir mais comodidades, tais como: casa de banho, esgotos, água corrente quente e fria, conforto (temperatura e humidade relativa), e finalmente, a qualidade do ar interior. Até aos dias correntes, estas comodidades foram sendo disponibilizadas com o avanço da tecnologia, mas estas melhorias apresentam consequências: acréscimo de investimento, maior consumo dos recursos e aumento da poluição do planeta. Estas comodidades também levaram a um aumento do consumo de energia dos edifícios.

Efetivamente, o tempo que as populações despendem no interior dos edifícios é cada vez maior e mais significativo, nomeadamente em ambientes interiores especiais como as habitações, creches, escolas, lares (quer para a terceira idade quer para reabilitar), escritórios, entre outros. Para além dos efeitos na poluição em geral, a poluição do ar interior, afeta mais os grupos que são particularmente vulneráveis, devido ao estado de saúde e/ou idade. Existem muitos compostos potencialmente perigosos libertados no interior dos edifícios devido às emissões provenientes dos materiais de construção, produtos e equipamentos de limpeza, combustões, produtos de consumo, etc. Também a poluição de origem microbiana proveniente de centenas de espécies de bactérias, fungos e bolores crescendo nos interiores, não pode de forma alguma ser minimizada.

A exposição a agentes biológicos no ambiente interior também comporta um risco importante para a saúde, causando uma vasta gama de efeitos nefastos. Estão largamente demonstrados os perigos de alguns agentes biológicos. Segundo a OMS não é possível identificar, de um modo geral, espécies individuais de microrganismos ou de outros agentes biológicos específicos responsáveis por efeitos prejudiciais à saúde. O desenvolvimento de agentes biológicos no ar interior é atribuído à humidade e à ventilação deficiente. De salientar que o excesso de humidade em qualquer tipo de material provoca o crescimento de

microrganismos tais como fungos e bactérias responsáveis pela emissão para o ar interior, de esporos, células, fragmentos e compostos orgânicos voláteis (COVs). A ventilação deficiente é extremamente prejudicial à saúde podendo causar acumulação de partículas nos sistemas. No controlo da humidade e prevenção da condensação, a ventilação adequada é importante. Surgem então os sistemas de AVAC (aquecimento, ventilação e ar condicionado) que, para além do objetivo de controlar a temperatura e humidade do ar em todo o ano, tem também o objetivo proporcionar maior conforto às pessoas.

Torna-se então imprescindível projetar e dimensionar sistemas AVAC que criem o máximo conforto possível às pessoas e ao mesmo tempo sejam eficientes e tenham baixo consumo energético.

1.2 Motivação e objetivos

Este trabalho foi selecionado por forma a poder aplicar num caso real e prático o que foi sendo lecionado durante o percurso académico do seu autor. O trabalho consiste em criar um projeto de Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado (AVAC) para um edifício que alberga uma Unidade de Apoio a Pessoas com Deficiência Mental. Adicionalmente e por forma a tornar o edifício mais sustentável é incluído um projeto solar térmico. A especificidade deste tipo de edifícios foi também um fator motivador.

O objetivo do trabalho consiste em projetar um sistema de AVAC tendo em conta as necessidades específicas do edifício garantindo assim o conforto de todos os utentes do edifício e maior eficiência dos equipamentos dimensionados. Paralelamente, também será projetado e dimensionado um sistema de Solar Térmico que irá dar apoio à produção das águas quentes sanitárias.

1.3 Estrutura do trabalho

Tendo em conta os objetivos enunciados, a estrutura do trabalho é composta por quatro capítulos.

No presente capítulo (1) é justificada a escolha do tema assim como a motivação e objetivos que conduziram à realização do presente trabalho. Para além disso é feito um enquadramento do tema nos dias de hoje.

No capítulo 2 é feito um enquadramento teórico aos sistemas de AVAC. Neste capítulo são apresentados os diferentes tipos de sistemas e alguns equipamentos que podem incorporar um sistema de AVAC. É também apresentada a regulamentação utilizada no trabalho.

No capítulo 3 é caracterizada e apresentada a envolvente exterior e a envolvente interior sendo feita uma caracterização de todos os espaços no software HAP. Posteriormente à descrição dos espaços são calculadas as necessidades de ar novo e extração em todo o edifício, tendo em as pressões adotadas em cada espaço. Conhecendo as necessidades parte-se para o dimensionamento e seleção dos diferentes componentes que irão integrar o sistema de AVAC. O sistema de painel solar também é apresentado neste capítulo.

Tendo em conta o objetivo proposto, as principais conclusões são apresentadas no capítulo 4.

2 Enquadramento teórico

2.1 Qualidade do ar interior

A qualidade do ar interior é cada vez mais um fator decisivo e a ter em conta na conceção e instalação de um sistema de AVAC. A sua importância tem vindo a crescer cada vez mais pois influencia diretamente a sensação de conforto, sendo por isso o ser humano mais exigente neste aspeto.

O ar interior de um edifício resulta da interação da sua localização, do clima, do sistema de ventilação do edifício, das fontes de contaminação (mobiliário, fontes de humidade, processos de trabalho e atividades, e poluentes exteriores), e do número de ocupantes do edifício. Alguns destes fatores e fontes estão listados na Tabela 1.

Tabela 1 - Fatores que influenciam a qualidade do ar interior (Ambiente, 2009).

Fator	Fonte
Temperatura e valores extremos de humidade	Colocação imprópria dos dispositivos de medição (termostatos), deficiente controlo de humidade, incapacidade do edifício de compensar extremos climáticos, número de equipamentos instalados e a densidade de ocupação.
Dióxido de carbono	Número de pessoas, queima de combustíveis fósseis, (gás, aquecedores, etc.).
Monóxido de carbono	Emissões de veículos (garagens, entradas de ar), combustão, fumo do tabaco.
Formaldeído	Madeira prensada, contraplacado não selado, isolamento de espuma de ureia – formaldeído, tecidos, cola, carpetes, mobiliário, papel químico.
Partículas	Fumo, entradas de ar, papel, isolamento de tubagens, resíduos de água, carpetes, filtros de AVAC, limpezas.
Compostos Orgânicos Voláteis (COV)	Fotocopiadoras e impressoras, computadores, carpetes, mobiliário, produtos de limpeza, fumo tintas, adesivos, calafetagem, perfumes, laca, solventes.
Ventilação inadequada (ar exterior insuficiente, deficiente circulação)	Medidas de poupança de energia e manutenção, má conceção do projeto do sistema de AVAC, operação deficiente de funcionamento, alteração do sistema de funcionamento do AVAC pelos ocupantes, desajustada dos espaços em avaliação.
Matéria microbiana	Água estagnada em sistemas de AVAC, materiais molhados e húmidos, desumidificadores e torres de arrefecimento.

Para o responsável pela avaliação da Qualidade do Ar Interior (QAI) do edifício é do maior interesse responder a todas as queixas sobre o ambiente interior e estabelecer credibilidade através de uma comunicação aberta com os ocupantes do edifício. Uma vez que os padrões de conforto variam de indivíduo para indivíduo, é provavelmente impossível satisfazer todos os ocupantes do edifício dado se tratar de um conceito subjetivo.

Em qualquer grupo da população de um edifício é possível a existência de indivíduos hipersensíveis ao ambiente e, que são adversamente afetados por uma vasta gama de fatores ambientais, mesmo a níveis de exposição relativamente baixos. Para estes casos especiais, pode ser trabalho de avaliação adicional para determinar a causa da sensibilidade. Existem inúmeros indicadores/sintomas que fornecem ao técnico de QAI qual o estado atual do ar, sendo eles:

- Odores;
- Sobre lotação;
- Falta de condições sanitárias;
- Pó ou partículas;
- Problemas de humidade, crescimento visível de fungos;
- Presença de substâncias químicas.

Na Tabela 2 são enumerados os odores como indicadores de problemas nos edifícios.

Tabela 2 – Odores como indicadores de problemas nos edifícios (Ambiente, 2009).

Descrição	Problema	Queixas
Gases de escape da exaustão (diesel)	Monóxido de carbono	Dores de cabeça, náuseas, cansaço, vertigens
Odores corporais	Sobre lotação, baixa taxa de ventilação (elevados níveis de dióxido de carbono)	Dores de cabeça, cansaço, abafamento
Cheiro a mofo (bafio)	Material microbiano	Sintomas de alergia
Cheiro a químicos	Formaldeído, pesticidas, outros químicos	Irritação dos olhos, nariz e garganta
Cheiro a solventes, perfumes, outros	COVs	Odores, sintomas de alergia, vertigens, dores de cabeça

Descrição	Problema	Queixas
Cheiro a cimento molhado, pó, calcário	Partículas, sistema de humidificação	Olhos secos, problemas respiratórios, irritação do nariz e garganta, irritação na pele, tosse, espirros
Odor de gás de esgoto (efluente)	Sifão de água seco nos drenos do chão de casas de banho e porões	Cheiro a efluente doméstico

Tal como foi dito anteriormente, a ventilação deverá estar sempre presente nas habitações. Antes do uso de qualquer tecnologia recorria-se ao método natural, criando correntes de ar que varriam os espaços e assim faziam a renovação do interior. Dado o seu baixo custo (que é praticamente zero) ainda é um método bastante usado no presente. Com o avançar da era, a ventilação foi tornando-se cada vez mais mecanizada, sendo feita através de sistemas que permitem ao Homem garantir as necessidades de ar novo assim como fazer as renovações necessárias para cada tipo de espaço e/ou atividade. Sendo as renovações essenciais, e a forma mais simples, para a “limpeza” do ar interior, indiretamente a ventilação também se torna indispensável. O aumento do uso de sistemas mecânicos está também ligado ao aumento da qualidade do ar interior, que não se consegue alcançar através de ventilação natural. O ar exterior passa/atravessa sistemas de tratamento de ar antes de ser injetado no espaço interior.

Associada à ventilação está também a filtração, que é a forma mais usual de eliminar as partículas respiráveis em suspensão (RSP) e ainda parte dos microrganismos arrastados pelo ar. Um sistema de filtração inadequado ou mesmo inexistente, em vez de melhorar a qualidade do ar interior, pode na verdade servir como um meio de difusão de agentes alergénicos ou patogénicos. Isto, porque o ar que circula num edifício (por vezes milhares de m³ por hora) arrastam diversas bactérias tais como pólenes, poeiras, bactéria, fungos, entre outros. Estas partículas podem depositar-se em superfícies interiores de condutas podendo contaminar quem frequenta o espaço que está a receber este ar, supostamente tratado (Roriz, 2007).

Por forma a garantir a qualidade do ar interior é necessário estudar as necessidades de ar novo e de extração, que deve ser garantida nos espaços do edifício. Para tal foi necessário recorreu-se a diversas legislações (apresentadas no Anexo A):

- Caderno nº 4 da DGIES - Obtém-se a necessidade de ar novo em cada espaço tendo por base as renovações por hora, de acordo com a ocupação ($\text{m}^3/\text{h.ocupante}$) ou área ($\text{m}^3/\text{h.m}^2$);
- Decreto-Lei nº 118/2013 - Este documento aborda o tipo de atividade dos indivíduos inseridos no edifício;
- Norma EN 15251:2007 - Relaciona a necessidade de ar novo com a percentagem de indivíduos satisfeitos e as emissões do edifício, respetivamente.

2.2 Os Sistemas de AVAC

Os sistemas de Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado (AVAC) têm como principal característica o facto de permitirem o conforto durante todo o ano, desde o Verão ao Inverno, através da manipulação das características do ar oriundo do exterior. Esta manipulação torna-se importante devido à energia libertada pelos ocupantes do espaço, ou por certas atividades, mas também devido aos equipamentos presentes no espaço e condições meteorológicas no exterior. A utilização do espaço leva a que seja libertado dióxido de carbono (CO_2) e vapor de água, podendo também haver formação de odores e gases como acontece em cozinhas. Para além destes fatores, a temperatura exterior e a incidência solar também pode afetar diretamente a temperatura interior, o nível de humidade no ar, e conseqüentemente, o conforto. É então importante que haja um tratamento do ar interior, alterando as condições do ar do espaço conforme as necessidades.

O conforto não provém apenas do controlo da temperatura, mas também da humidade e da qualidade do ar. Adicionalmente é importante que o espaço em causa não tenha quaisquer odores, concentrações poluentes ou mesmo partículas tóxicas. Esta necessidade de remoção é feita através de sistemas de ventilação. É de conhecimento geral que a sensação de conforto varia com alguns fatores como o vestuário, a idade do indivíduo, o seu estado de saúde e o nível de atividade. Verifica-se então que as condições interiores agradáveis para os ocupantes do espaço não influenciam apenas o seu bem-estar, mas também a sua produtividade, rendimento e até as taxas de acidentes de trabalho. Temperaturas interiores extremas diminuem a atividade cerebral e a capacidade para operações manuais (Roriz, 2007)

Em suma, o conforto é adquirido renovando o ar do espaço. Esta ação repõe os níveis de qualidade do ar interior, para que a saúde dos seus ocupantes não seja prejudicada. Para isso

há necessidade de tratar o ar ambiente, procedendo ao acerto da sua temperatura e humidade, de modo a obter as condições de conforto em cada estação do ano. A ação de retirar e introduzir ar é feita através da ventilação que quando feita corretamente, pode influenciar positivamente a longevidade dos espaços e equipamentos.

Em termos práticos (de projeto) e por forma a manter as condições de conforto por vezes é necessário colocar os espaços com pressão negativa para que não haja contaminação das zonas circundantes. Falamos de espaços como casas-de-banho (WC), cozinhas, e locais onde é permitido fumar. Por sua vez, em zonas como bastidores ou salas de computadores a pressão no espaço deverá ser positiva para que não haja penetração de pó podendo danificar os equipamentos.

Por forma a determinar o volume de ar a recircular para tratar os diversos espaços, deve ser efetuado o cálculo dos ganhos e perdas de calor que ocorrem no espaço. Estes ganhos e perdas designam-se por cargas térmicas, que podem ser sensíveis e latentes.

Existem inúmeras formas de retirar e/ou colocar carga térmica num determinado local, sendo que a forma mais comum é utilizar um fluido térmico que, atravessando o local, liberta ou recolhe a carga do espaço, de acordo com as necessidades. O fluido (que pode ser ar, água, água glicolada, ou fluidos frigorigéneos) remove ou cede calor repondo as condições interiores pretendidas, e deve ser repostado às condições iniciais para que possa ser utilizado novamente. O aquecimento e arrefecimento do fluido pode ser efetuado no local que se pretende climatizar ou num local distinto, sendo depois transportado para o local a arrefecer ou a aquecer (Pinto, 2013).

O estado atual da tecnologia permite que haja um vasto leque de equipamentos que constituam uma instalação de AVAC, tais como: Caldeiras, Bombas de Calor (BCs), Unidades Produtoras de Água Arrefecida (UPARs, geralmente designadas por *chiller*), coletores solares, equipamentos de cogeração (em geral motores de combustão interna ou turbinas a gás), compressores, ventiladores, entre outros.

Para conceber corretamente um sistema de climatização (AVAC) é necessário integrar uma grande variedade de conceitos da Engenharia Mecânica tais como Mecânica de Fluidos, Transferência de Calor e Termodinâmica. Estes sistemas são constituídos por um grande leque de equipamentos mecânicos (bombas, válvulas, ventiladores, tubagens, condutas, entre outros) e elétricos (motores, variadores de velocidade e frequência, sensores, entre outros).

A conceção de um sistema de AVAC não deve ser entendida apenas como um equipamento que tem como objetivo retirar as cargas térmicas de um determinado local, mas também como um equipamento que irá tratar o ar de forma a garantir as condições para o qual foi dimensionado. Deve também garantir eficiência máxima na obtenção das condições desejadas pelo(s) utilizador(es), permitir a monitorização das condições de funcionamento (temperatura, caudal, pressão, consumo) e facilidade de acesso à instalação.

Quando se projeta uma instalação de AVAC deve-se ter como base alguns conceitos, tal como: qualidade das condições interiores, a interação com a envolvente, rede energética e espaço interior, problemas energéticos e ambientais resultantes de uma instalação assim como as suas limitações, vantagens e inconvenientes dos diferentes tipos de instalações, etc. (Roriz, 2007).

De um modo geral, as instalações devem garantir o conforto térmico (controlo de temperatura e humidade), fornecer ar exterior (limpo) aos ocupantes, remover odores e poluentes, através do uso de exaustores, ou diluindo-os em níveis aceitáveis, e fazer o controlo da relação da pressão entre salas.

A conceção de uma instalação de AVAC requer um projeto prévio, por forma a selecionarem-se os melhores métodos e equipamentos para uma determinada situação. Este projeto engloba processos como o estudo do ar interior, e quais as condições adequadas para o local, o dimensionamento dos equipamentos referenciados anteriormente, dimensionamento das condutas por forma a manter o conforto, entre outros.

2.3 Tipos de sistemas

Um sistema de AVAC é composto por inúmeros equipamentos e componentes que tratam e transportam o ar ambiente do respetivo espaço. A grande parte dos sistemas de AVAC apresenta as seguintes funções (Wang, 2000):

- Providenciar a energia de arrefecimento ou aquecimento requerida;
- Condicionar o fornecimento de ar, isto é, calor ou frio, humidificar ou desumidificar, limpando e purificando, e atenuando qualquer ruído criado pelo sistema;
- Distribuir o ar climatizado contendo ar exterior suficiente para o espaço;

- Manter o ambiente interior dentro de certos parâmetros, controlando a temperatura, a humidade, a limpeza, a ventilação, a sonoridade e a pressão diferencial entre o espaço climatizado e as suas envolventes.

2.3.1 Classificação dos sistemas em função da área climatizada

Tendo em conta a área servida pelo sistema e o local onde o ar é aquecido ou arrefecido, os sistemas podem ser definidos como centralizados ou individuais. Um sistema centralizado serve a totalidade do edifício, ou grande parte dele, e o circuito primário encontra-se no local próprio (zona técnica) onde apenas tem acesso o pessoal responsável pela condução e manutenção do sistema. A climatização dos locais é efetuada através de um fluido térmico que circula num circuito secundário, sendo que este circuito não interage diretamente com o circuito primário (Wang, 2000). Um exemplo deste tipo de sistema é a Unidade de Tratamento de Ar) que é usada quando há necessidade de abastecer diversos espaços.

Um sistema individual é na realidade um aparelho ou conjunto de aparelhos servindo apenas um espaço limitado. A maior parte das vezes o sistema usado é denominado de *split* que irá ser abordado no Capítulo 2.4.2.

Dada a larga diversidade de possibilidades na conceção de um sistema, surge um terceiro grupo, o dos sistemas modulares. Um dos equipamentos deste terceiro grupo são os sistemas de fluido de refrigerante variável (VRF), em que existe apenas um circuito, o do fluido frigorigéneo, que vai até aos locais a climatizar. Este equipamento tem uma classificação muitas vezes como centralizado e/ou unitário, visto ser um sistema que abastece vários locais e pode facilmente ser ampliado, pois é constituído por uma ou mais unidades exteriores e diversas unidades interiores. A Figura 1 é um exemplo que ilustra um sistema VRF.

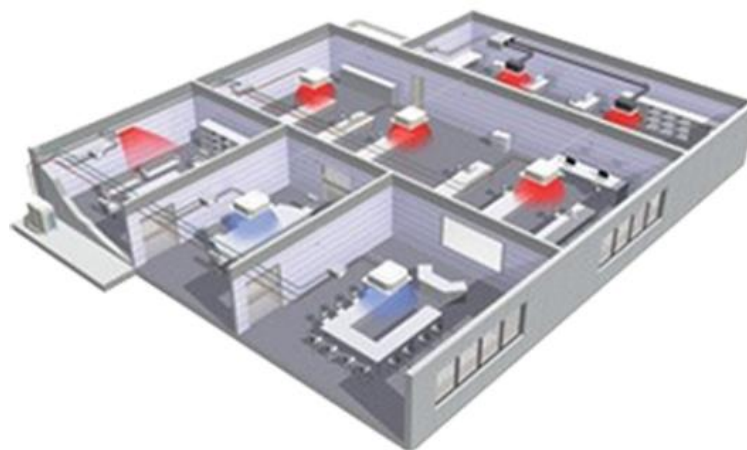


Figura 1 - Sistema VRF (Solutions B. C., 2021).

2.3.2 Classificação dos sistemas em função do fluido térmico

Os sistemas também podem ser classificados quanto ao fluido secundário utilizado. Esta classificação é aplicada principalmente nos sistemas centralizados. Os sistemas podem então ser “tudo-ar”, “tudo-água” ou “ar-água”. No caso dos sistemas não centralizados, o fluido térmico é o fluido frigorigéneo que circula nos equipamentos do sistema.

Nos sistemas “tudo-ar”, o ar climatizado é levado até ao local a climatizar após ser previamente aquecido ou arrefecido numa Unidade de Tratamento de Ar (UTA). Existem duas conceções base para esta solução, a saber: os de conduta simples e os de conduta dupla. No primeiro caso, todo o ar a insuflar é enviado através de uma simples conduta para os diferentes locais. Este é atualmente o sistema mais usado dentro dos sistemas tudo-ar. No segundo caso, o sistema é constituído por uma conduta que transporta o ar quente e outra que transporta o ar frio. A temperatura do ar a insuflar é ajustada através da mistura dos dois caudais numa caixa de mistura. De notar que, no caso de o sistema estar a funcionar em regime de aquecimento, o ar frio é frequentemente ar exterior não arrefecido, apenas filtrado. Ocorre o inverso quando o sistema está em regime de arrefecimento. Atualmente este sistema de conduta dupla é raramente usado devido ao espaço que ocupa.

Dentro dos sistemas “tudo-ar” é possível a instalação de sistemas que façam mistura do ar (insuflado e existente) ou sistemas que façam deslocação do ar existente (o ar insuflado empurra o ar existente no espaço). A Figura 2 ilustra um exemplo em que é insuflado ar no espaço e que depois de extraído é reaproveitado e tratado na UTA para voltar a ser insuflado.

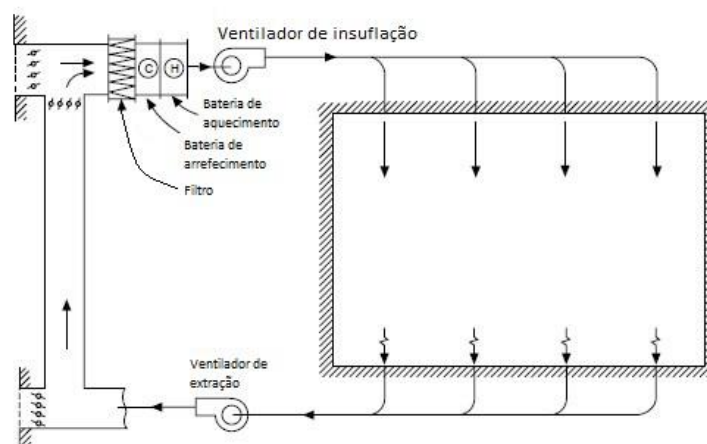


Figura 2 - Sistema "tudo-ar" (adaptado de Grondzik, 2007).

Nos sistemas “tudo-água”, a energia térmica é levada ao local a climatizar através de água, arrefecida ou aquecida. Os sistemas podem ser de 2 ou 4 tubos, permitindo ou não a possibilidade de se arrefecer e aquecer em simultâneo. Estes sistemas geralmente utilizam bombas de calor e caldeiras para aquecerem a água em circulação, e *chillers* para a arrefecer. Os *chillers* também podem ser usados para aquecimento, aproveitando o calor libertado nos condensadores. Na maioria dos sistemas, a climatização no local é feita através da circulação do ar, utilizando um ventilador mecânico que força o ar a passar pelas baterias de arrefecimento e/ou aquecimento das unidades terminais, perfazendo um conjunto denominado ventiloinveter (VC).

A distribuição dos sistemas tudo-água pode ser feita de forma direta ou indireta. Diz-se que o sistema é do tipo direto quando o circuito de produção (designado como primário) é o mesmo que o circuito de distribuição do fluido (designado como secundário). Por outro lado, designa-se do tipo indireto quando as circulações são distintas e independentes. É fundamental distinguir os sistemas a água segundo esta tipologia, visto serem misturados caudais que dependem da potência térmica dos equipamentos produtores e de distribuição (equipamentos terminais). Nos sistemas “diretos” é essencial que as potências térmicas de produção sejam muito próximas das potências térmicas de distribuição. Caso não aconteça, a situação de equilíbrio quer em termos de tecnologia a aplicar, quer no próprio equilíbrio hidráulico, tornam-se complicados. Este sistema cada vez é menos usado, havendo uma preferência clara pelo método indireto. O método indireto tem vindo a crescer devido às suas vantagens (Roriz, 2007):

- Os caudais de distribuição são os estritamente necessários;

- À semelhança dos caudais de distribuição, os de produção também são apenas os necessários, sendo estes definidos pelos fabricantes dos equipamentos em causa;
- Colocando bombas circuladoras em diferentes canais de distribuição é possível gerir com mais eficiência a questão energética;
- Devido à questão energética, as bombas circuladoras utilizam cada vez mais caudal variável, que permite a troca das válvulas de 3 vias por válvulas de 2 vias, fazendo com que circule apenas o caudal necessário para débito da potência solicitada pelas unidades consumidoras/terminais. Apesar das vantagens desta forma de distribuição, ela apresenta também algumas particularidades:
 - A variação da bomba deve ser regulada através de uma sonda de pressão diferencial colocada na zona mais crítica do circuito, e não na bomba circuladora em causa;
 - Quando todas as válvulas de 2 vias estiverem fechadas, o circuito deverá garantir que há circulação de água – de 8 a 10% - através de um sistema de “*bypass*” colocado no final da rede hidráulica em causa. Este *bypass* garante o caudal mínimo para as bombas circuladoras funcionarem, quando caudal é inferior ao mínimo deixa de haver arrefecimento das bombas e o sistema para por completo levando mais tempo a fazer o arranque necessário.

As causas mais comuns de deficientes funcionamentos nos sistemas a água são (Roriz, 2007):

- Desequilíbrio de caudais nos equipamentos de produção térmica;
- Desequilíbrio de caudais nos equipamentos consumidores;
- Presença de ar na instalação;
- Tratamento de água defeituoso provocando calcário nos elementos móveis;
- Mau posicionamento de filtros de água;
- Ausência de elementos de purga nos pontos mais baixos das redes hidráulicas, por forma a eliminar lamas, partículas e outros elementos sólidos.

Os sistemas tudo-água podem ser separados em dois grupos: sistemas centralizados a 4 tubos e sistemas centralizados a 2 tubos. O sistema centralizado a 4 tubos inclui uma central térmica que possui um, ou mais, grupos produtores de água arrefecida e um, ou mais, grupos produtores de água aquecida. Existem, portanto, idas e retornos constituindo os 4 tubos que

caracterizam o sistema. Dado ser possível este sistema também funcionar a 4 tubos, o mesmo permite que seja feito aquecimento e arrefecimento de diferentes espaços em simultâneo.

Os sistemas centralizados a 2 tubos são bastante idênticos ao sistema de 4 tubos, com a diferença de que este sistema apenas aquece ou apenas arrefece, não sendo possível as duas funções em simultâneo. Este facto impossibilita que a mudança de quente para frio, e vice-versa, seja imediata, demorando algumas horas. A razão da demora é propositada, para que não haja dilatações nem contrações bruscas de tubagens devido ao diferencial de temperaturas de arrefecimento e aquecimento, evitando assim possíveis ruturas.

A Figura 3 ilustra de forma simples o modo de funcionamento de um sistema “tudo-água”. A água é arrefecida e aquecida nos respetivos equipamentos e através de uma forma direta é encaminhada até à zona terminal que é o espaço a climatizar, retornando novamente à sua fonte de aquecimento/arrefecimento.

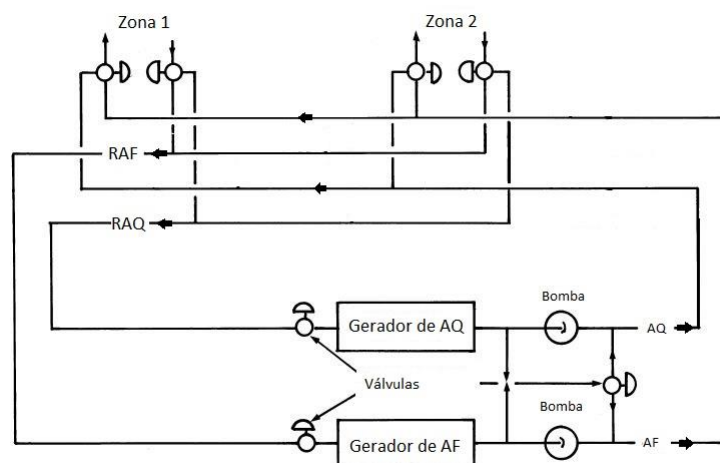


Figura 3 - Sistema "tudo-água" (adaptado de Grondzik, 2007).

Normalmente, as temperaturas adotadas nestes sistemas são:

- Água arrefecida – 7 °C ida e 12 °C retorno;
- Água aquecida – 48 °C ida e 43 °C retorno; 80/70 °C ida e 70/60 °C retorno. A temperatura de 48 °C refere-se ao caso em que a água é aquecida através de bomba de calor. Em sistemas onde a água é aquecida através de caldeiras, as temperaturas são mais elevadas (60 °C a 80 °C, a ida).

Nos sistemas ar-água são utilizados simultaneamente o ar e a água como fluidos térmicos. Existem diferentes tipos de sistema, devido à forma como é repartida a eliminação da carga térmica pelo ar como pela água. A solução mais frequente é a de remover ou fornecer a carga do local através do circuito da água, removendo ou fornecendo essa energia ao ar exterior,

de forma a colocá-lo nas condições interiores antes de o insuflar na sala. Na verdade, o mais usual é colocar o ar a insuflar a 2 °C (aproximadamente) mais frio para o regime de arrefecimento e 2 °C mais quente no regime de aquecimento. Esta metodologia é aplicada por forma a contrariar as cargas internas do espaço e assim proporcionar maior conforto aos utilizadores dos espaços.

A Figura 4 ilustra um sistema ar-água onde se pode verificar que a água é o meio de transporte da energia térmica, podendo ser aquecida (através de uma bomba de calor, por exemplo) ou arrefecida (através de um *chiller*, por exemplo). A água é conduzida até à unidade terminal, por exemplo um VC, que faz a insuflação no espaço à temperatura pretendida pelo utilizador do espaço.

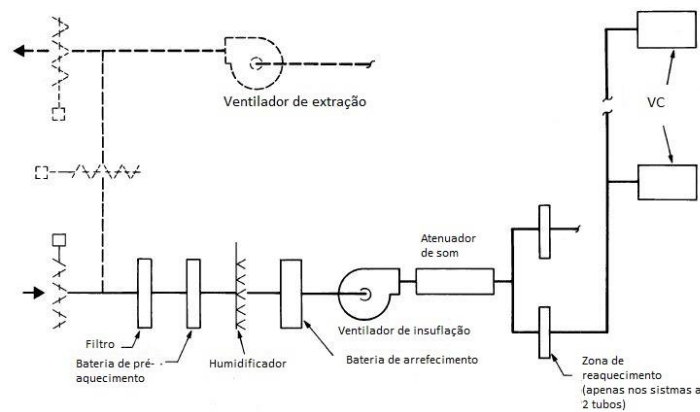


Figura 4 - Sistema ar-água (adaptado de Grondzik, 2007)..

2.4 Equipamentos

Uma instalação destina-se a efetuar uma ou várias ações em simultâneo. Aquecer, arrefecer, humidificar, desumidificar, filtrar o ar, entre outras, são exemplos de funções que os sistemas dos dias de hoje têm capacidade de fazer, e que cada vez, os seus utilizadores pretendem, por forma a garantir a qualidade do ar interior (Capítulo 2.1).

Neste capítulo irão ser abordados os diferentes tipos de equipamentos, para que mais adiante possa ser debatido (e defendido) a razão para a seleção da solução encontrada para o projeto em questão.

2.4.1 Unidades de tratamento de ar

As unidades de tratamento de ar são constituídas por diversos componentes agrupados numa dada sequência, possuindo controlo próprio, e têm como principal objetivo e função o tratamento de ar, seja ele ar novo ou de retorno. Uma UTA pode incluir equipamentos tais como ventiladores, bombas, baterias de aquecimento e/ou arrefecimento, caixa de mistura, filtros, recuperador de calor, válvulas, entre outros.

A Figura 5 ilustra um exemplo de montagem de uma UTA. Os equipamentos vêm inseridos num módulo com porta de abertura fácil, o que facilita a sua manutenção (preventiva e corretiva).



Figura 5 – Exemplo da composição de uma UTA (Trane, Unidades de Tratamento de Ar, Aplicações de conforto 1000-45 000m³/h, 2015).

Por razões de espaço, e quando são necessários vários módulos, as UTAs são lineares ou em “L” podendo ainda ter 1 ou 2 andares. As UTAs onde sejam usados sistemas de recuperação ou condutas duplas, possuem 2 níveis, como é o exemplo da Figura 5. Independente da sua forma, uma UTA pode servir para fazer todo o tipo de controlo do ar. Aquecer, arrefecer, humidificar, desumidificar, filtrar e tratar o ar são exemplos das funções que é possível efetuar.

A forma de aquecimento e arrefecimento é normalmente obtida utilizando a água como fluido térmico: a água quente e a água fria circulando numa bateria de aquecimento e numa bateria de arrefecimento, respetivamente. O nível de filtragem pode ser escolhido através do tipo de filtro que é pretendido. A Tabela 3 mostra os tipos de filtro e as suas características em termos de eficiência e retenção, segundo a norma EN 779:2012. Apesar de não ser a legislação mais recente, que ao dia de hoje é a norma ISO 16890, ainda é usada por diversas vezes por ser bastante completa e precisa.

Tabela 3 - Tipologia dos filtros de ar (EN 779:2012).

Grupo	Classe do filtro	Perda de carga final	Retenção média	Eficiência média	Eficiência mínima para partículas 0,4mm
		(Pa)	%	%	%
Grosso	G1	250	$50 \leq AM < 65$	–	–
	G2	250	$65 \leq AM < 80$	–	–
	G3	250	$80 \leq AM < 90$	–	–
	G4	250	$90 \leq AM$	–	–
Médio	M5	450	–	$40 \leq EM < 60$	–
	M6	450	–	$60 \leq EM < 80$	–
Fino	F7	450	–	$80 \leq EM < 90$	35
	F8	450	–	$90 \leq EM < 95$	55
	F9	450	–	$95 \leq EM$	70

A humidificação é geralmente conseguida através da injeção de vapor de água ou água a uma temperatura não controlada (lavador). A desumidificação é obtida através do arrefecimento do ar abaixo do ponto de orvalho, promovida por uma bateria de arrefecimento.

Para além da UTA, existe também a Unidade de Tratamento de Ar Novo (UTAN) que faz apenas o tratamento do ar novo vindo do exterior. Esta é a única particularidade que difere ambos os equipamentos. Apesar desta diferença, é possível transformar uma UTAN em uma UTA fechando a válvula de controlo do retorno. Já o contrário não é possível sem que se intervenha na rede de condutas.

2.4.2 Split e multisplit

O sistema *split* e *multisplit* é mais um equipamento que funciona utilizando um circuito frigorífico. É constituído, principalmente por 4 elementos base de um ciclo frigorífico, sendo: evaporador, compressor, condensador e elemento expensor. Estas unidades têm a particularidade de o condensador e o compressor estarem no exterior, sendo que o evaporador se encontra no espaço a climatizar. O elemento expensor deverá sempre ficar o mais próximo possível do evaporador, por forma a obter o “rendimento máximo” dessa expansão.

Nos dias que correm, e com o avanço da tecnologia, cada vez é mais utilizado o *split* com *inverter*, que permite que a unidade interior funcione quase de forma autónoma, isto é, o sistema irá trabalhar para atingir a temperatura regulada pelo utilizador, “abrandando” ou “acelerando” a injeção do ar no espaço (ajustando a frequência de rotação do compressor).

A Figura 6 ilustra de forma clara o modo de funcionamento desta tecnologia e como é feita a recirculação do ar. O ar é aspirado pela unidade exterior e é forçado a atravessar o permutador. Por sua vez, e através da permuta, é arrefecido ou aquecido pelo fluido que percorre o circuito frigorífico. Importante referir que numa situação de arrefecimento, a unidade exterior funciona como condensador (retira calor ao fluido) e a unidade interior como o evaporador, sendo que numa situação de aquecimento acontece o contrário.

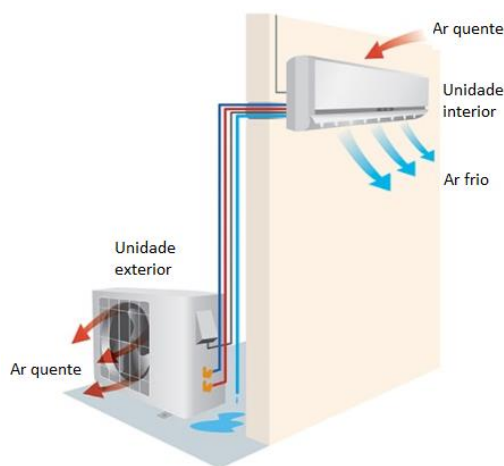


Figura 6 – Modo de funcionamento de um sistema Split (adaptado de First Serveide, s.d.).

O sistema *multisplit*, Figura 7, funciona da mesma forma. A única diferença é que há apenas uma unidade exterior para mais do que uma unidade interior. Este sistema não permite arrefecer e aquecer em simultâneo.

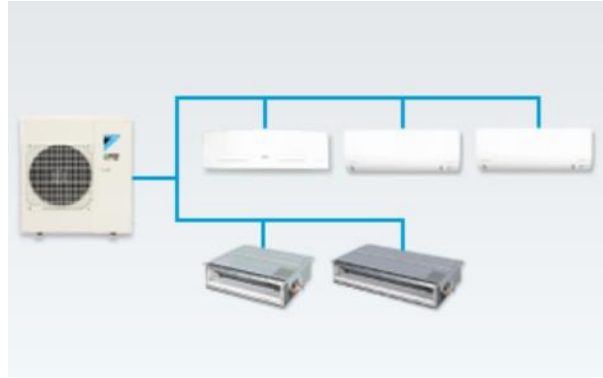


Figura 7 - Sistema Multisplit (Daikin, Products, Split & Multisplit, 2021).

Dentro dos sistemas *split* ou *multisplit* é possível alternar a unidade interior, consoante o tipo de espaço a climatizar, e consoante a melhor forma de climatizar o espaço em questão. Há, portanto, as seguintes possibilidades ilustradas na Figura 8.

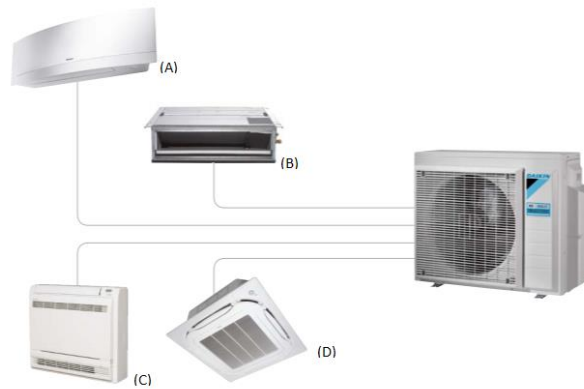


Figura 8 – Diferentes tipo de Split: A - Split de parede; B – Split de conduta; C – Split de mural; D – Split de cassete (adaptado de Daikin, 2019)

Geralmente o nome atribuído ao tipo de *split* indica o local onde pode ser instalado e a forma como varre o ar ao longo do espaço. O de tipo de conduta é instalado no teto falso, por exemplo. O *split* de mural usualmente é instalado no chão junto à parede fazendo um varrimento do ar ascendente. O de parede é instalado na parede junto ao teto, fazendo um varrimento descendente ao contrário do de tipo mural. O *split* de cassete é instalado no teto ou no teto falso, e é indicado para áreas grandes/*open spaces* pois permite a injeção de ar em diversas direções, dependendo do modelo selecionado. O de teto, como o nome indica, é instalado no teto junto à parede. Algumas destas unidades interiores têm particularidades. No *split* de conduta é possível introduzir ar novo no sistema. Enquanto no de cassete, para além do ar novo é possível fazer mistura com o ar de retorno.

Os *splits* apresentam algumas vantagens face a outras tecnologias, como por exemplo as UTAs, tais como:

- Menores perdas de energia – como se trata de uma unidade compacta, que se divide em 2 grupos principais, e normalmente é relativamente próximo do local a climatizar, as perdas de energia são mínimas. Ao contrário das UTAs por exemplo;
- Facilidade de instalação e manutenção – pelas mesmas razões do ponto anterior.

Em relação às desvantagens pode-se considerar as seguintes:

- Versatilidade nula de alteração pós instalação, isto é, caso seja necessário fazer um *upgrade* ao equipamento terá de haver substituição total;
- A potência máxima está limitada ao modelo do *split*.

2.4.3 Fluido de Refrigerante Variável

O sistema Fluido de Refrigerante Variável (*variable refrigerant flow* em inglês, VRF) é um sistema típico, que consiste num compressor e num condensador, interligados por um sistema de tubagem único, que realiza a troca de calor com o exterior e bombeia para os múltiplos sistemas de expansão direta no interior dos diversos espaços, os evaporadores (no caso do processo de arrefecimento) (ASHRAE, Handbook HVAC Systems and Equipment, 2008).

A Figura 9 ilustra isso mesmo, a máquina a enviar à unidade terminal, que funciona através de expansão direta, a quantidade de fluido suficiente para insuflar no espaço a temperatura pretendida. O que varia é o a quantidade de fluido de refrigerante através de válvulas de expansão que modelam a sua abertura conforme a leitura das diferentes sondas de temperatura distribuídas pelos espaços (e pelo ar de retorno também). Com o sistema VRF é possível aquecer e arrefecer em simultâneo, em diferentes espaços.

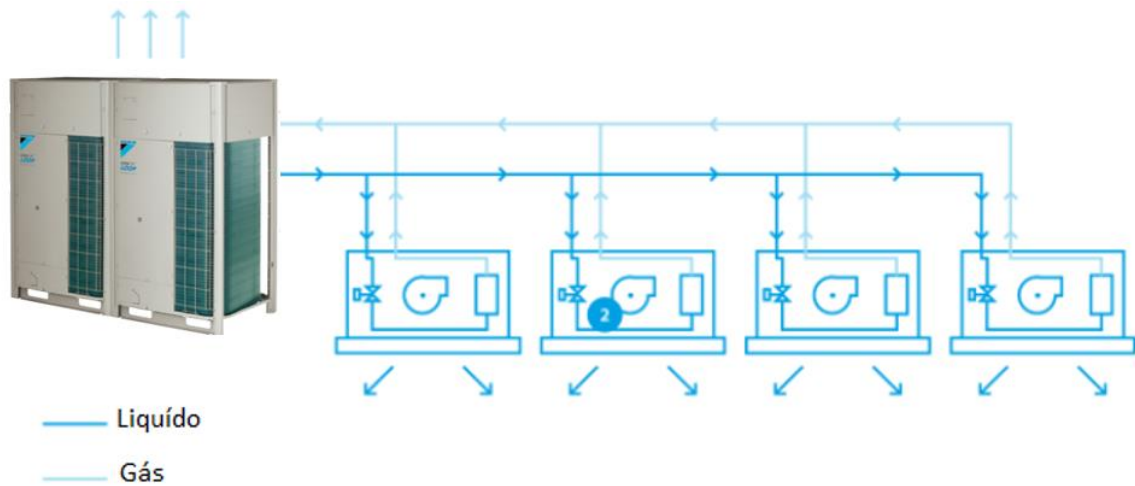


Figura 9 - Exemplo de um sistema VRF adaptado de Daikin, 2020).

2.4.4 Unidade terminal – Volume de ar variável

A particularidade deste sistema está na unidade terminal (Figura 10) que faz o controlo do volume de ar que é insuflado no espaço. Até chegar à unidade terminal, o ar é tratado por uma UTA ou por uma *Rooftop*.

Nestas unidades o controlo do aquecimento e do arrefecimento é conseguido variando a quantidade de ar, sendo que a temperatura se mantém constante (Grondzik, 2007). A variação de caudal fornecido no espaço pelo VAV atenua as cargas térmicas no interior do espaço.

Da perspetiva do controlo, as caixas de VAV terminais devem incluir um sensor de temperatura, um sensor de caudal, um controlador, um atuador e um registo para ar. Quando o sensor de temperatura comunica com o controlador e dá a informação que o espaço está fora do *set-point*, o controlador altera a posição do registo até que o espaço volta a ficar no *set-point* pretendido.

Como se pode observar pela Figura 10, o sistema VAV pode possuir uma secção de reaquecimento. Este reaquecimento por ser efetuado por resistência elétrica ou por de água quente proveniente de bomba de calor ou caldeira.



Figura 10 – Caixa terminal de um sistema VAV (Arquitetura, 2017).

2.4.5 Close Control

As unidades de *close control* apresentam algumas particularidades. São sistemas que têm numa só “caixa” todos os elementos necessários à realização de climatização e são colocados no interior do espaço a climatizar. Face a um *split*, por exemplo, esta equipamento é vantajoso, pois com o *split* há perigo de criação de condensação em materiais metálicos devido à baixa temperatura de insuflação. Apresentam um aspeto igual ou idêntico ao da Figura 11. As principais características são:

- Indicado para espaços informáticos como bastidores ou salas de Fonte de Alimentação Interrupta (UPS);
- Acesso frontal que facilita a sua manutenção;
- Configuração da descarga do ar (para cima ou para baixo);
- Portas com painéis duplos interior e exterior, proporcionando maior segurança e reduzindo o ruído do sistema.



Figura 11 - Unidade de Close Control (Lennox, 2020).

2.4.6 Rooftop

Tal como o nome indica, trata-se de unidades que, maioritariamente, são instalados nas coberturas dos edifícios. São geralmente aplicados em edifícios de baixa altura, como escritórios ou centros comerciais. Podem ser usados para apenas uma zona a climatizar ou para múltiplas zonas. São bastante idênticas às UTAs, mas mais compactas e robustas. Quando a *Rooftop* tem apenas como missão aquecer ou arrefecer, pode usar o circuito frigorífico como fonte dessa energia ou um elemento externo, que serão abordados nos capítulos seguintes. Na Figura 12 é possível ver o aspeto exterior do equipamento.

É um sistema composto pelos 4 elementos base do ciclo frigorífico. Trata-se de um equipamento que climatiza o ar exterior, e o ar de retorno, e injeta-o diretamente no espaço pretendido. Tem por isso um COP elevado. Estas unidades apresentam vantagens, tais como:

- Custo inicial relativamente baixo;
- Fácil instalação e manutenção;
- Equipamentos interiores são eliminados;
- Baixo consumo de energia.



Figura 12 – Aparência exterior de uma Rooftop (Trane, Unidades rooftop, Airfinity 20-135 kW, 2020).

2.4.7 Caldeira

A utilização da caldeira é uma das formas de aquecimento de água. Tem como principal função elevar a temperatura dum fluido, podendo ou não efetuar mudança de fase do fluido que o atravessa.

As caldeiras de aquecimento destinam-se a transferir o calor resultante da queima dum combustível para um fluido que é transportado até aos locais onde se pretende efetuar o aquecimento. No que ao tipo de fluido aquecido, diz respeito, este pode ser:

- Água quente – Circula a baixa/média pressão, até a uma temperatura de 110 °C. A esta temperatura, a água tem de estar a uma pressão de 1,5 Pa para se manter no estado líquido;
- Vapor – Geralmente a média pressão, entre 4 e 6 bar, que corresponde a uma temperatura de vapor saturado de 144 °C e de 159 °C, respetivamente;
- Fluido térmico - Depende da temperatura de trabalho necessário. Para temperaturas inferiores a 90 °C utiliza-se água a baixa pressão. Para temperatura mais elevadas utiliza-se vapor, água sobre pressurizada ou fluido térmico (geralmente um óleo).

A energia utilizada pode ser elétrica ou química (resultante da queima de um combustível sólido, líquido ou gasoso). Existem vários tipos de combustíveis sólidos como o carvão e a biomassa, por exemplo. Nos líquidos o fuelóleo, gasóleo, álcool, entre outros. Por fim, nos gasosos o gás natural ou o biogás. Existem caldeiras que permitem a queima de dois combustíveis distintos em simultâneo, geralmente um combustível líquido e outro gasoso.

A tendência atual na climatização é para o uso de caldeiras que usem o gás como combustível, devido às vantagens na condução de calor e na menor emissão poluente. Relativamente às caldeiras queimadoras de fuelóleo, as caldeiras a gás apresentam menor custo de investimento, devido a vários fatores, tais como:

- Complexidade, o queimador a fuelóleo é mais caro do que um a gás;
- Inexistência de equipamentos auxiliares necessários tais como equipamentos de armazenamento, aquecimento, bombagem e filtragem;
- Menores restrições regulamentares.

As caldeiras a gás também apresentam menores custos de manutenção, devido a:

- Combustão do gás ser mais limpa que a do fuelóleo;
- Inexistência de manutenção nos equipamentos suplementares acima referidos.

2.4.8 Bomba de calor

Outra forma de aquecimento de água é através de uma bomba de calor. É geralmente utilizada, em lugar da caldeira, nos casos em que a temperatura pretendida para a água é inferior a 60 °C, ou quando se efetua o aquecimento direto do ar.

Um sistema de bomba de calor funciona com o mesmo princípio do ciclo frigorífico, como se pode observar pela Figura 13, mas o aproveitamento energético é feito da fonte quente,

ou seja, é aproveitado o calor rejeitado pelo condensador. Este reaproveitamento origina um aumento da eficiência energética face ao ciclo frigorífico equivalente. À semelhança do que acontece com os equipamentos de produção de frio, as bombas de calor podem trabalhar no princípio da absorção ou da compressão de vapor.

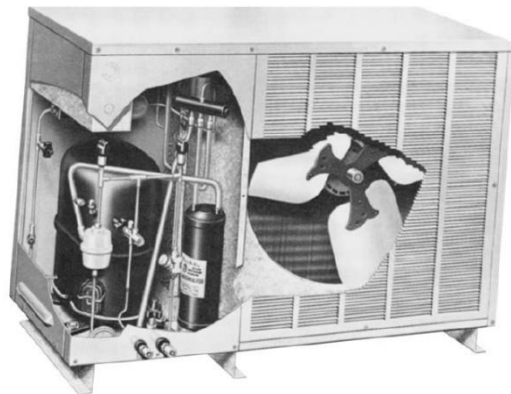


Figura 13 - Unidade exterior de uma bomba de calor (Miller, 2006).

As bombas de calor podem ser máquinas de aquecimento do ar ou de água. No caso de servirem para aquecimento do ar, muitas delas podem servir também para o arrefecimento, visto tratar-se de um sistema reversível. No caso de serem para aquecer água, o sistema pode possuir evaporador fluido-ar, o que normalmente não acontece para médias ou elevadas (dezenas ou centenas de kW) potências onde o evaporador é com circulação de água. Desta forma, o aproveitamento em simultâneo de produção de água arrefecida (no evaporador) e água quente (no condensador) é a solução mais utilizada e corresponde a um *chiller* com condensador arrefecido a água e recuperação de energia no condensador (Miller, 2006).

No Verão, e como foi referido anteriormente, a bomba de calor tem a capacidade de produzir frio, retirando calor do espaço interior expulsando-o para o exterior (Figura 14).

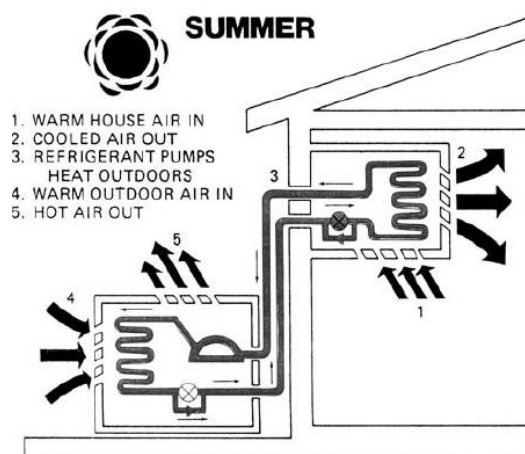


Figura 14 - Bomba de calor a funcionar no Verão (Miller, 2006).

Na Figura 15 observa-se precisamente o contrário. O condensador retira energia (calor) ao ar exterior e utiliza-o para injetar no ar do espaço.

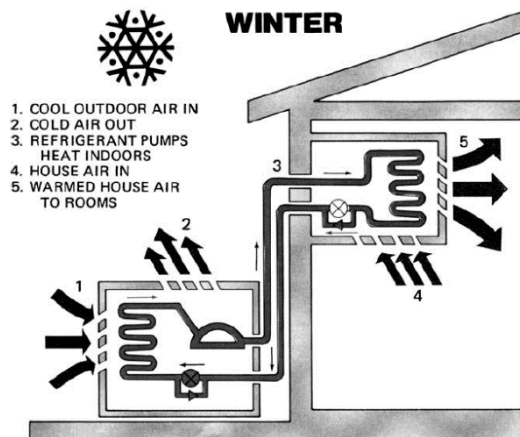


Figura 15 - Bomba de calor a funcionar no Inverno ((Miller, 2006)).

Apesar da existência deste equipamento (bomba de calor), pode-se afirmar que qualquer equipamento que dissipe energia na forma de calor pode-se assumir como uma bomba de calor, pois essa energia pode ser transferida para a zona que se pretenda esse objetivo.

2.4.9 Chiller

Este equipamento, também conhecido como UPAR (unidade produtora de água arrefecida) tem como objetivo produzir água arrefecida. A água arrefecida é levada até às baterias de arrefecimento das UTAs ou aos VCs. São, portanto, unidades que servem sistemas centralizados. Como já foi referido anteriormente, atualmente já existe no mercado *chillers* que produzem também água quente.

O *chiller*, idêntico ao da Figura 16, é geralmente constituído pelo conjunto dos equipamentos que realizam o ciclo frigorífico, evaporador, compressor, condensador e mecanismo de expansão. O seu método de funcionamento baseia-se no circuito frigorífico podendo o condensador ser arrefecido a água ou a ar.



Figura 16 - Chiller (Trane, Chillers arrefecidos a ar, 2020).

É possível ainda ter um sistema *multi-chiller* onde 2 ou mais *chillers* estão colocados em paralelo ou em serie com apenas uma conduta de distribuição. Esta forma de instalação permite criar um sistema mais potente e desta forma ter capacidade de abastecer mais espaços. Apresenta algumas vantagens como maior flexibilidade operacional, aumento da disponibilidade ou menor manutenção disruptiva.

2.4.10 Unidade terminal - Ventiloconvetor

O ventiloconvetor (VC) é um equipamento muito idêntico ao *split*. A grande diferença reside no facto deste sistema não funcionar através do ciclo frigorífico. Funciona sim através de água, quente ou fria, abastecida por outro sistema. Esta água pode ser fornecida por uma bomba de calor ou caldeira (no caso de ser água quente) e também por um *chiller* (no caso de ser água fria). Nos dias que correm já é possível ter um *chiller* que faça aquecimento e arrefecimento.

O VC permite a circulação do ar do espaço, sendo que este ar ao passar pelo equipamento, propriamente dito, é tratado de acordo com o que o utilizador pretende. Fisicamente, os VCs são idênticos às unidades terminais do *split* (Figura 8) e podem ser a 2 ou 4 tubos, permitindo simplesmente aquecimento ou arrefecimento, ou permitindo ambas as ações.

Geralmente, a tecnologia dos VCs é utilizada juntamente com UTAs/UTANs, onde para cada espaço é possível insuflar diferentes temperaturas. A UTA trata o ar (vindo do exterior ou de retorno), sendo que o VC aquece ou arrefece conforme o desejo do utilizador, através da água que recebe diretamente do *chiller* e da bomba de calor/caldeira.

2.5 Cargas Térmicas

Como já foi referido no presente trabalho, um dos objetivos da climatização é vencer as cargas térmicas, retirá-las de um espaço quando é pretendido que o espaço seja arrefecido ou colocação de carga térmica no caso do aquecimento são exemplos dessa manipulação. Para tal é necessário a contabilização das cargas internas e externas ao espaço.

Independentemente das cargas térmicas, a temperatura e a humidade interior nas habitações e edifícios de serviço ou áreas industriais, são condições que devem permanecer dentro de intervalos bem definidos ao longo do dia e do ano. Por sua vez, estas propriedades dependem diretamente das condições exteriores, sendo estas incontrolláveis.

As diferenças de temperatura e humidade interior e exterior resultam em fluxos de calor e massa originando carga térmica sensível e latente. As infiltrações de ar exterior num espaço também resultam em cargas térmicas sensíveis e latentes. A utilização do edifício (ocupação, equipamentos, iluminação) origina cargas térmicas interiores, oriundas da libertação de calor e de vapor de água. Maioritariamente, o desejo dos donos da instalação é de retirar carga do interior dos espaços, mas há casos excecionais, onde não há necessidade de retirar carga e até há aproveitamento das cargas existentes.

Torna-se importante quantificar as cargas de um espaço para dois aspetos fundamentais:

- Dimensionamento de condutas e respetivos equipamentos e acessórios;
- Determinação do consumo da instalação para diferentes condições de utilização do edifício.

As cargas térmicas dividem-se em 2 grandes grupos: cargas térmicas exteriores e interiores, sendo que não é excluída a possibilidade de haver outras cargas térmicas. A Figura 17 mostra os fluxos térmicos de um espaço na situação de Verão e Inverno.

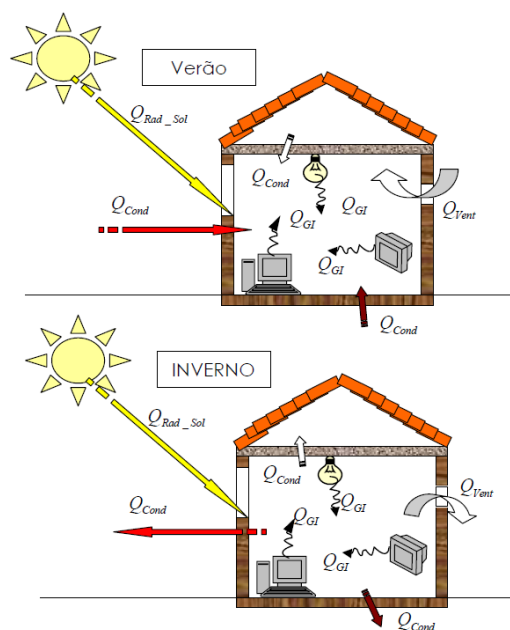


Figura 17 - Balanço energético do edifício (Silva, 2006).

As cargas exteriores estão dependentes das condições climáticas (radiação, temperatura e humidade) e resulta, das trocas de calor e massa da envolvente exterior com o edifício. São, por exemplo, cargas resultantes do fluxo de calor através do pavimento, telhado, paredes, infiltrações de ar exterior através de portas e janelas, entre outros.

As cargas interiores estão interligadas ao tipo de edifício e à atividade que nele reside. Como consequência, todos os equipamentos e pessoas contribuem para estas cargas. Também as cargas provenientes de espaços não climatizados são consideradas cargas interiores, assim como infiltrações interiores através de portas.

No grupo designado por outras cargas térmicas incluem-se as resultantes de equipamentos secundários pertencentes à instalação (bombas e ventiladores). É importante e essencial incluir estas cargas nos respetivos cálculos (Roriz, 2006).

2.5.1 Transmissão de calor e humidade através da envolvente

Quando se aborda esta questão, é necessário ter em conta que todos os fatores contribuem para estas cargas térmicas exteriores. Fatores tais como paredes opacas, vegetação em redor, telhados, pavimentos, sombreamentos, entre outros, afetam a magnitude e a duração das perdas de calor dos edifícios.

Uma construção pesada afeta diretamente a capacidade de climatizar o espaço, mas por sua vez oferece resistência às cargas exteriores. Este facto mostra que os materiais construtivos

têm impacto nas cargas, sendo que dentro deste capítulo destacam-se os materiais porosos que dominam a maior parte das fachadas exteriores dos edifícios típicos da construção portuguesa. Nos materiais porosos a energia transmite-se por condução na matriz sólida e por convecção, difusão, capilaridade, fenómenos de mudança de fase e radiação no espaço poroso.

Existem então equações que permitem a aplicação direta para saber ao certo qual a quantidade de calor penetrado no espaço climatizado sem ser necessário conhecer quais as condições no interior da parede assim como o valor da radiação absorvida pela parede. Através das equações (1) e (2) é possível calcular as trocas de calor através da convecção e da radiação para um determinado espaço.

$$q_C = h(T_{SI} - T_{int}) = U(T_{eq} - T_{int}) \quad (1)$$

$$q_R = \varepsilon\sigma(T_{SI}^4 - T_{MR}^4) \quad (2)$$

Onde:

- q_C – Trocas de calor de convecção [W/m²];
- h - Coeficiente de convecção interior [W/m².K];
- T_{SI} - Temperatura da superfície interior [°C];
- T_{int} – Temperatura interior [°C];
- U - Coeficiente global de transmissão de calor da parede [W/m².K];
- T_{eq} – Temperatura equivalente [°C];
- ε - Emissividade da parede [W/m.K];
- σ - Constante de *Stephan-Boltzman* [5,67 x 10⁻⁸ Wm⁻²K⁻⁴];
- q_R – Trocas de calor por radiação [W/m²];
- T_{MR} - Temperatura média radiante [°C].

2.5.2 Cargas térmicas interiores

As cargas internas estão diretamente ligadas às pessoas (ocupação), assim como as cargas dos equipamentos e da iluminação.

A forma de calcular estas cargas pressupõe, para além do conhecimento da sua potência de pico, a sua simultaneidade, a hipótese de disporem de extração localizada, bem como da acumulação térmica nas envolventes do edifício (que depende da inércia térmica).

A ocupação é contabilizada tendo em conta o metabolismo dos ocupantes. O metabolismo é função da atividade desenvolvida e dado ser normalmente desprezável a energia despendida em trabalho mecânico, toda a energia devido ao metabolismo é considerada sob a forma de calor, sendo a relação entre a carga latente, a carga sensível por convecção e a carga sensível por radiação dependente das condições interiores (temperatura seca, humidade relativa, velocidade do ar e temperatura radiante do local). Pretende-se demonstrar através da Figura 18, que uma atividade que requeira maior esforço físico origina uma maior libertação de calor por parte do nosso corpo.



Figura 18 – Carga térmica libertada por um ocupante consoante a sua atividade .

Para este estudo em particular, a acumulação de calor nos espaços devido aos ocupantes irá ser desprezado. Estes valores são contabilizados através de um fator de inércia térmica, que irá aproximar o valor acumulado ao longo do tempo.

No caso do cálculo das cargas térmicas devido aos equipamentos, deve ser considerado um coeficiente de simultaneidade e de extração, que afetam diretamente o valor das cargas de dissipação. Na Figura 19 apresenta-se um exemplo de um espaço, onde é possível verificar a origem de diversas cargas térmicas desde o ocupante aos equipamentos elétricos.

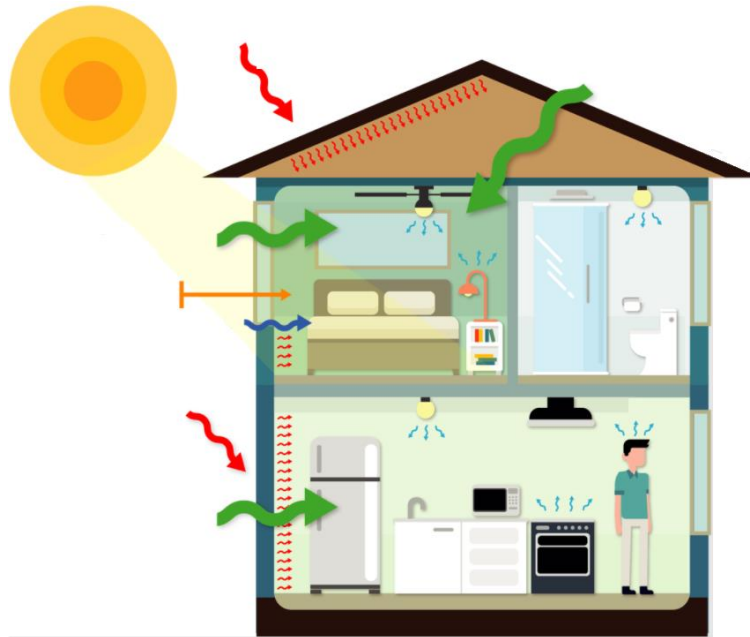


Figura 19 - Cargas térmicas presentes num espaço ocupado e com equipamentos elétricos (Edificações, 2019).

2.5.3 Cargas térmicas devidas a infiltrações

Este tipo de cargas é talvez aquele que apresenta maior dificuldade em determinar. Teoricamente, basta conhecer qual o caudal infiltrado, as condições interiores e as condições exteriores e através da Equação (3) obtém-se o valor pretendido.

$$Q_{inf} = \dot{V}_{inf} \rho (h_{ext} - h_{int}) \quad (3)$$

Onde:

- Q_{inf} - Carga térmica das infiltrações [kW];
- \dot{V}_{inf} - Caudal infiltrado no espaço [m^3/s];
- ρ - Massa volúmica do ar interior [$1 \text{ kg}/m^3$];
- h_{ext} - Entalpia do ar exterior sem a afetação dos fatores enumerados anteriormente [kJ/kg];
- h_{int} - Entalpia do ar interior [kJ/kg].

Na grandeza da massa volúmica deveria ser considerado a massa volúmica do ar exterior, mas torna-se complexo quantificar este valor devido às condições de temperatura exterior, que podem variar consoante inúmeros fatores, tais como, sombreamento, exposição da fachada, a altura do edifício, etc. É por isso considerado o valor da massa volúmica do ar interior. Na prática, torna-se ainda mais complicado contabilizar estas cargas, nos casos em

que os edifícios não são pressurizados, ou seja, permite a troca de ar com o exterior. Isto deve-se ao desconhecimento da utilização de portas e janelas (entradas de ar), e nunca se conhece realmente a orientação do vento na fachada do edifício. Quando se aborda este tipo de cargas é relevante transmitir que devido ao aumento das preocupações energéticas e à qualidade do ar interior, as infiltrações são cada vez menores.

2.5.4 Cargas térmicas devidas ao ar novo

Conhecido o caudal de ar novo a introduzir no devido espaço, a fim de manter a qualidade do ar interior, a carga térmica associada ao ar novo é dada pela Equação (4):

$$Q_{AN} = \dot{V}_{AN}\rho(h_{ext} - h_{int}) \quad (4)$$

Onde:

- Q_{AN} - Carga térmica do ar novo [kW];
- \dot{V}_{AN} - Caudal de ar novo [m³/s];
- ρ - Massa volúmica do ar interior [1 kg/m³];
- h_{ext} – Entalpia do ar exterior sem a afetação dos fatores enumerados anteriormente [kJ/kg];
- h_{int} - Entalpia do ar interior [kJ/kg].

Deve-se ter em atenção que em instalações onde sejam utilizadas UTANs ou unidades em que haja mistura de ar recirculado com ar novo (UTA), podem existir necessidades adicionais de arrefecimento e/ou aquecimento devido à forma como é feito o tratamento do ar.

3 Caracterização da instalação técnica

3.1 Enquadramento

O edifício em estudo refere-se a uma unidade de apoio a pessoas com deficiência mental e está situado no Recoveiro, concelho de Sintra. Para efeitos deste projeto, o edifício foi equiparado a um lar de idosos, para alojamento coletivo, de utilização temporária ou permanente, em que sejam desenvolvidas atividades de apoio social e prestados cuidados de enfermagem.

Recorreu-se à Portaria nº 67 (2012) por forma a definir as condições de organização e funcionamento do edifício. Esta portaria está associada a estruturas residenciais para pessoas idosas, estrutura essa que foi assumida para o edifício em questão dadas as semelhanças de serviço prestado (apoio a pessoas com deficiência mental).

A estrutura residencial presta um conjunto de atividades e serviços, nomeadamente:

- Alimentação adequada às necessidades dos residentes, respeitando as prescrições médicas;
- Cuidados de higiene pessoal;
- Tratamento de roupa;
- Higiene dos espaços;
- Atividades de animação sociocultural, lúdico-recreativas e ocupacionais que visem contribuir para um clima de relacionamento saudável entre residentes e para a estimulação e manutenção das capacidades físicas e psíquicas;
- Apoio no desempenho das atividades da vida diária;
- Cuidados de enfermagem, bem como o acesso a cuidados de saúde;
- Administração de fármacos, quando prescritos.

A estrutura residencial deve dispor de pessoal que assegure a prestação dos serviços 24 horas por dia. E além do Diretor Técnico deve dispor no mínimo de:

- Um(a) animador(a) sociocultural ou educador(a) social ou técnico de geriatria, a tempo parcial por cada 40 residentes;
- Um(a) enfermeiro(a), por cada 40 residentes;
- Um(a) ajudante de ação direta, por cada 8 residentes;

- Um(a) ajudante de ação direta por cada 20 residentes, com vista a reforço no período noturno;
- Um(a) encarregado de serviços domésticos em estabelecimento com capacidade igual ou superior a 40 residentes;
- Um(a) cozinheiro(a) por estabelecimento;
- Um(a) ajudante de cozinheiro(a) por cada 20 residentes;
- Um(a) empregado(a) auxiliar por cada 20 residentes.

Sempre que a estrutura residencial tenha necessidade de acolher pessoas em situação de grande dependência (incluindo pessoas com deficiência mental), os rácios de pessoal de enfermagem, ajudante de ação direta e auxiliar são os seguintes (Social, 2012):

- Um(a) enfermeiro(a), para cada 20 residentes;
- Um(a) ajudante de ação direta, por cada 5 residentes;
- Um(a) empregado(a) auxiliar por cada 15 residentes.

Os indicadores acima referidos podem ser adaptados, com a necessária flexibilidade, em função das características gerias, quer da instalação, quer de funcionamento, quer do número de residentes de cada estrutura residencial. A Figura 21 ilustra a disposição do edifício em questão.



Figura 20 - Vista Planta do edifício em questão.



Figura 21 – Vista Frontal do edifício em questão.

A Tabela 4 lista todos os espaços do edifício assim como a sua área útil e o seu pé direito.

Tabela 4a - Lista de espaços (e sua área útil e pé direito).

Sala Nº	Piso	Designação	Área Útil (m²)	Pé Direito (m)
-01.01	Piso -1	Área técnica	5,70	2,5
-01.02	Piso -1	Lavandaria	21,00	2,5
-01.03	Piso -1	Estacionamento	287,90	2,5
-01.04	Piso -1	Arrecadação	1,50	2,5
-01.05	Piso -1	Circulação (salinha)	1,50	2,5
-01.06	Piso -1	Circulação	1,50	2,5
-01.07	Piso -1	Acesso ao piso 0	-	2,7
00.01	Piso 0	Átrio de entrada e zona de espera	17,30	2,4
00.02	Piso 0	Recepção	4,00	2,7
00.03	Piso 0	Circulação de serviço	6,70	2,7
00.04	Piso 0	Gabinete de direção/sala de trabalho	15,30	2,7
00.05	Piso 0	Gabinete técnico	11,00	2,7
00.06	Piso 0	IS S pessoal	4,80	2,7
00.07	Piso 0	Vestiários H (Pessoal)	8,00	2,7

Tabela 4b – Lista de espaços (continuação).

Sala Nº	Piso	Designação	Área Útil (m²)	Pé Direito (m)
00.071	Piso 0	Vestiários S (Pessoal)	8,00	2,7
00.08	Piso 0	IS H pessoal	3,90	2,7
00.09	Piso 0	IS Homens	8,50	2,7
00.10	Piso 0	IS Senhoras	8,50	2,7
00.11	Piso 0	Sala de estar	31,00	2,7
00.12	Piso 0	Sala de refeições	37,00	2,7
00.13	Piso 0	Copa	11,00	2,7
00.14	Piso 0	Arrumos	2,81	2,7
00.15	Piso 0	Quarto duplo 00.15	16,60	2,7
00.16	Piso 0	Quarto duplo 00.16	16,60	2,7
00.17	Piso 0	IS 00.17	4,50	2,7
00.18	Piso 0	Quarto duplo 00.18	16,60	2,7
00.19	Piso 0	Quarto duplo 00.19	16,60	2,7
00.20	Piso 0	IS 00.20	4,50	2,7
00.21	Piso 0	Quarto duplo 00.21	16,60	2,7
00.22	Piso 0	Quarto duplo 00.22	16,60	2,7
00.23	Piso 0	IS 00.23	4,50	2,7
00.24	Piso 0	Circulação	37,35	2,4
00.25	Piso 0	Acesso ao piso 1	-	2,7

Tabela 4c - Lista de espaços (continuação).

Sala Nº	Piso	Designação	Área Útil (m²)	Pé Direito (m)
01.01	Piso 1	Quarto duplo 01.01	17,50	2,7
01.02	Piso 1	Quarto individual 01.02	12,10	2,7
01.03	Piso 1	IS 01.03	4,50	2,7
01.04	Piso 1	Quarto individual 01.04	13,60	2,7
01.05	Piso 1	Quarto duplo 01.05	16,60	2,7
01.06	Piso 1	IS 01.06	4,50	2,7
01.07	Piso 1	Quarto duplo 01.07	16,60	2,7
01.08	Piso 1	Quarto duplo 01.08	16,60	2,7
01.09	Piso 1	IS 01.09	4,50	2,7
01.10	Piso 1	Sala de estar	11,30	2,7
01.11	Piso 1	Quarto individual 01.11	11,30	2,7
01.12	Piso 1	Quarto individual 01.12	11,30	2,7
01.13	Piso 1	IS 01.13	4,50	2,7
01.14	Piso 1	Vigilante	3,00	2,7
01.15	Piso 1	Arrumo	2,70	2,7
01.16	Piso 1	Circulação de utentes	33,45	2,7

O edifício é composto por 3 pisos, sendo um deles abaixo do solo. No piso -1 encontra-se a lavandaria, a arrecadação e a garagem com capacidade para 10 viaturas ligeiras, sendo que no exterior do edifício é possível estacionar mais 4.

No piso 0, encontram-se diversos espaços como: a secção administrativa (gabinete técnico e da direcção), receção e átrio de entrada, vestiários para *staff* da unidade, sala de estar, sala de refeições, copa, instalações sanitárias, e alguns quartos duplos.

O piso 1 engloba a maior parte dos quartos, cerca de 4 quartos duplos e 4 individuais. Está ainda neste piso a sala do vigilante, uma outra sala de estar e as instalações sanitárias necessárias para os utentes deste piso. Os equipamentos destinados à climatização do espaço estarão localizados no piso 1 numa cobertura técnica.

O edifício em causa tem capacidade para acolher cerca de 24 pessoas (utentes), sendo que estão exatamente distribuídas pelos pisos 0 e 1. Tendo em conta as 10 pessoas que pertencem ao *staff* pode-se considerar que o edifício tem capacidade para 34 indivíduos.

Cada quarto está provido de uma televisão, seja ele quarto duplo ou individual. Há também um candeeiro de cabeceira por cada utente.

Dada a lotação da sala de refeições ser apenas de 12 indivíduos, todas as refeições são divididas em 2 turnos. As refeições são distribuídas/servidas da seguinte forma:

- Pequeno-almoço – Início às 8 e 9 horas;
- Almoço – Início às 12 e 13 horas;
- Lanche – Início às 16 e 17 horas;
- Jantar – Início às 20 e 21 horas.

No Anexo B pode observar-se com mais detalhe o edifício e a disposição dos espaços por toda a construção.

3.2 Caracterização da envolvente

No programa HAP, mais propriamente no menu *Weather*, foram definidas as características do ambiente que envolve o edifício em estudo, assim como a região onde o mesmo se encontra.

O perfil foi traçado com o auxílio do documento Temperaturas Exteriores de Projecto e Número de Graus-Dias (1995) que apresenta as temperaturas exteriores de projeto e número de graus-dias. Neste documento é possível encontrar as temperaturas de referência para as diferentes cidades de Portugal. Para o estudo foi usada a localidade de Sintra que é onde está

situada a unidade. No final da caracterização, o HAP permitiu que fossem feitas simulações de temperaturas e exposições solar de qualquer dia do ano.

No menu *Weather* do HAP foram então introduzidos os seguintes dados:

- Elevação, latitude e longitude da localidade (Edifícios, 2014);
- Temperatura de projeto de Verão e de Inverno (bolbo seco e bolbo húmido);
- Reflexão e condutividade do solo local.

As temperaturas de bolbo seco e bolbo húmido de Verão são obtidas tendo em conta a probabilidade acumulada de ocorrência de 97,5%. O documento apresenta probabilidades de 90, 95, 97,5 e 99%, sendo que se optou pelo valor 97,5% por se tratar de um edifício onde não há nem produtos nem pessoas em risco. A percentagem de 99% tratava-se de impor ao projeto que fosse demasiado rigoroso sem que fosse necessário, o que traria custos acrescidos na fase de construção.

A temperatura de bolbo seco de Inverno foi também obtida através do PEM e da probabilidade acumulada de ocorrência de 2,5%, por forma a manter o mesmo critério da situação de Verão. A temperatura de bolbo húmido de Inverno foi obtida com o auxílio de outro *software*, *Munters*, pois esta é a única temperatura que não se encontra no documento TEM acima referido. Este *software* permite recriar digitalmente uma folha psicrométrica e traçar e calcular diversas evoluções. Para este cálculo em concreto, foi criado o ponto com as seguintes características: temperatura de bolbo seco 1,1 °C e humidade relativa de 90%.

A Tabela 5 resume as características do local onde está situado o edifício em estudo e que tem sido referidas desde o início deste subcapítulo.

Tabela 5 - Características do local onde está situada a unidade.

Latitude (°)	38,8
Longitude (°)	9,3
Elevação (m)	130
Temperatura de bolbo seco de Verão (°C)	29,3
Temperatura de bolbo húmido de Verão (°C)	19,6
Amplitude térmica (°C)	9,9

Temperatura de bolbo seco de Inverno (°C)	1,1
Temperatura de bolbo húmido de Inverno (°C)	0,507

No *Munters* foram também determinados os valores de humidade máxima e mínima de cada mês, introduzindo pontos na carta através da temperatura e humidade máxima às 9 e 21h de cada mês. De seguida criou-se mais dois pontos, um com o valor de humidade mais alto obtido no cálculo anterior, juntamente com a temperatura máxima do ar. O outro ponto combinava a temperatura mínima do ar e a maior humidade relativa possível, 100%.

Dos cálculos anteriormente referidos, obteve-se para cada mês do ano a temperatura máxima e mínima de bolbo seco e húmido, sendo as mesmas inseridas no software HAP e demonstradas na Tabela 6.

Tabela 6 - Temperaturas consideradas para todo o ano.

Monthly Max/Min				
Month	Dry Bulb		Wet Bulb	
	Max	Min	Max	Min
jan	14,0	5,8	10,7	5,8
fev	14,5	6,6	10,9	6,6
mar	15,8	7,3	12,1	7,3
abr	17,5	8,3	13,2	8,3
mai	19,6	10,6	14,9	10,6
jun	22,3	12,9	17,1	12,9
jul	24,4	14,8	18,2	14,8
ago	29,3	19,4	19,6	16,3
set	24,2	14,1	18,3	14,1
out	21,4	11,6	16,2	11,6
nov	16,9	8,2	12,6	8,2
dez	14,6	5,8	10,7	5,8

O software HAP para além de questões climatéricas também solicita informação acerca do solo e do estado do céu (este último quando, por norma, os céus são a maior parte do tempo escuros). Foi então selecionado no HAP, através do *Atmospheric Clearness*, que este valor seria 1 pois é o valor médio. O fator varia entre 0,85 (situações escuras) e 1,15 (situações muito claras).

Outra característica que foi tida em conta foi a *Average Ground Reflectance* que define a quantidade de radiação solar que é emitida pelas superfícies que rodeiam um edifício. Na Tabela 7 são apresentados os valores do fator refletância (a referir que este fator varia com o ângulo de incidência) de acordo com os diferentes tipos de superfícies. O valor por defeito é 0,20.

Tabela 7 - Valores do fator "Average Ground Reflectance" (Carrier, Hourly Analysis Program 4.80.0.30 - International Edition).

Tipo de superfície	Refletância
Concreto novo	0,31 a 0,34
Concreto antigo	0,22 a 0,25
Relva	0,21 a 0,31
Pedra (brita)	0,2
Betume e cobertura de cascalho	0,14
Estacionamento em cascalho	0,09 a 0,12

Por fim, o fator *Soil Conductivity* que se refere à condutividade do solo circundante ao edifício. Este fator afeta o cálculo do calor transferido nas paredes, pavimentos, etc. A condutividade térmica varia com a composição do solo, e pode apresentar os seguintes valores apresentados na Tabela 8. O valor introduzido por defeito é 1,38 W/m/K.

Tabela 8 - Valores do fator "Soil Conductivity" (Carrier, Hourly Analysis Program 4.80.0.30 - International Edition).

Classificação	Variação normal
Areias	0,35 a 1,45
Sedimentos	0,50 a 1,45
Barros	0,50 a 0,95
Argilas	0,50 a 1,45

Por fim, e ainda na definição do perfil climático, foi necessário colocar no programa o fator de correção para os ganhos de radiação solar típicos durante o dia, ocorridos por cada mês do ano. Para tal, foi extraído do HAP os valores de radiação solar, de todas as horas do dia para cada mês do ano, como por exemplo o representado na Tabela 9 que diz respeito aos valores para o mês de dezembro.

Tabela 9 - Valores de radiação solar (apresentados na unidade de potência) para o mês de dezembro.

Design Total Solar Heat Gains for December

(Values for each exposure are expressed in W/m²)

Hour	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	HOR
0000	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0100	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0200	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0300	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0400	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0500	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0600	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0700	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0800	127,9	32,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,8
0900	418,5	203,5	1,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	93,0
1000	583,0	384,3	100,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	213,3
1100	677,7	534,3	290,0	18,5	0,0	0,0	0,0	0,0	301,2
1200	712,4	644,6	467,9	190,5	0,0	0,0	0,0	0,0	335,7
1300	689,6	703,0	599,0	391,4	97,5	0,0	0,0	0,0	312,9
1400	607,7	693,4	665,5	525,5	287,9	19,1	0,0	0,0	235,2
1500	459,4	590,6	621,3	554,4	391,3	144,2	0,0	0,0	118,1
1600	204,3	301,4	344,6	335,3	269,9	155,4	15,1	0,0	16,0
1700	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1800	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1900	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2000	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2100	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2200	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2300	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Utilizando os valores da exposição na horizontal para cada hora do dia, apresentados na última coluna em W/m², da Tabela 9 pôde-se calcular qual a exposição total que ocorre num determinado dia típico do ano. Bastou, para tal, somar todos os valores de exposição solar. A potência mensal foi calculada multiplicando a exposição diária pelo número de dias que determinado mês tem. No exemplo exposto bastou multiplicar por 31 dias porque tratava-se do mês de dezembro, tendo-se obtido 50,6 kWh/m² de potência mensal. Sendo conhecida a potência mensal foi fundamental saber qual a potência média de radiação solar medida no local, em determinado mês, medido pelo Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica (INMG). A obtenção da potência média de radiação solar mensal foi realizada através da carta apresentada na Figura 22, onde se pode observar diferentes valores, representados por linhas, para diferentes localidades. Analisando a Figura 22, observa-se que para o local em estudo e para o mês de dezembro, a potência média de radiação solar mensal é 60 kW/m².

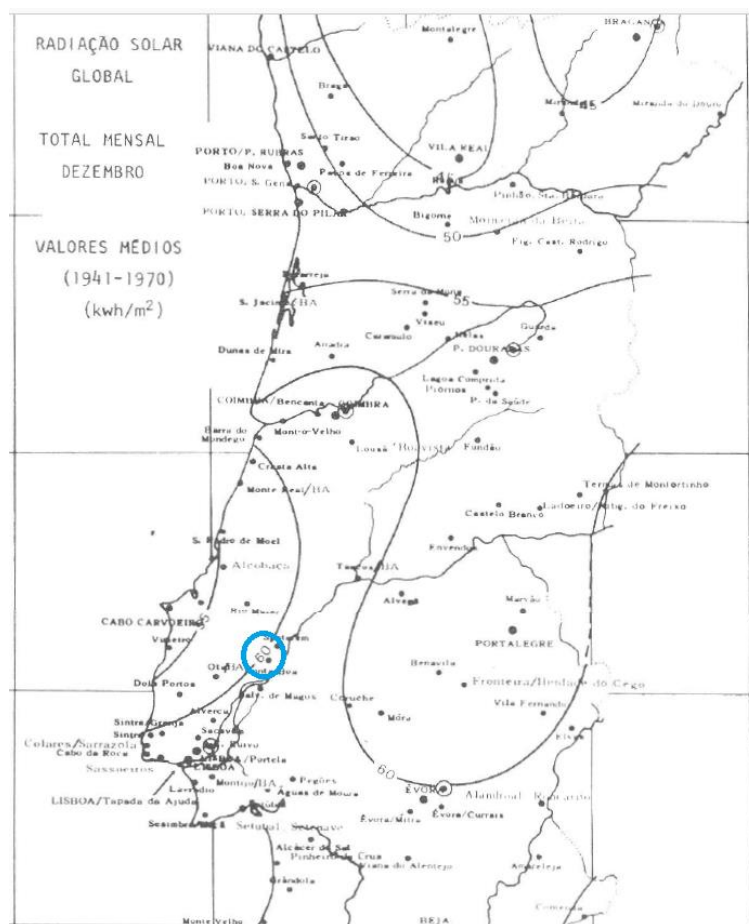


Figura 22 – Fator INMG para o mês de dezembro (INMG, 1981).

Para a obtenção do fator de correção de radiação realizou-se o quociente entre os valores da potência mensal e a potência média de radiação solar mensal, para cada mês do ano. Para o exemplo do mês de dezembro os valores em causa são $50,6 \text{ kWh/m}^2$ e 60 kWh/m^2 respetivamente, obtendo o valor do fator de correção de 1,19. Os valores obtidos para os restantes meses, estão resumidamente apresentados na Tabela 10.

Tabela 10 - Fatores de correção para a radiação solar no local para cada mês do ano.

Design Day Maximum Solar Heat Gains W/m ²										
Month	Multiplier	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S
Jan	1,02	89,2	89,2	89,2	284,2	514,7	687,4	800,5	839,0	838
Feb	0,95	102,3	102,3	176,0	386,0	598,6	716,8	771,1	759,7	740
Mar	0,92	118,8	118,8	304,9	512,0	636,0	719,2	699,6	649,3	618
Apr	1,06	157,2	256,7	477,5	669,4	772,2	765,8	701,5	592,2	539
May	1,12	179,9	384,2	601,6	740,7	806,2	754,8	642,5	493,2	424
Jun	1,19	196,3	453,3	664,7	796,9	841,8	765,7	631,1	459,8	387
Jul	1,29	210,0	444,0	671,3	848,4	910,1	847,1	719,7	548,6	473
Aug	1,26	192,6	302,2	552,6	774,4	883,4	885,0	803,1	678,3	620
Sept	1,21	159,4	159,4	359,8	636,7	808,7	897,4	888,3	824,4	792
Oct	1,15	126,7	126,7	187,4	474,5	673,1	842,7	889,7	885,1	873
Nov	1,23	109,0	109,0	109,0	315,5	613,3	820,1	949,0	989,9	999
Dec	1,19	93,8	93,8	93,8	255,6	534,6	745,5	901,5	965,9	978

3.3 Caraterização dos espaços

Neste capítulo, foram introduzidos e caraterizados, no simulador HAP (menu *Spaces*), todos os espaços que estão sujeitos a climatização e/ou qualquer tratamento de espaço. Para tal, foi necessário caracterizar todas as paredes, tetos e pavimentos, quantificar a potência que cada equipamento elétrico irá consumir e quantificar a iluminação de cada espaço (ganhos de energia internos). Por fim, e por forma a tornar ainda mais real o cálculo das cargas térmicas, foram criados horários de funcionamento (*schedules*) de iluminação, ocupação e equipamentos, associados a cada tipo de espaço. Cada uma destas caraterizações irão ser abordadas nos subcapítulos seguintes.

3.3.1 Coeficientes globais de transmissão térmica

Para a constituição de toda a parte construtiva do edifício, tais como paredes, tetos e pavimentos, foi necessário recorrer ao *ITE 50 (2012)*, onde é possível encontrar dados de várias soluções construtivas e dos vários elementos da construção típica portuguesa.

Com os dados retirados do *ITE 50 (2012)*, com o auxílio de um ficheiro *Excel* e através dos desenhos técnicos foi possível determinar o valor de cada componente construtiva do edifício. Neste sentido, as paredes do caso de estudo foram todas calculadas tendo em conta as características e propriedades dos elementos que constituem a envolvente utilizando as equações 5 e 6:

$$R = \frac{e}{\lambda} \quad (5)$$

$$U = \frac{1}{\sum R_1 + R_2 + \dots + R_n} \quad (6)$$

Onde:

- R - Resistência térmica [m².K/W];
- e - Espessura [m];
- λ - Condutibilidade térmica [W/m.k];
- U – Coeficiente de transmissão térmica [W/m².K].

Os acabamentos foram determinados e calculados através da informação fornecida pelos desenhos técnicos, sendo estes apresentados no Anexo C.

Para efeito exemplificativo será apresentado o procedimento do cálculo do coeficiente de transmissão térmica da parede exterior do piso -1 e do pavimento com acabamento do tipo A1.

A parede exterior do piso -1 é constituída por 4 elementos, como demonstrado na Tabela 11. Tabela 13

Tabela 11 - Constituição da parede exterior do piso -1 e respetivos valores de condutibilidade (λ) e resistência térmica (R).

Elemento de Camada	e (m)	λ (W/m.K)	R (m ² .K/W)
Resistência Interior	-	-	0,170
Reboco hidrófugo pintado com tinta plástica	0,020	1,300	0,015
Laje em betão armado	0,050	1,650	0,030
Isolamento térmico e acústico WALLMATE	0,030	0,035	0,857
Reboco hidrófugo pintado com tinta plástica	0,020	1,300	0,015
Resistência Exterior	-	-	0,040

De forma a determinar a resistência térmica, através da equação (5), houve a necessidade de conhecer a espessura das diferentes camadas e o valor da condutibilidade térmica, que é obtida com recurso ao *ITE 50 (2012)*. Os valores obtidos estão apresentados na Tabela 11.

A resistência térmica superficial exterior e interior também foi obtida através das tabelas do *ITE 50 (2012)*. Por fim, determinou-se o coeficiente de transmissão térmica, U , com recurso à equação (6), tendo sido obtido o valor de $0,886 \text{ W/m}^2.\text{K}$.

O pavimento do tipo A1 está presente em divisões como o átrio de entrada, os vestiários e instalações sanitários do piso 0 e é composto com os elementos apresentados na Tabela 12. A nomenclatura A1 representa o tipo de acabamento desejado, pavimento cerâmico de grés vidrado do tipo Cinca Nova Arquitetura, $30 \times 30 \text{ cm}$, na cor cinzento ref. 5504. A espessura das diferentes camadas, o valor da condutibilidade térmica, e a resistência térmica do pavimento A1 estão também apresentados na Tabela 12. A resistência térmica superficial exterior e interior também foi obtida através das tabelas do *ITE 50 (2012)*.

Tabela 12 - Constituição do Pavimento A1 e respetivos valores de condutibilidade (λ) e resistência térmica (R).

Elemento de Camada	e (m)	λ (W/m.K)	R (m².K/W)
Resistência Interior	-	-	0,100
Pavimento cerâmico de grés vidrado do tipo Cinca Nova Arquitetura, $30 \times 30 \text{ cm}$, na cor cinzento ref 5504	0,01	1,300	0,008
Argamassa de assentamento	0,004	1,300	0,003
Sistema de impermeabilização tipo IMPERALUM	0,050	0,045	1,111
Laje em betão armado	0,050	1,650	0,030
Estuque projetado e pintado a branco	0,004	0,430	0,009
Resistência Exterior (interior, Piso -1)	-	-	0,100

O coeficiente de transmissão térmica, U , obtido com recurso à equação (6), foi de $0,734 \text{ W/m}^2.\text{K}$.

Repetiu-se o processo anterior para os restantes elementos construtivos tendo-se obtido os valores da Tabela 13.

Tabela 13 - Coeficiente global de transmissão térmica (U) de todas as envolventes opacas.

Elemento	U (W/m².K)
Cobertura Piso 1	0,446
Cobertura Piso -1 e 0	0,557
Cobertura Piso 0 (espaço onde tem a zona técnica no piso 1)	0,600
Cobertura com acabamento C1 piso -1 e 0	0,559
Cobertura com acabamento C2 piso -1 e 0	0,545
Cobertura com acabamento C3 piso -1 e 0	0,554
Cobertura com acabamento C4 piso -1 e 0	0,554
Cobertura com acabamento C5 piso -1 e 0	0,559
Cobertura com acabamento C1 piso 1	0,446
Cobertura com acabamento C2 piso 1	0,438
Cobertura com acabamento C3 piso 1	0,443
Cobertura com acabamento C4 piso 1	0,443
Cobertura com acabamento C5 piso 1	0,446
Pavimento	0,570
Pavimento com acabamento A1	0,793
Pavimento com acabamento A2	0,570
Pavimento com acabamento A3	0,793
Pavimento com acabamento A4	0,767
Pavimento com acabamento A5	0,668
Pavimento com acabamento A6	0,668

Elemento	U (W/m ² .K)
Paredes exteriores	0,223
Paredes exteriores Piso -1	0,886
Paredes interiores	1,312
Parede interior com acabamento B1	1,296
Parede interior com acabamento B2	1,308

3.3.2 Coeficiente de transmissão térmica dos vãos

Ao contrário do que aconteceu com as paredes, tetos e pavimentos, o coeficiente dos vãos foi calculado diretamente no HAP. Para efeito exemplificativo será apresentado o procedimento para o cálculo do coeficiente de transmissão térmica do vão exterior V1. Pode-se observar pela Figura 23 as características do vão exterior V1.

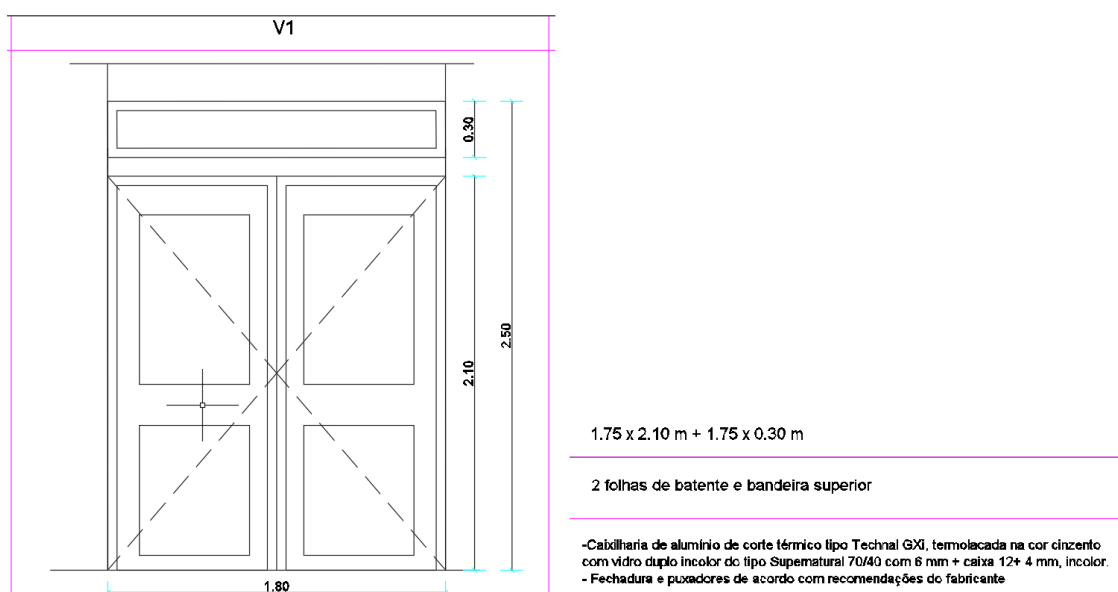


Figura 23 – Formato e dimensões do vão exterior V1.

O vão V1 é composto por duas secções. Uma porta com a largura de 1,75 m e 2,10 m de altura e a janela que tem 1,75 m de largura e 0,30 m de altura. Para efeitos de estudo teve-se em conta um único elemento com as dimensões 1,75x2,50 m. Em termos de composição admitiu-se que o vão era composto por vidro duplo de 6 e 3 mm e uma caixa-de-ar entre eles

de 13 mm. Na Figura 24, encontra-se o exemplo da colocação deste vão no menu *Window*, no programa HAP.

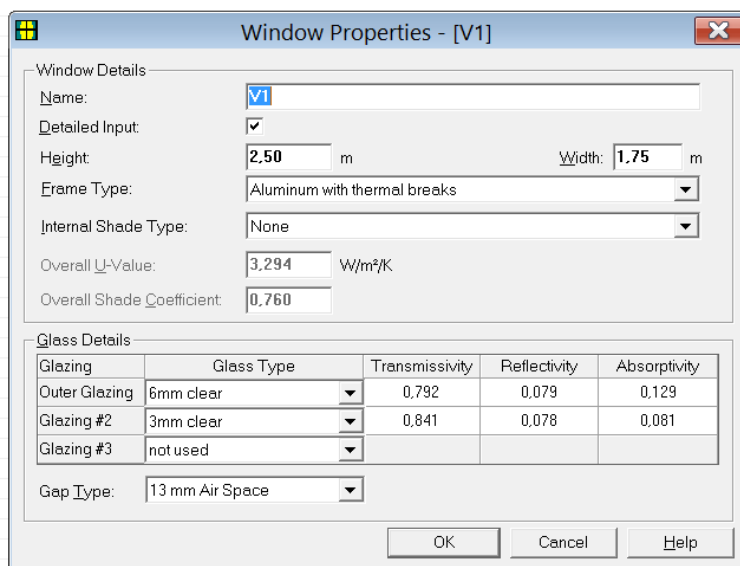


Figura 24 – Características do vão V1 no Menu Window no HAP.

Depois de todos os dados serem colocados no HAP obteve-se para o vão V1, o valor de 3,294 W/m².K.

A Tabela 14 apresenta todos os coeficientes de transmissão térmica das superfícies transparentes, calculados e introduzidos no HAP.

Tabela 14 - Coeficiente de transmissão térmica de todos os elementos construtivos.

Elemento	U (W/m ² .K)
Vão exterior PE1	0,944
Vão exterior V1	3,294
Vão exterior V2	3,431
Vão exterior V3	3,164
Vão exterior V4	3,329
Vão exterior V5	3,320
Vão exterior V6	3,327

Elemento	U (W/m².K)
Vão exterior V7	3,307
Vão exterior V8	3,340
Vão exterior V9	3,408
Vão exterior V10	3,335
Vão exterior V11	3,352
Vão interior P1, P2, P3, P4, P5, P6 e P7	1,008
Vão interior PCF1	0,935
Vão interior PCF2	0,935

3.3.3 Horários

Os horários (*schedules*, no programa HAP) constituem uma parte importante do anteprojeto pois é com base nestes programas/horários que o *software* faz uma simulação das cargas térmicas presentes em cada espaço, ao longo do dia e de todo o ano.

Esta secção do projeto foi feita com base no Decreto-Lei nº 79/2006. Apesar deste decreto já não se encontrar em vigor, continua a ser uma referência no que aos horários diz respeito. Este documento apresenta no seu final perfis horários exemplificativos e comprovados para diferentes tipos de espaços, tais como escritórios, cinemas, cozinhas, entre outros. Estes padrões ilustram a percentagem de ocupação, utilização de equipamentos e iluminação de um edifício em diversos tipos de espaço.

Analisando os vários espaços do edifício em estudo, foi necessário fazer alguns ajustes aos horários assumidos, face ao que é apresentado no Decreto-Lei nº 79/2006, sendo estes:

- Gabinete da direção e o gabinete técnico - Foi usado o *schedule* de escritórios apresentado no Decreto-Lei, visto tratar-se do mesmo tipo de espaço;
- Salas de refeições – No caso da ocupação, foram feitas algumas alterações face aos padrões associados a um pronto-a-comer (os horários praticados pelo edifício são

ligeiramente diferentes). No caso da iluminação foi baseado nos restaurantes, sem qualquer alteração;

- Quartos – Padrões utilizados idênticos aos dos hotéis no que diz respeito à ocupação, com ligeiras alterações pois o edifício em causa não tem uma ocupação sazonal, mas sim anual;
- Copa – Tanto na ocupação como na iluminação optou-se por uma programação igual à das salas de refeições do edifício em causa. Nos equipamentos assumiu-se igual ao pronto a comer do Decreto-lei;
- Lavandaria – Nos equipamentos atribui-se uma programação igual ao dos restaurantes 5 estrelas apresentado no Decreto-Lei, nas condições de Verão. Para a iluminação foi tido em conta que as luzes ou estavam acesas ou apagadas, visto haver apenas 2 luminárias. Foi assumido que entre as 2 e as 7 horas da manhã não havia presença de funcionários no espaço;
- Salas de estar – Tal como a copa, assumiu-se que em todos os parâmetros a programação é igual às das salas de refeições;
- Circulação – Optou-se por colocar ocupação e iluminação a 100% durante todos os dias do ano;
- Vigilante – Não foi feita nenhuma comparação com os espaços do Decreto-Lei. Assumiu-se que a ocupação e os equipamentos são iguais, visto existir sempre um vigilante no espaço e com os equipamentos ligados. Na iluminação, teve-se em conta a estação do ano, visto haver uma janela no espaço.
- Átrio de entrada e Receção – Iluminação e ocupação com programação igual aos gabinetes (primeiro ponto). Assumiu-se que não há limitação de horário para as visitas aos utentes. Nos equipamentos considerou-se que ou estavam ligados ou desligados.
- Vestiários – Assumiu-se que há rotação de pessoal de 8 em 8 horas, pelo que serviu para elaborar a programação deste espaço, no que diz respeito à ocupação e à iluminação. A rotação dos turnos dá-se à meia-noite, às 8 e às 16 horas.

Para efeitos exemplificativos vai ser abordado o horário destinado ao gabinete da direção relativamente à sua ocupação. Para esta divisão foi criada uma programação para os dias de semanas e outra para os feriados e fins-de-semana. Isto porque apenas existe ocupação a 100% durante a semana, sendo que nos restantes dias e apenas esporadicamente os colaboradores ocupam este espaço.

Na Figura 25 pode-se observar a caracterização dos horários estabelecidos para a ocupação deste gabinete. É possível verificar que a ocupação nos dias de segunda a sexta-feira é bastante maior (entre as 7 horas e as 18 horas) do que ao fim de semana e aos feriados.

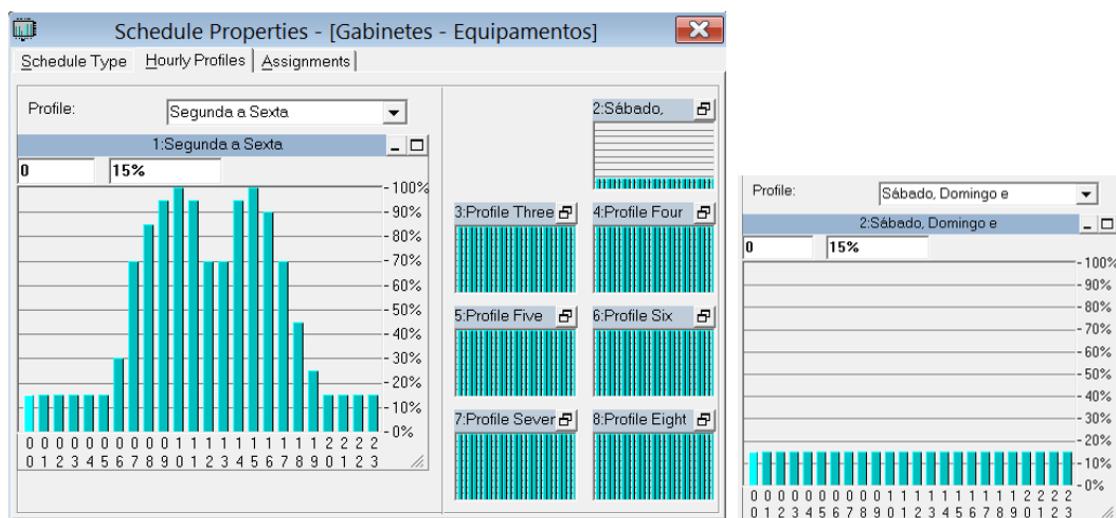


Figura 25 – Caraterização do Schedule da ocupação (gabinete da direção).

Estando os horários criados para os espaços em questão, é necessário atribuí-los aos vários meses do ano. Dado tratar-se de um edifício que vai manter a sua ocupação ao longo de todo o ano a atribuição dos horários de ocupação é o mesmo em todos os meses. Esta distribuição anual está visível na Figura 26.

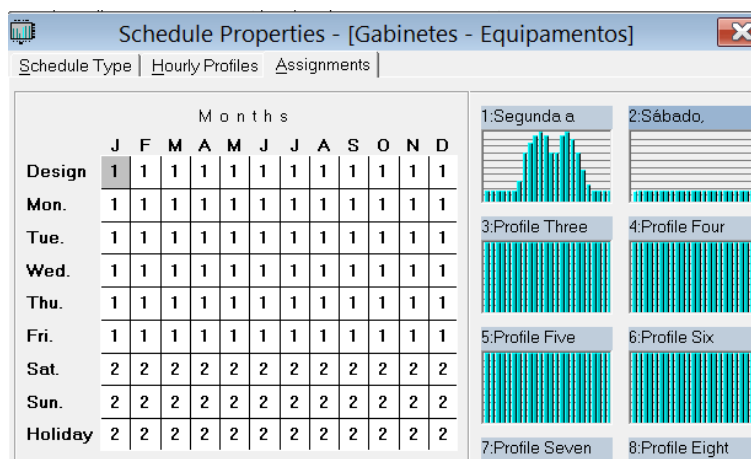


Figura 26 - Atribuição dos horários ao longo do ano.

No Anexo D pode-se observar os restantes horários criados para os outros espaços do edifício. Foram criados horários por tipologia do espaço, como por exemplo, horários para os gabinetes (que também serão usados para átrio de entrada e receção), horários para os quartos (tanto simples como duplos), horários para as salas de estar e de refeições, e para os

demais espaços. Cada horário foi devidamente dividido em 3 categorias: iluminação, ocupação e equipamentos.

3.3.4 Cargas térmicas internas

Um dos importantes fatores que deve ser tido em conta na simulação do HAP são as cargas térmicas internas. São assumidos como cargas térmicas todos os equipamentos considerados para cada espaço, iluminação e número de pessoas por norma dentro do espaço.

A carga térmica dos equipamentos e iluminação foram calculados com o auxílio de uma folha *Excel*, que pode ser observada no Anexo E. Em termos de iluminação foram tidas em conta todas as iluminações desde iluminação de teto até a candeeiros e mesa de cabeceira. Já nos equipamentos foram considerados televisões, computadores, impressoras e projetores (para o caso dos gabinetes).

3.3.5 Caraterização dos espaços no HAP

Neste capítulo será feita uma descrição detalhada da caraterização de todos os espaços no *software* HAP. A informação fornecida ao programa passou pela composição estrutural (paredes, tetos e pavimentos), quais os vãos não opacos presentes em cada espaço, valores de perdas de carga, entre outros dados. Para esta caraterização foi necessário recorrer aos dados calculados nos capítulos anteriores como coeficientes globais de transmissão térmica de paredes, tetos e pavimento, vãos não opacos como janelas e portas e cargas térmicas internas.

Antes da caraterização detalhada de cada espaço, foi necessário criar a composição estrutural de todos os vãos opacos e não opacos para que posteriormente a sua atribuição ao espaço fosse mais simples. Esta informação foi introduzida no submenu das paredes (*Walls*, no HAP), apresentado na Figura 27. O submenu referente aos telhados (*Roofs*, no HAP) é semelhante, mas o elemento caraterizado é o telhado, como o próprio nome indica.

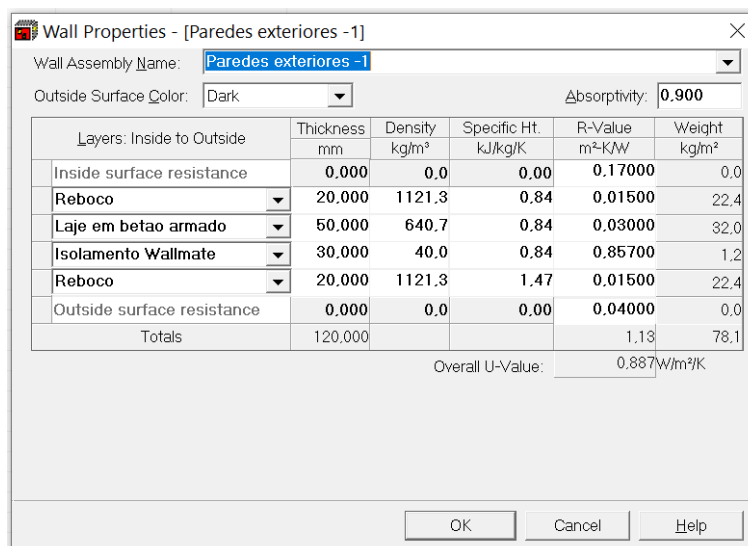


Figura 27 - Caracterização das paredes exteriores (Piso -1) no HAP.

A caracterização da camada começa com a introdução da espessura de cada elemento (*Thickness*), assim como a resistência térmica (*R-Value*). A densidade do material para o cálculo pretendido não é relevante para este projeto, pois só vai influenciar diretamente o peso da camada. No final, o valor do coeficiente global de transmissão térmica deverá ser igual ao encontrado na folha de *Excel* (e neste caso em concreto, também deverá ser igual ao descrito na Tabela 15).

Para a caracterização de camadas em certos espaços, teve-se em conta algumas considerações, tais como:

- Quando foi necessário definir os contactos com outros espaços não climatizados através de paredes, no menu *Spaces*, separador *Partitions*, foi tido em conta a parede com maior coeficiente global de transmissão térmica;
- No separador referente às paredes, janelas e portas (menu *Walls, Windows and Doors*, no HAP) apenas foram colocadas paredes/janelas/portas que estão em contacto com o exterior;
- No espaço 00.07 (vestiários dos homens) foi tido em conta que a área em contacto com o elevador é uma área de 2 x 2,7m;
- Nos corredores 00.24 e 02.10 desprezou-se o contacto com as áreas não climatizadas no *Partitions*, isto porque todas elas eram instalações sanitárias e estes espaços irão ter pressão negativa.

Tendo os elementos construtivos caracterizados e introduzidos no HAP, seguiu-se a caracterização, propriamente dita, do espaço. A título de exemplo será abordado o espaço do gabinete de direção 00.04.

A simulação do espaço no HAP iniciou-se com a introdução da área, pé direito e por fim as necessidades de ar novo, no menu geral (*General*, no HAP). O simulador sugere algumas hipóteses de quantidade de ar novo para determinados edifícios. Visto não haver nenhum que se enquadrasse no edifício em estudo, foi colocado manualmente a necessidade de ar novo por unidade de tempo, com o valor de 35 L/s, determinado através da regulamentação apresentada no capítulo 2.1. Os valores acima mencionados podem ser observados na Figura 28.

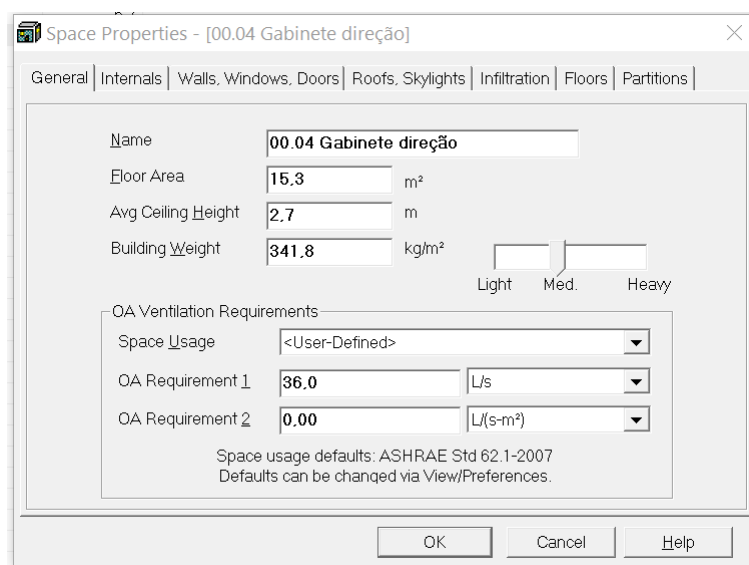


Figura 28 - Menu General - Gabinete de direção 00.04.

Tendo o espaço caracterizado no menu *General*, seguiu-se o menu *Internals* onde são introduzidas as cargas térmicas que o espaço contém. Neste caso, há as cargas das pessoas, as cargas da iluminação, que faz distinção entre iluminação de teto/parede e a iluminação de cabeceira, e por fim as cargas dos equipamentos, que neste caso serão um computador, uma impressora e um projetor. Cada uma destas cargas está associada a um horário, como se pode observar pela Figura 29.

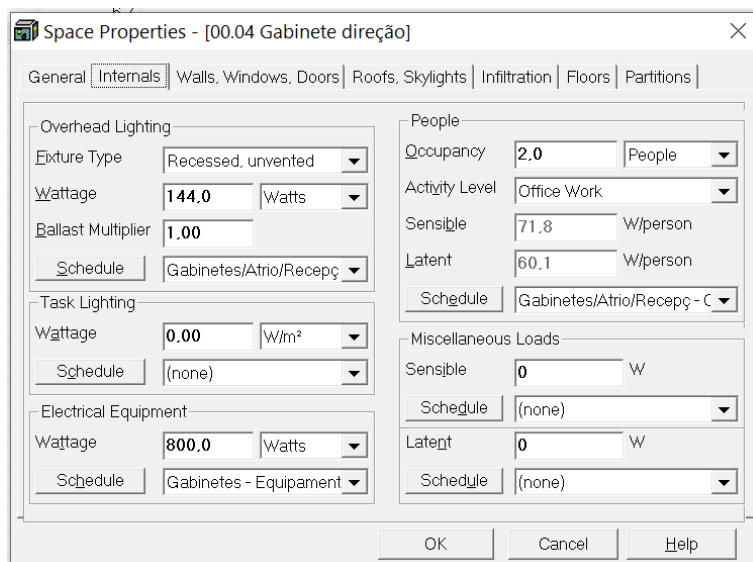


Figura 29 - Menu Internals - Gabinete de direção 00.04.

Como foi dito no início deste capítulo, no menu *Walls, Windows and Doors* apenas são colocados os elementos que estão em contacto com o exterior. Neste caso há uma parede que tem uma área de 8,6 m² e incorpora o vão V5. É importante referenciar qual a orientação da parede, e o respetivo vão, neste caso está virada a sueste. Na Figura 30 é visível a introdução dos dados abordados no programa HAP.

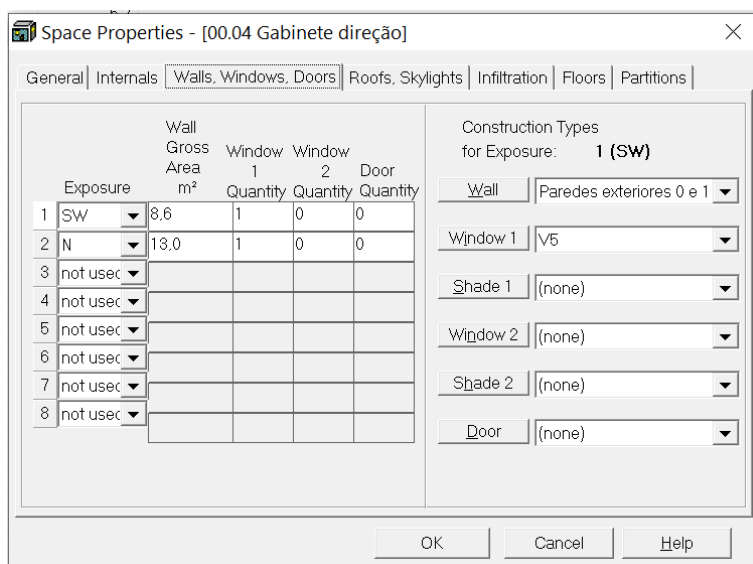


Figura 30 - Menu Walls, Windows, Doors - Gabinete de direção 00.04.

No menu *Floors*, do programa HAP é caracterizado o pavimento de um determinado espaço. Neste exemplo, o gabinete está no piso 0 e acima do estacionamento (espaço -01.03 que não é climatizado). Para este exemplo foi colocado *Floor Above Unconditioned Space*, pois estamos perante um espaço que se encontra acima de um espaço não climatizado. É indicada qual a área em contacto, o coeficiente de transmissão térmica do elemento construtivo da

superfície e a gama de temperaturas do espaço climatizado e do espaço abaixo, gabinete e estacionamento respetivamente.

Como se pode observar pela Figura 31 o espaço não climatizado, que neste caso será a garagem, terá uma temperatura interior de 15 °C quando a temperatura ambiente for 1,1 °C (inverno), e uma temperatura interior de 26 °C quando a temperatura exterior for 29,3 °C (verão).

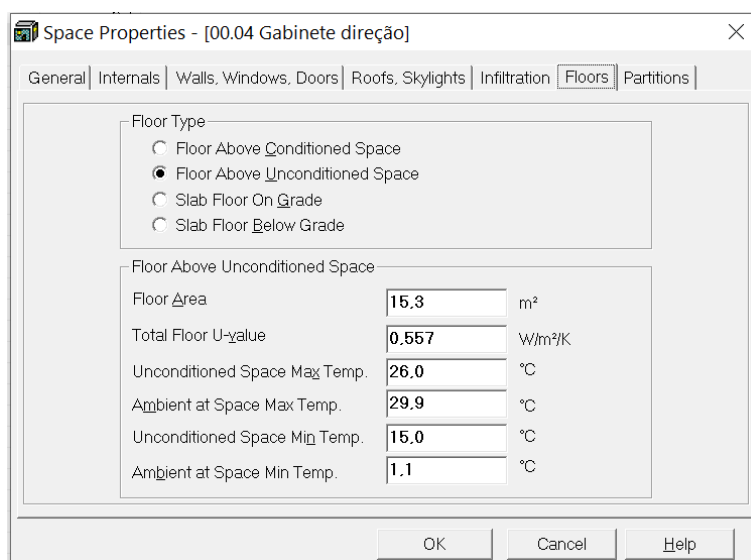


Figura 31 - Menu Floors - Gabinete de direção 00.04.

Por fim é introduzido e caracterizado no programa HAP, no meu *Partitions*, a camada do espaço em questão que contacta com espaços não climatizados. Neste menu só são contemplados contactos através das paredes. De salientar que o *software* só permite a inserção de dois contactos deste tipo, como é visível na Figura 32.

No caso do gabinete 00.04, há contato com o gabinete técnico e com uma casa de banho, sendo que tal como no menu anterior, é necessário referir a gama de temperatura para os dois espaços assim como introduzir o coeficiente de transmissão térmica da parede que separa os dois espaços. Como há apenas contacto com uma parede “não climatizada” introduzem-se os valores no *Partition 1*, como se pode ver pela Figura 32.

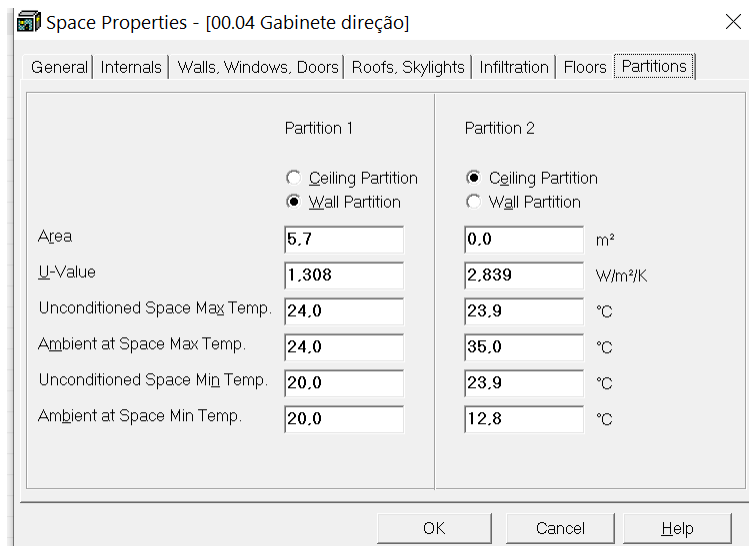


Figura 32 - Menu Partitions -Gabinete de direção 00.04.

É importante referir que os menus *Roofs and Skylights* e *Infiltration* não foram caracterizados. Isto porque se trata de um espaço no piso 0 e como tal não tem contacto direto com o exterior, e porque assumiu-se que não havia infiltrações no espaço através de brechas.

3.4 Cálculo de ar novo e extração

Visto tratar-se de um edifício para pessoas com necessidades especiais torna-se indispensável garantir a qualidade do ar interior. A QAI é obtida através de uma insuflação adequada em cada espaço, mas também a extração deve garantir certos requisitos. Para se obter os valores de extração e insuflação adequados aos espaços foram usadas as legislações e normalizações apresentadas no capítulo 2.1

Na aplicação da EN 15251:2007, no que toca à percentagem de insatisfeitos, assumiu-se a categoria 1 para os quartos sendo que para os restantes espaços assumiu-se a categoria 2. No que toca às emissões do edifício assumiu-se a categoria “low”.

Na aplicação do Decreto-Lei 118/2013 foram admitidas diversas categorias relacionadas com as atividades realizadas em cada espaço. Este detalhe pode ser observado no Anexo F.

Dada a exigência do edifício, foi tido em conta o critério mais exigente para zonas comuns e dos utentes, que neste caso foi a norma EN 15251:2007.

Entre as necessidades impostas pelas diferentes legislações, foram então selecionados os caudais que eram mais rigorosos em termos de projeto. A Tabela 15 apresenta as necessidades de ar novo e extração dos espaços que necessitam ser tratados.

Tabela 15 - Necessidades de insuflação e extração nos espaços tratados.

Sala Nº	Designação	Ar Novo (L/s)	Extração (L/s)
-01.02	Lavandaria	220	220
-01.03	Estacionamento	1833	1833
00.01	Átrio de entrada e zona de espera	55	0
00.02	Receção	40	0
00.03	Circulação de serviço	60	0
00.04	Gabinete de direção/sala de trabalho	35	0
00.05	Gabinete técnicos	20	0
00.06	IS S pessoal	0	35
00.07	Vestiários H pessoal	35	0
00.071	Vestiários S pessoal	35	0
00.08	IS H pessoal	0	30
00.09	IS Homens	0	65
00.10	IS Senhoras	0	65
00.11	Sala de estar	150	0
00.12	Sala de refeições	140	0
00.13	Copa	0	85
00.15	Quarto duplo 00.15	50	0

Sala Nº	Designação	Ar Novo (L/s)	Extração (L/s)
00.16	Quarto duplo 00.16	50	0
00.17	IS 00.17	0	35
00.18	Quarto duplo 00.18	50	0
00.19	Quarto duplo 00.19	50	0
00.20	IS 00.20	0	35
00.21	Quarto duplo 00.21	50	0
00.22	Quarto duplo 00.22	50	0
00.23	IS 00.23	0	35
00.24_1	Circulação	70	0
00.24_2	Circulação	75	0
01.01	Quarto duplo 01.01	50	0
01.02	Quarto individual 01.02	30	0
01.03	IS 01.03	0	35
01.04	Quarto individual 01.04	30	0
01.05	Quarto duplo 01.05	50	0
01.06	IS 01.06	0	35
01.07	Quarto duplo 01.07	50	0
01.08	Quarto duplo 01.08	50	0
01.09	IS 01.09	0	35

Sala Nº	Designação	Ar Novo (L/s)	Extração (L/s)
01.10	Sala de estar	100	0
01.11	Quarto individual 01.11	30	0
01.12	Quarto individual 01.12	30	0
01.13	IS 01.13	0	35
01.14	Vigilante	15	0
01.16	Circulação de utentes	85	0

No total, o(s) sistema(s) selecionado(s) teria(m) de ter capacidade de tratar 1649 L/s e de extrair 1512 L/s. É importante referir que, dada a exigência do edifício, todo o ar insuflado será ar novo (tratado) pelo que não haverá qualquer insuflação com ar misturado ou ar de retorno.

3.5 Regime de pressões do ar interior

Em virtude do ar que é insuflado e extraído de cada espaço foi necessário atribuir pressões a cada um deles, pois o edifício tem de estar equilibrado em termos de pressões devido à movimentação e circulação do ar. Os espaços que contêm o ar mais poluído (com odor intenso ou bactérias) terão pressão inferior aos espaços que os rodeiam. Esses espaços, neste caso de estudo, serão as casas de banho, a copa e os quartos. Dando como exemplo a copa, esta terá uma pressão inferior à sala de refeições com o qual faz fronteira. Desta forma não haverá fuga de ar da copa para a sala de refeições, mas sim o contrário.

Em virtude dos vãos que separam os espaços e dependendo do sentido do fluxo de ar das fugas, foi calculado para cada espaço o ar que entra e sai do mesmo. O cálculo das fugas foi realizado utilizando a **Erro! A origem da referência não foi encontrada.**

$$V = A \alpha \sqrt{2 \Delta P v} \quad (7)$$

Onde:

V – Caudal em [m³/s];

A – Área de passagem do ar [m];

α – Coeficiente de descarga (0,85 para o caso de portas);

ΔP – Diferencial de pressão [Pa];

v – Volume específico do ar [m³/kg].

O regime de pressões, ilustrado no Anexo G, irá alterar os valores anteriormente calculados de ar novo e extração. Estes valores estão apresentados na Tabela 16.

Tabela 16 - Necessidades de insuflação e extração nos espaços tratados após balanço de pressões.

Sala nº	Designação	Ar Novo (L/s)	Extração (L/s)
-01.02	Lavandaria	220	270
-01.03	Estacionamento	1833	1833
00.01	Átrio de entrada e zona de espera	79	0
00.02	Receção	40	40
00.03	Circulação de serviço	60	24
00.04	Gabinete de direção/sala de trabalho	36	0
00.05	Gabinete técnicos	36	0
00.06	IS S pessoal	0	36
00.07	Vestiários H pessoal	35	36
00.071	Vestiários S pessoal	35	71
00.08	IS H pessoal	0	35

Sala nº	Designação	Ar Novo (L/s)	Extração (L/s)
00.09	IS Homens	29	65
00.10	IS Senhoras	29	65
00.11	Sala de estar	150	53
00.12	Sala de refeições	140	104
00.13	Copa	49	85
00.15	Quarto duplo 00.15	50	14
00.16	Quarto duplo 00.16	50	14
00.17	IS 00.17	0	36
00.18	Quarto duplo 00.18	50	14
00.19	Quarto duplo 00.19	50	14
00.20	IS 00.20	0	36
00.21	Quarto duplo 00.21	50	14
00.22	Quarto duplo 00.22	50	14
00.23	IS 00.23	0	36
00.24_1	Circulação	70	95
00.24_2	Circulação	75	124
01.01	Quarto duplo 01.01	50	14
01.02	Quarto individual 01.02	36	0
01.03	IS 01.03	0	36

Sala n°	Designação	Ar Novo (L/s)	Extração (L/s)
01.04	Quarto individual 01.04	36	0
01.05	Quarto duplo 01.05	50	14
01.06	IS 01.06	0	36
01.07	Quarto duplo 01.07	50	14
01.08	Quarto duplo 01.08	50	14
01.09	IS 01.09	0	36
01.10	Sala de estar	100	49
01.11	Quarto individual 01.11	36	0
01.12	Quarto individual 01.12	36	0
01.13	IS 01.13	0	36
01.14	Vigilante	15	15
01.16	Circulação de utentes	85	232

3.6 Caracterização da solução usada

Após o cálculo de todas as necessidades do edifício, estavam então reunidas as condições para avançar para a solução que irá abastecer todo o edifício.

3.6.1 Unidade de tratamento de ar e ventiladores

Para o tratamento de ar novo proveniente do exterior, optou-se por uma UTAN. Este equipamento vai ter a capacidade de receber ar exterior, tratá-lo através de filtração, aquecê-lo ou arrefecê-lo através de baterias e por fim insuflá-lo nos diferentes espaços através de uma rede de condutas. Outro equipamento que também permite o aquecimento ou

arrefecimento do ar, é a *rooftop*. A UTAN foi selecionada em detrimento da *rooftop* devido à sua versatilidade na seleção dos diferentes módulos e facilidade de expansão em caso de necessidade. A UTAN permite um pré-temperamento do ar exterior através de baterias, permite filtração do ar através de filtros e a injeção e extração de ar através de motores elétricos, e a composição e disposição dos diferentes módulos é definido pelo projetista de acordo com as necessidades do edifício. A UTAN tem capacidade de abastecer um edifício com esta dimensão enquanto a *rooftop* é geralmente usada apenas para abastecer pequenos espaços ou abastecimento pontuais. A UTAN usa um motor elétrico para insuflar e outro para extrair o ar dos diferentes espaços, através de uma rede de condutas que serão dimensionadas mais adiante. A utilização de uma UTAN pressupõe que a mesma irá insuflar 100% de ar novo e, portanto, não há ar de retorno.

Por forma a encontrar no mercado um equipamento capaz de abastecer todo o edifício foi necessário simular as condições de funcionamento no *software* HAP. Esta simulação também permitiu conhecer as características necessárias de outros equipamentos como *chiller* e bomba de calor.

A simulação inicia-se no HAP com a imposição ao *software* que o sistema funcionará com unidades terminais (VCs), que será um sistema a 4 tubos (permitindo abastecimento de água arrefecida e aquecida simultaneamente), que o sistema terá de abastecer ar novo a 29 espaços em todo o edifício e que a ventilação será centralizada (*common ventilation system*), ou seja, haverá um ventilador para aspirar ar exterior e outro para extrair ar dos espaços. Ambas as ventilações serão feitas através de uma rede de condutas que serão dimensionadas no capítulo 3.6.4. A Figura 33 ilustra as condições impostas ao HAP.

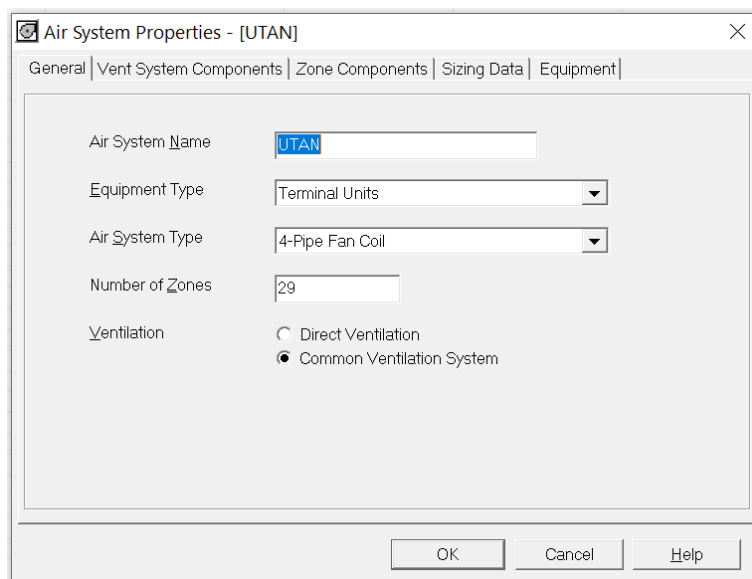


Figura 33 - Caraterização da UTAN no HAP - Menu General.

O segundo menu, *Ventil System Components*, surge logo de seguida e, como é visível pela Figura 34, tem como utilidade selecionar e caraterizar os diferentes componentes que a UTAN terá. Componentes (ou módulos) como o recuperador de calor, as baterias de aquecimento e arrefecimento ou os ventiladores de insuflação e extração foram caraterizados neste menu.

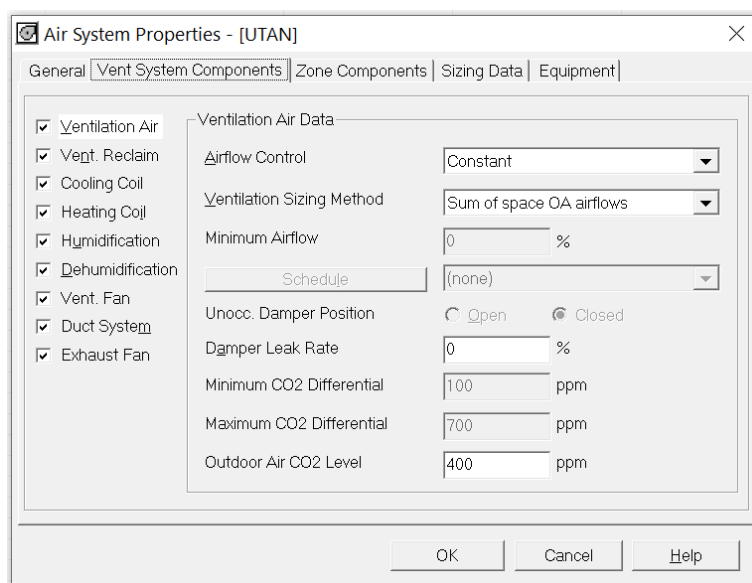


Figura 34 - Caraterização dos diferentes componentes da UTAN - Menu Vent System Components.

O primeiro módulo a ser caraterizado foi o módulo respeitante aos critérios da ventilação do ar exterior, *Ventilation Air*. Foi então definido que o controlo de caudal é constante o que significa que a ventilação será mantida no valor definido em projeto para todos os períodos em que haja ocupação nos espaços. Definiu-se também que o HAP deverá seguir como

método de dimensionamento da ventilação o método de somatório de ar novo em todos os espaços. Este método calcula o fluxo de ar de ventilação do projeto somando as necessidades de ar novo para todos os espaços servidos pelo sistema. Por último foi dito ao programa que não haveria fugas de ar e que o ar exterior tem uma quantidade de dióxido de carbono de 400 ppm.

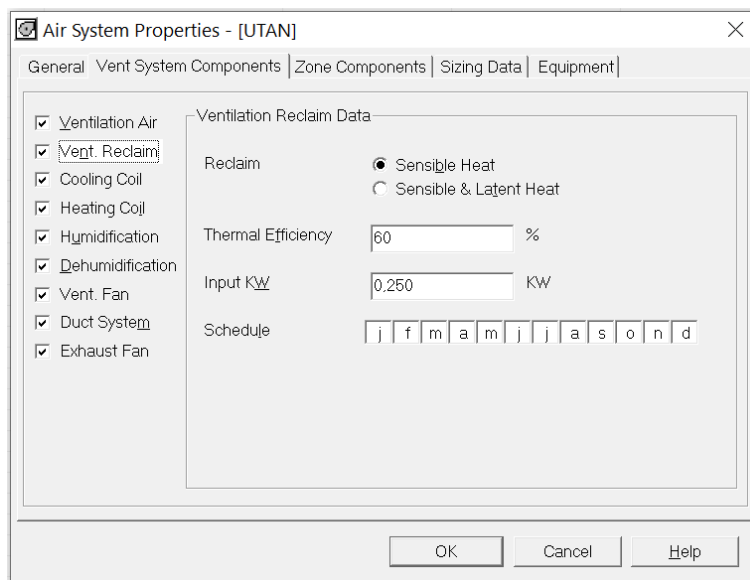


Figura 35 - Caracterização do recuperador de calor da UTAN.

O módulo seguinte a ser definido foi o módulo do recuperador de calor (*Ventilation Reclaim*), conforme Figura 35. O programa apenas solicita qual o tipo de carga que o equipamento vai recuperar, qual a sua eficiência e em que período do ano é que funciona. Foi então dito ao HAP que o recuperador de calor irá recuperar carga sensível, de forma a ter mais rendimento, e que terá de ter 60% de eficiência funcionando todos os meses do ano. O HAP não solicita este tipo de informação neste menu, mas o recuperador de calor considerado será do tipo fluxos cruzados, aproveitando o ar extraído dos espaços para pré-tratar o ar novo que é retirado do exterior e que será mais tarde insuflado nos espaços do edifício.

Os módulos seguintes a serem caracterizados foram os módulos que diziam respeito às baterias (*Cooling Coil* e *Heating Coil*), de arrefecimento e aquecimento, de acordo com a Figura 36 e Figura 37, respetivamente.

Foi estipulado que a bateria de arrefecimento entraria em funcionamento quando atingisse o *set-point* de 22 °C. Esta leitura é feita através de uma sonda colocada na conduta. É também imposto ao programa que a água será arrefecida no *chiller* que funcionará entre os meses de abril a setembro.

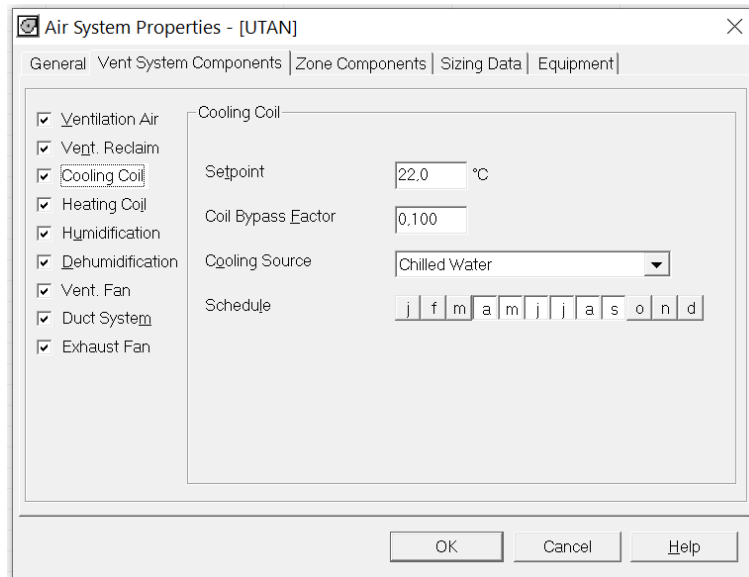


Figura 36 - Caracterização da bateria de arrefecimento da UTAN.

No aquecimento da água a informação a indicar foi idêntica. O *set-point* será de 20 °C e a água será aquecida através de uma bomba de calor que trabalhará nos meses mais frios do ano, entre outubro e janeiro do ano seguinte.

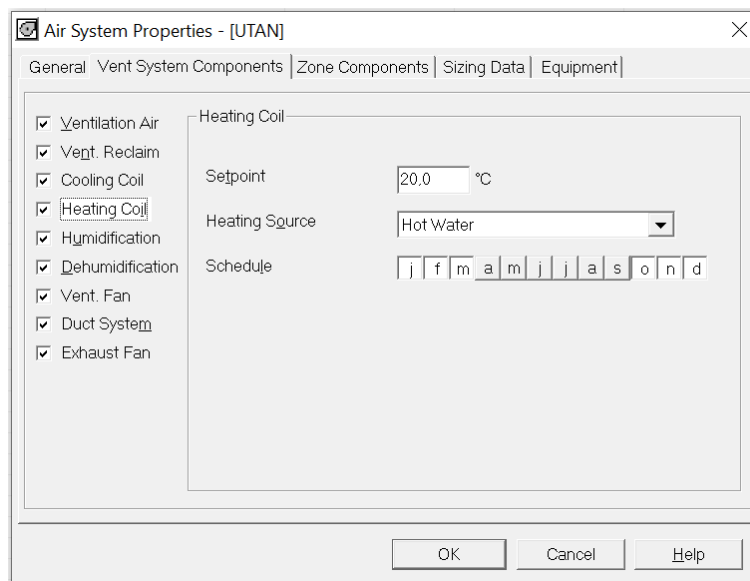


Figura 37 - Caracterização da bateria de aquecimento da UTAN.

Para o módulo da humidade relativa admissível (*Humidification*) admitiu-se o valor de 30%. O humidificador é do tipo resistência térmica que aquece a água de um reservatório gerando vapor de água, que posteriormente é injetado na UTAN. Considerou-se a potência de 0,8 kWh/kg, como se pode verificar na Figura 38.

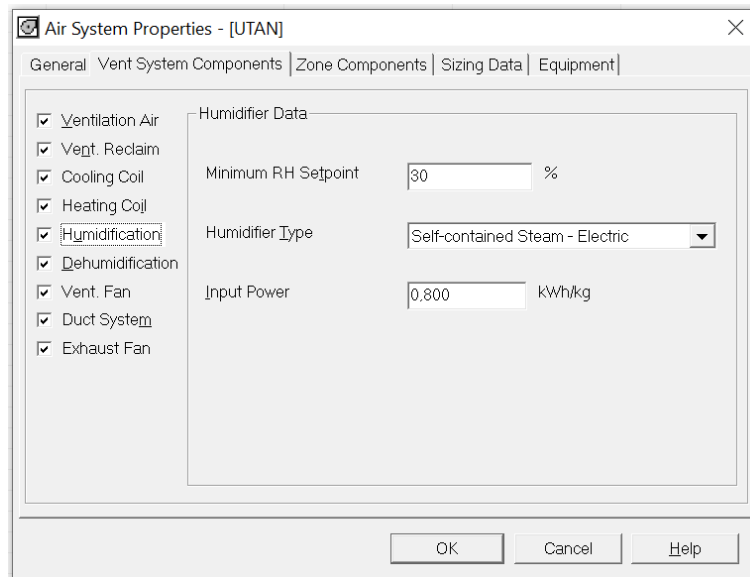


Figura 38 - Caraterização do humidificador da UTAN.

No separador seguinte (*Dehumidification*) definiu-se o valor máximo de humidade relativa, como sendo de 55% (ver Figura 39).

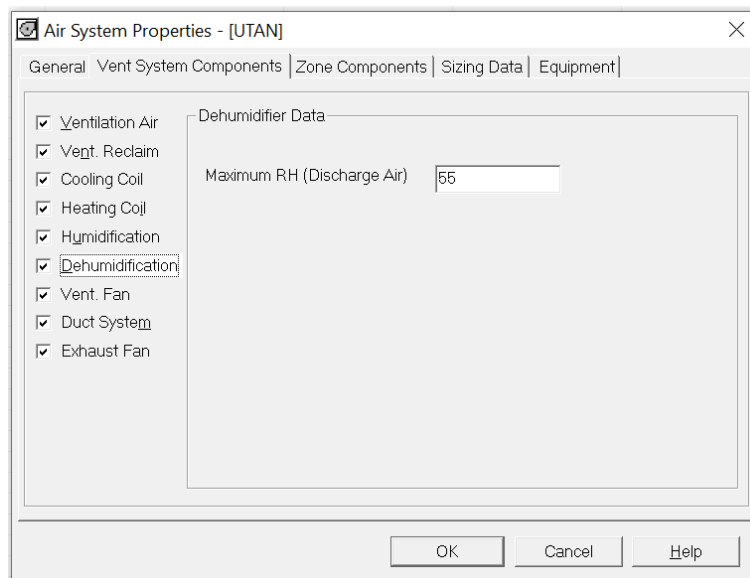


Figura 39 - Caraterização do desumidificador da UTAN.

Na definição dos parâmetros do ventilador de insuflação (*Ventilation Fan*), admitiu-se que se trataria de um ventilador com pás curvas com variador de frequência. A seleção deste tipo de variador foi importante pois com a acumulação de poeiras nos filtros pode ser necessário que a frequência do motor de insuflação aumente. Aliado a este aumento de poeiras, pode estar também a degradação de outros componentes da UTAN.

A pressão total estática foi calculada com base nas perdas de carga dos diferentes componentes da UTAN, definido pela EN 13779:2007, de acordo com a Tabela 17. Foi tido

em conta que o ventilador teria de vencer a carga da conduta, das baterias de aquecimento e arrefecimento, do recuperador de calor, do humidificador, do filtro e por fim das unidades terminais e gelhas de insuflação e extração.

Tabela 17 - Perdas de carga admissíveis no ventilador de insuflação (EN 13779:2007).

Componente	Perda de carga [Pa]
Rede de condutas ar novo	300
Bateria de aquecimento	80
Bateria de arrefecimento	140
Recuperador de calor	300
Humidificador	100
Filtro	250
Unidade terminal	50
Entrada e saída de ar	50

O ventilador de insuflação terá de vencer o valor de 1270 Pa, valor colocado no menu do HAP, como se pode visualizar pela Figura 40.

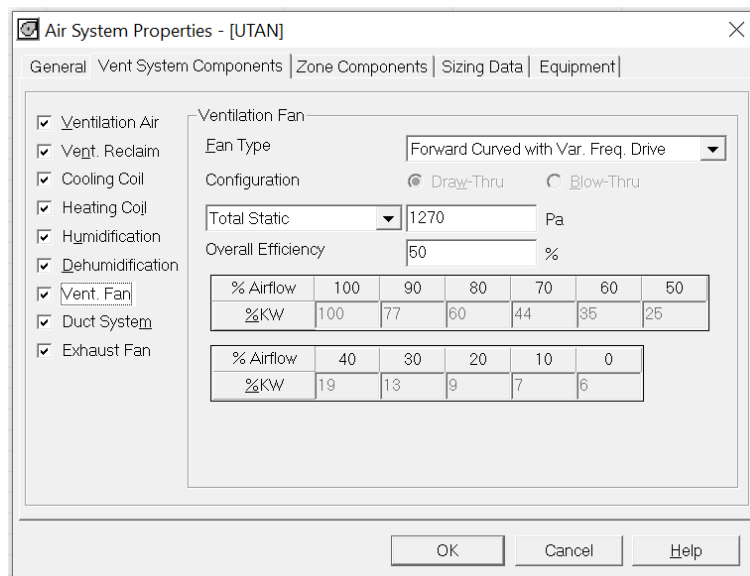


Figura 40 - Caracterização do ventilador de insuflação da UTAN.

Para o ventilador de extração (*Exhaust Fan*) o raciocínio foi idêntico, com alteração apenas no valor perdas de carga admissíveis. Na Tabela 18 podem ser observados os componentes considerados para a qual o ventilador de extração terá de ter capacidade de vencer.

Tabela 18 - Perdas de carga admissíveis no ventilador de extração (EN 13779:2007).

Componente	Perda de carga [Pa]
Rede de condutas de extração	300
Recuperador de calor	300
Filtro	250
Unidade terminal	50
Entrada e saída de ar	50

O valor obtido para o ventilador de extração e que o mesmo terá de vencer foi de 750 Pa (ver Figura 41).

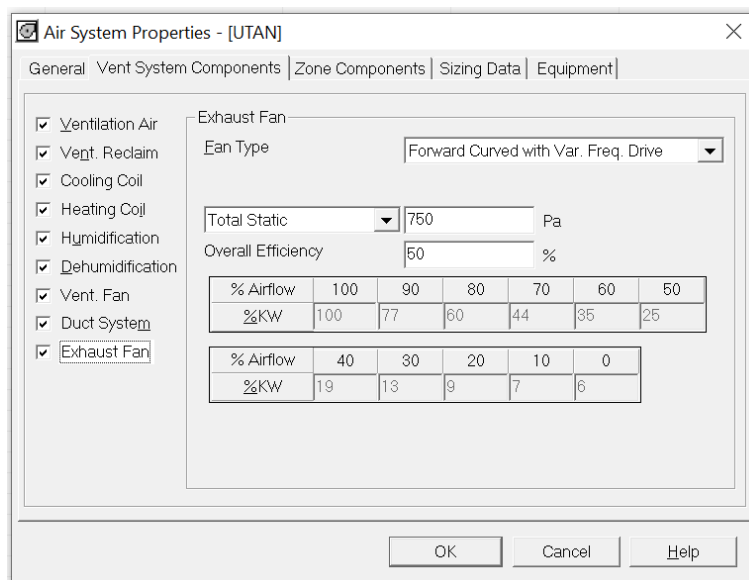


Figura 41 - Caracterização do ventilador de extração da UTAN.

A caracterização da UTAN segue-se com o modo de funcionamento dos equipamentos nos espaços, menu *Zone Components*. Este menu contém informação acerca dos componentes localizados nas zonas servidas pelo sistema. Este inclui unidades terminais, termostatos, unidades de aquecimento e arrefecimento, etc. O separador *Spaces* é importante para definir

os espaços associados a cada subsistema, dando nomes à respetiva sala. Deverão ser incluídos nesta lista todos os espaços abastecidos pela UTAN, quer tenham VC ou apenas ar novo. Esses espaços podem ser observados na Tabela 16.

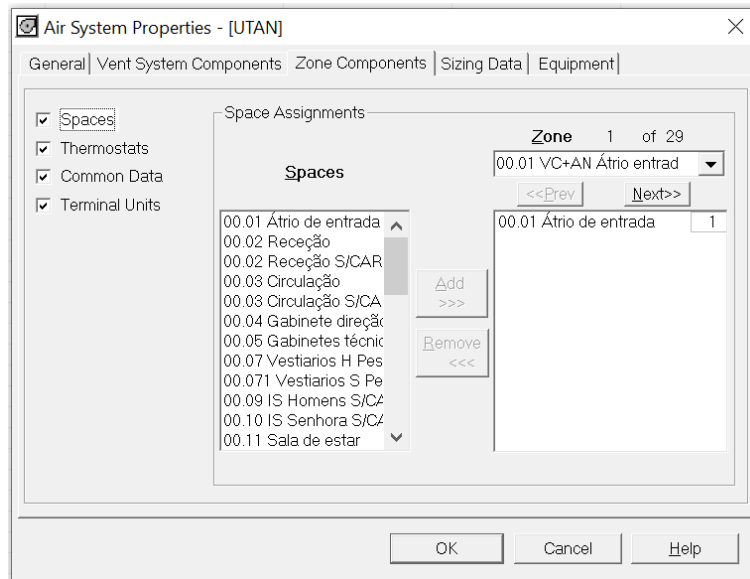


Figura 42 - Caracterização da UTAN no HAP - Menu Zone Components.

No separador foi definido o uso de termostato(s). Para este caso, apenas será usado 1 termostato que será comum a todas as salas, ou seja, na conduta de insuflação da UTAN antes de esta divergir para as salas abrangidas por esta unidade. Isto acontece porque a função da UTAN não é climatizar o espaço, mas sim introduzir ar novo na sala. Então a UTAN irá insuflar em todas as salas a mesma temperatura, sendo que o termostato é usado apenas para visualizar se esta temperatura de insuflação está a ser atingida. Foi então definido que o termostato era comum a todas as zonas, passando à definição dos set-points.

Para o estado de ocupação, foi definido como 23 e 22 °C para arrefecimento e aquecimento, respetivamente. Estes valores são selecionados pelo projetista de cada obra, mas para Portugal deverão rondar estes valores pois são as temperaturas médias de conforto. Para o estado de desocupação, são definidos como 26 e 20 °C para arrefecimento e aquecimento, respetivamente. Estes valores diferem do estado de ocupação por não ser necessário que a UTAN forneça ar novo a uma temperatura tão precisa como acontecia quando há pessoas no espaço. No *Thermostat Throttling Range* é definido um intervalo de temperatura para que a ventilação no espaço seja acionada. Isto significa que a máquina irá arrancar ou parar de acordo com o *set point* mas com margem de erro de 1 °C.

De acordo com a Figura 43, e como forma de exemplo, constata-se que quando o espaço estiver sem ocupação a ventilação irá arrancar quando a temperatura interior atingir os 26 °C no caso do arrefecimento. Segue-se a mesma ideologia para o estado de ocupação.

Para finalizar a caracterização do termostato foi necessário criar um horário (*Schedule*) para a UTAN e o respetivo ventilador. Dadas as características do edifício em questão, este termostato terá de ser capaz de agir em qualquer hora do dia e da semana pelo que não foi feita distinção entre dia e noite ou entre dia de semana e fim de semana. Este horário pode ser observado no Anexo D. Esta informação carregada no HAP está ilustrada na Figura 43

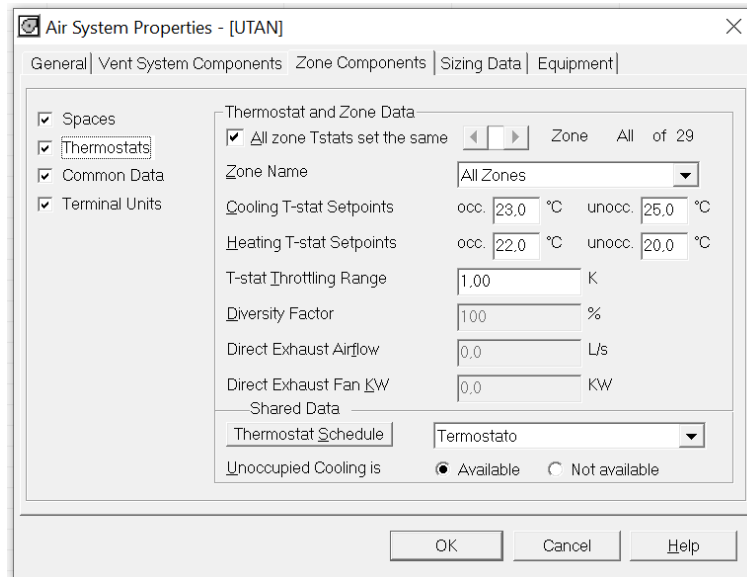


Figura 43 - Caracterização dos termostatos da UTAN.

O separado *Common Data* é referente às unidades terminais (VCs). Foi definido que a água arrefecida pelo *chiller* chega ao VC com uma temperatura de 14 °C, sendo que o fator de *bypass* da bateria é de 0,1, trabalhando todo o ano. Na Figura 44 é visível que para o aquecimento foi definido a temperatura de 30 °C, funcionando também todo o ano.

Foi selecionada a opção de *fan on* para que a ventilação e climatização do espaço, no estado de ocupado seja contínua.

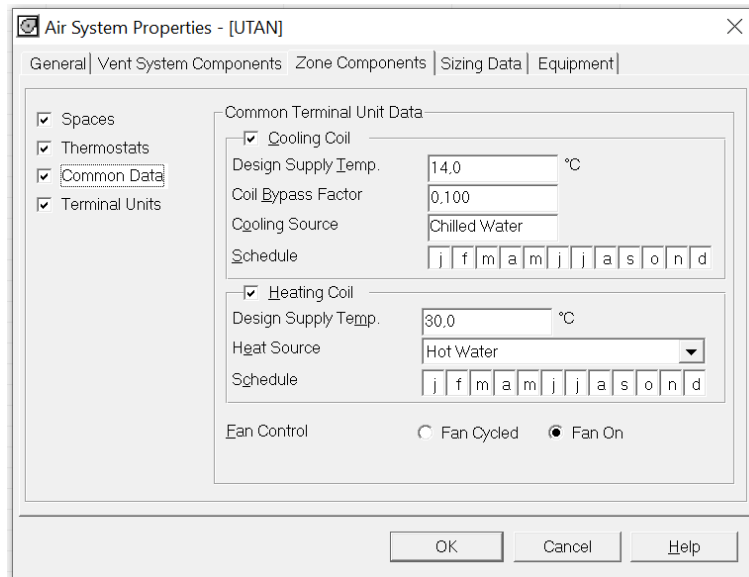


Figura 44 - Caracterização do abastecimento das unidades terminais da UTAN.

O próximo separador do menu *Zone Components* é o *Terminal Units*. Neste separador, apresentado na Figura 45, foi definido os espaços onde irá haver apenas injeção de ar novo e os espaços onde, para além de haver injeção de ar novo, também estará instalado um VC que permita a recirculação do ar do espaço. Nos espaços onde não irá haver VC, considerou-se que a pressão estática (*Total Static*) é 0 Pa. Isto irá permitir que a simulação do HAP reconheça que não existe VC no espaço.

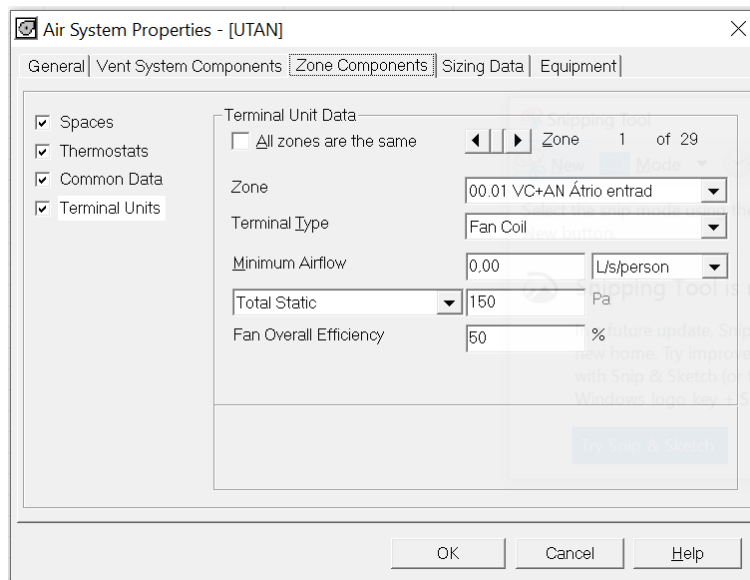


Figura 45 - Caracterização das unidades terminais da UTAN.

Por último, foi definido como 5 K o diferencial de temperatura no *chiller* e bomba de calor. Este separador está apresentado na Figura 46.

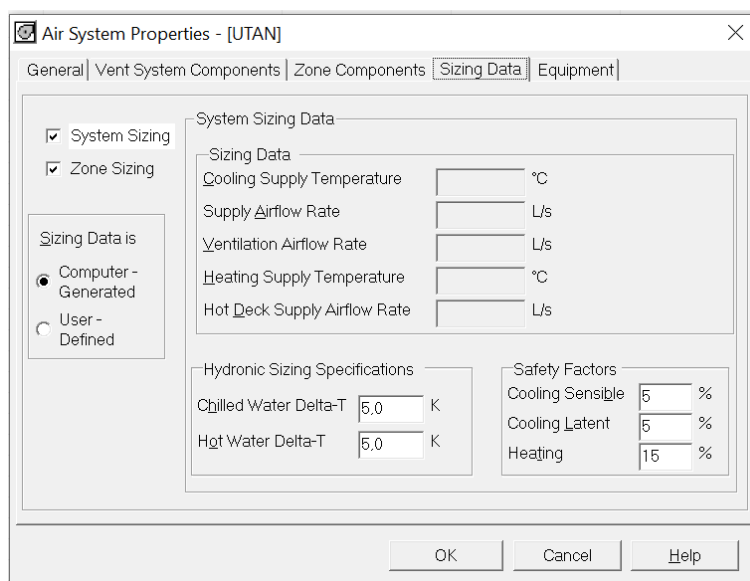


Figura 46 - Caracterização dos diferenciais de temperatura do sistema.

Após a caracterização da UTAN no *software* HAP iniciou-se a seleção do equipamento no *Sandometal Air Handling software (SAHS)*, da Sandometal. Começou-se por se introduzir os dados meteorológicos (condições) tanto para o Verão como para o Inverno, que já haviam ter sido colocados no HAP. Para a modulação da UTAN foram introduzidos os seguintes módulos:

- Filtro, quer na insuflação (à entrada e saída da UTAN) quer na extração (à entrada da UTAN);
- Ventilador de extração e de insuflação;
- Recuperador de calor (do tipo fluxos cruzados, conforme definido no HAP);
- Bateria de aquecimento e arrefecimento;
- Separador de gotas (será instalado após a bateria de arrefecimento e antes da bateria de aquecimento, para impedir que possíveis gotas criadas pela condensação da bateria afetem a bateria de aquecimento);
- Atenuador de som (imediatamente antes da insuflação, para que o som não se propague ao longo da restante conduta).

A Figura 47 ilustra a UTAN criada e originada pelo SAHS com a introdução dos módulos acima referidos.

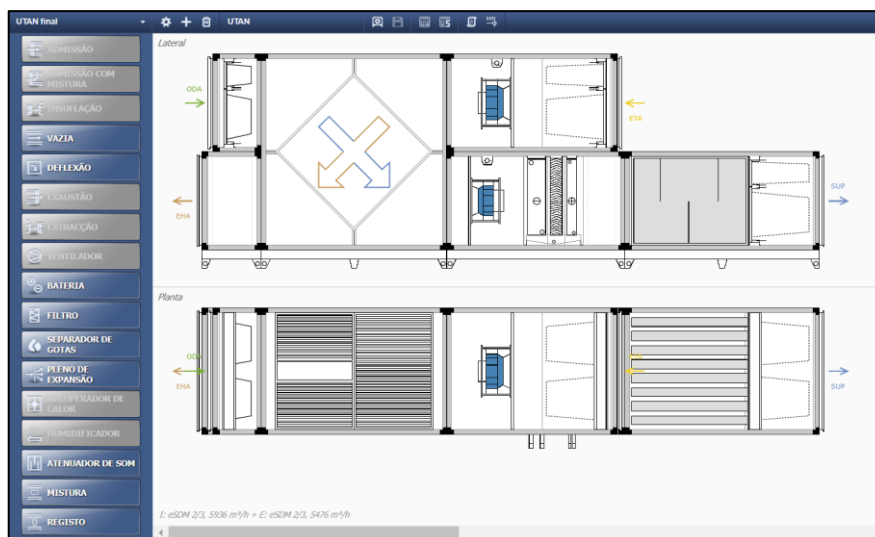


Figura 47 - Imagem representativa da UTAN criada pelo SAHS.

Após a introdução dos diferentes módulos da UTAN, especificaram-se alguns dados do equipamento tais como estrutura, caudais e outras opções a nível de base e cobertura.

Tendo a UTAN e as suas condições de funcionamento caracterizadas no SAHS é possível seleção do equipamento, sendo que o *software* irá dimensionar os módulos introduzidos. Neste processo foi tido em conta as perdas de carga teóricas, apresentadas na Tabela 17 e Tabela 18. No Anexo H pode ser observada a caracterização da UTAN e dos diferentes módulos após a seleção. Esta seleção teve apenas como finalidade o conhecimento acerca da dimensão da máquina por forma a validar o local previsto para a sua instalação, no Piso 1.

Para além da UTAN foi necessário estudar e projetar alguns equipamentos autónomos para a lavandaria. Devido à presença de equipamentos que proporcionam elevada carga térmica, foi necessário colocar um ventilador com grande capacidade de extração. Esta extração irá ser feita através de uma hote colocada sobre os equipamentos. A extração não será feita pela UTAN por forma a não ser necessário expandir a rede de condutas até ao piso -1. Em termos de ar novo, o mesmo é introduzido naturalmente no espaço através de uma grelha de porta permitindo a entrada de ar. Optou-se por esta solução por forma a evitar a construção de mais uma rede de condutas, tal como na extração. Para além da extração e da admissão de ar novo, foi necessário colocar um *split* para possibilitar a climatização do espaço visto o mesmo receber ar novo vindo do exterior sem qualquer tratamento térmico. Estes equipamentos serão selecionados no capítulo 3.7.2.

3.6.2 Chiller e bomba de calor

A UTAN irá abastecer todos os espaços com ar pré-tratado no que toca a temperatura. Para tal será usado um *chiller* e uma bomba de calor, para abastecer a UTAN de água arrefecida e água aquecida, respetivamente. Ambos os equipamentos estarão ligados à UTAN através de uma rede hidráulica que será ligada às baterias de aquecimento e arrefecimento, as quais posteriormente irão tratar o ar para a temperatura estabelecida no projeto. Para além de abastecer a UTAN, o *chiller* e a bomba de calor abastecerão também as unidades terminais em cada espaço, os VCs. Este equipamento (unidade terminal) irá ajustar a temperatura ambiente para os valores que o utilizador pretender no interior do espaço. Tal como na ligação à UTAN, também a ligação aos VCs será feita através de uma rede hidráulica que será dimensionada nos próximos capítulos.

Face a outra tecnologia, como por exemplo um sistema de expansão direta, o *chiller* apresenta algumas vantagens, como a facilidade de manutenção, devido à sua centralização, nível de ruído inferior, tempo de vida superior, entre outros. Para a seleção e dimensionamento destes equipamentos será necessário conhecer as potências de arrefecimento e aquecimento máximas simultâneas para o edifício.

Apesar de não ter sido projetado nem dimensionado um sistema de redundância a estes dois equipamentos, em fase de instalação esta redundância deve ser garantida.

3.6.3 Seleção e caracterização dos VCs, grelhas de insuflação e extração e filtros

Conforme foi dito no capítulo 3.6.1 a UTAN irá fornecer ar novo pré-tratado aos espaços. O tratamento do ar em cada uma das divisões irá ser efetuado pelo equipamento VC. Este equipamento receberá, tal como a UTAN, água arrefecida e água aquecida provenientes do *chiller* e da bomba de calor, que irá aplicar ao ar recirculado no espaço. O VC terá capacidade para recircular todo o ar insuflado no espaço através de um difusor distinto da insuflação proveniente da UTAN.

Paralelamente à instalação de VCs, todos os espaços que receberem ar novo proveniente da UTAN e/ou tenham extração, deverão dispor de uma grelha de insuflação ou difusor, e grelha de extração. As grelhas serão aplicadas em espaços onde a insuflação seja feita na parede, pois nos casos em que é no teto serão aplicados difusores (como será o caso dos corredores).

Para o dimensionamento destes equipamentos será tido em conta o caudal insuflado no espaço e o comprimento da projeção do ar (que equivale ao comprimento do espaço físico).

3.6.4 Dimensionamento aeráulico

Existem diversos métodos para dimensionamento de condutas, entre eles:

- Método de velocidade constante;
- Método de perda de carga constante;
- Método de recuperação estática.

O método de velocidade constante consiste em selecionar uma velocidade de saída de descarga do ventilador e estabelecer arbitrariamente uma série de reduções ao longo da conduta para que a velocidade se mantenha constante ao longo de toda a conduta. A velocidade inicial não deve exceder os limites definidos para cada tipo de edifício. A pressão estática no ventilador determina-se através do cálculo do caminho mais crítico que o ar percorre, isto é, desde a saída no ventilador até ao ponto mais desfavorável/distante de toda a rede de condutas, tendo em conta todos os seus acessórios como curvas, reduções, entre outros (Company, 1980). Geralmente este método é utilizado em sistemas bastante simples, sem ramificações de condutas ou com um número muito reduzido de ramificações.

O método de perda de carga constante utiliza-se em condutas de insuflação, retorno e extração de ar e consiste em dimensionar as condutas de forma que a perda de carga se mantenha constante por unidade de comprimento em todo o sistema.

O método de recuperação estática é bastante mais preciso que os anteriores e deve ser utilizado em sistemas de condutas que tenham alguma complexidade. Este método considera que a conduta deve ser dimensionada de forma a que o aumento de pressão estática (derivado da redução de velocidade) compense as perdas de pressão devido ao atrito nas paredes da conduta da seção seguinte, e desta forma garante que a pressão estática seja praticamente a mesma em toda a rede de condutas. Este método permite um maior equilíbrio numa instalação, reduzindo a perda de carga, o que impacta diretamente na seleção do ventilador, que será de menor potência (Roriz, 2007).

Tanto para a insuflação como para a extração foi projetada uma rede de condutas por forma a poder calcular e dimensionar as suas secções e por fim calcular as perdas de carga. Ambas as redes podem ser observadas no Anexo I, assim como o diagrama P&ID. Este diagrama

tem como objetivo explicar de forma mais ilustrativa o princípio de funcionamento da instalação. Para a insuflação, e dada a complexidade da instalação, o método selecionado para o dimensionamento das condutas foi o método da recuperação estática.

Sabendo que o caudal inicial proveniente da UTAN é de 1649 l/s (este valor provém do somatório dos valores de ar novo indicados na Tabela 16), e assumindo a velocidade inicial de 10 m/s determina-se a secção através da Equação 8. Este valor foi assumido tendo por base a velocidade máxima admissível sem que o ruído tenha influência ao nível do conforto, velocidades essas que podem ser observados no *Handbook Funsamentals (2017)*.

$$A = \frac{\dot{V}}{v_i} \quad (8)$$

Onde:

- A - Secção [m²];
- \dot{V} - Caudal de ar novo [m³/s];
- v_i - Velocidade inicial [m/s].

Conhecendo o valor da secção, que neste caso será de 0,16 m², e com o auxílio da referência *Manual de Aire Condicionado (1980)*, determina-se que a seção inicial da conduta será de 750x250 mm.

Até à primeira derivação, a conduta inicial apresenta um comprimento de 7,3 m (ver Anexo I) que, adicionando as duas curvas nela presentes, origina um comprimento (L) equivalente de 4,66 m. O comprimento equivalente das curvas foi determinado através da referência *Manual de Aire Condicionado (1980)*.

Tendo em conta o caudal de ar depois da derivação (L) e o comprimento equivalente até à derivação (Q), o método de recuperação estática determina a relação L/Q através da *Manual de Aire Condicionado (1980)*.

Sabendo o valor da relação L/Q que neste caso é de 0,32 é possível, através da referência *Manual de Aire Condicionado (1980)*, criar um ponto que resulta do cruzamento do valor da relação L/Q (linhas curvas) com a velocidade do ar antes da derivação (eixo horizontal), determinando assim a velocidade final no troço (que representa também a velocidade inicial no troço seguinte). Esse valor será de 7,8 m/s que representará também um valor de recuperação estática de 1,90 mm ca (1 mm de coluna de água que representa 9,8 Pa).

O método repete-se tendo como velocidade inicial o valor calculado anteriormente.

Em termos de projeto, e por forma a simplificar o cálculo, foi determinada a velocidade nos ramais críticos da conduta, que serão os pontos 14, 15 e 16 (ver Anexo I), obtendo-se o valor de 2,7 m/s. Esta velocidade origina uma secção de 250x150 mm. Este valor de secção e velocidade serão assumidos para todos os restantes ramais terminais. Para se obter este valor considerou-se todos os acessórios que a conduta possui até à chegada a estes pontos. Por forma a simplificar a instalação das condutas no terreno em fase de obra, de uma derivação para outra, manteve-se sempre a altura de conduta. O dimensionamento da rede aerúlica de insuflação pode ser observado com mais detalhe no Anexo J.

No caso da extração, o método usado para o dimensionamento das condutas de extração foi o método de perda de carga constante, assumindo o valor de 0,8 Pa/m. O cálculo foi efetuado tendo em conta o caudal que é transportado em cada troço e o valor de perda de carga definido por metro linear, determinando no final o diâmetro nominal que a conduta terá de ter. Este procedimento foi efetuado com o auxílio do gráfico da Figura 9 do capítulo 21 do livro (ASHRAE, Handbook Fundamentals, 2017).

Depois de ser conhecido o diâmetro nominal, que é originado pelo cruzamento do caudal e da perda de carga, recorre-se à referência *Manual de Aire Condicionado (1980)* para determinar a seção da conduta. O dimensionamento da rede aerúlica de extração pode ser observado com mais detalhe no Anexo K.

Por forma a selecionar o ventilador de insuflação da UTAN foi necessário calcular as perdas de carga em toda a tubagem. Para isso foi necessário recorrer ao traçado de condutas para contabilizar os acessórios neste cálculo. No final apenas o caminho crítico será utilizado para o dimensionamento e seleção dos ventiladores (insuflação e extração). Para a realização do cálculo das perdas de carga nos acessórios recorreu-se ao manual *Handbook Fundamentals (2009)*, mais propriamente ao capítulo 21, que aborda as perdas de carga em diversos tipos de acessórios. A Figura 48 ilustra alguns dos acessórios utilizados na conduta de insuflação, t \hat{e} 45 $^{\circ}$, curva de 90 $^{\circ}$ e cruzeta que distribui o ar em 4 direções distintas.

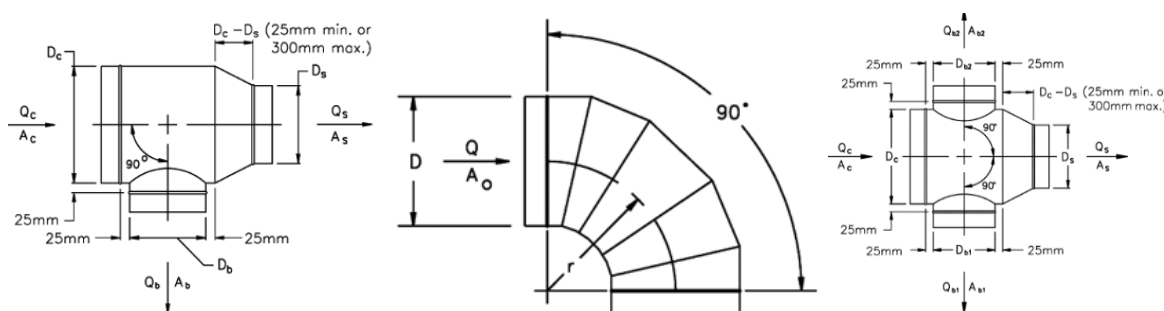


Figura 48 - Acessórios da conduta de insuflação (ASHRAE, Handbook Fundamentals, 2017).

Para além dos acessórios acima mencionados, também o comprimento dos diversos troços e as grelhas de insuflação das unidades terminais (abordadas no capítulo 3.6.3) foram tidos em conta. Informações como caudais, área, velocidade e seção *standard* estiveram na base deste cálculo. Os valores finais, por troço, das perdas de carga na insuflação estão apresentados no Anexo L e apresentam o valor de 195,5 Pa no que ao caminho crítico diz respeito.

O método de cálculo para a determinação das perdas de carga nas condutas de extração foi idêntico às perdas de carga da insuflação. Os seus valores podem ser observados no Anexo M, sendo que o valor da perda de carga do caminho é inferior ao da insuflação, mais propriamente 131,7 Pa.

3.6.5 Dimensionamento hidráulico

Como foi referido no capítulo 3.6.2, o *chiller* e a bomba de calor irão também abastecer os VCs, sendo para tal necessário dimensionar as tubagens hidráulicas. Para auxiliar o dimensionamento, foi necessário recorrer ao programa HAP por forma a obter o caudal de água necessário para o VC de cada espaço, seja para arrefecimento ou aquecimento. O caudal de água obtido e necessário para cada espaço encontra-se listado na Tabela 19.

Tabela 19 - Caudal de água necessária em cada espaço.

Sala nº	Nome da Sala	Caudal de Água (L/s)	
		Água Fria	Água Quente
00.01	Átrio de entrada e zona de espera	0,07	0,03
00.02	Receção	0,03	0,01
00.04	Gabinete de direção/sala de trabalho	0,07	0,02
00.05	Gabinete técnicos	0,05	0,01
00.07	Vestiários H pessoal	0,01	0,01
00.071	Vestiários S pessoal	0,03	0,01
00.11	Sala de estar	0,18	0,04
00.12	Sala de refeições	0,20	0,06
00.15	Quarto duplo 00.15	0,07	0,01
00.16	Quarto duplo 00.16	0,06	0,01

Sala nº	Nome da Sala	Caudal de Água (L/s)	
		Água Fria	Água Quente
00.18	Quarto duplo 00.18	0,07	0,01
00.19	Quarto duplo 00.19	0,06	0,02
00.21	Quarto duplo 00.21	0,06	0,02
00.22	Quarto duplo 00.22	0,07	0,02
01.01	Quarto duplo 01.01	0,06	0,02
01.02	Quarto individual 01.02	0,04	0,02
01.04	Quarto individual 01.04	0,07	0,02
01.05	Quarto duplo 01.05	0,09	0,03
01.07	Quarto duplo 01.07	0,09	0,03
01.08	Quarto duplo 01.08	0,09	0,03
01.10	Sala de estar	0,09	0,03
01.11	Quarto individual 01.11	0,04	0,02
01.12	Quarto individual 01.12	0,04	0,02
01.14	Vigilante	0,05	0,01

Os valores apresentados na Tabela 19 foram introduzidos numa folha de cálculo que pode ser analisada com mais detalhe no Anexo N. Também neste anexo é possível visualizar a distribuição da rede hidráulica assim como o seu esquema de principio (diagrama P&ID). O dimensionamento hidráulico é tido em conta algumas características, tais como: o comprimento da tubagem em cada troço, o diâmetro nominal, o tipo de material entre outras.

A temperatura da água e a perda de carga linear em cada troço são duas propriedades que foram necessárias caracterizar. A temperatura da água considerada na fase de arrefecimento foi de 9,5 °C, sendo que na fase de aquecimento foi de 37,5 °C. No caso da perda de carga linear, diretamente proporcional ao diâmetro da tubagem, teve-se em conta que cada troço não ultrapassava o valor de 250 Pa/m.

Para a seleção das bombas circuladoras do *chiller* e bomba de calor foram considerados os valores de perda de carga dos troços até ao ponto crítico, que neste caso é o ponto mais

distante/desfavorável da instalação. Para a tubagem de água fria a perda de carga do caminho crítico apresenta o valor de 142,3 kPa sendo que para a de água quente o valor é 60,6 kPa.

Outro valor que se obterá também no final do cálculo hidráulico será o volume total de água de ambos os circuitos que será utilizada mais tarde para a seleção dos depósitos.

3.7 Seleção do equipamento

Visto serem conhecidos todos os equipamentos necessários para a climatização do espaço pôde-se então seleccioná-los de acordo com as necessidades. Os próximos subcapítulos irão apresentar detalhadamente o dimensionamento de cada um dos equipamentos bem como a sua seleção recorrendo ao existente no mercado. Em forma de resumo, na Tabela 20 estão consolidados os valores determinados em todo o capítulo 3.6, alguns deles teóricos conforme nota.

Tabela 20 - Valores determinados nos capítulos anteriores.

Caudal a insuflar através da UTAN (pisos 0 e 1)	1649 L/s
Caudal a extrair através da UTAN (pisos 0 e 1)	1521 L/s
Perda de carga da insuflação*	1270 Pa
Perda de carga da extração*	750 Pa
Perda de carga da insuflação (caminho crítico)	195,5 Pa
Perda de carga da extração (caminho crítico)	131,7 Pa
Perda de carga do circuito água fria (caminho crítico)	142,3 kPa
Perda de carga do circuito água quente (caminho crítico)	60,6 kPa

*Valor teórico tendo em conta os valores aplicados.

3.7.1 Unidade de tratamento de ar, chiller e bomba de calor

De modo criar a seleção final do equipamento, voltou-se a repetir a simulação no programa SAHS mas desta vez com as perdas de carga determinadas no Capítulo 3.6.4 (perda de carga do caminho crítico, que será essencial para a seleção das bombas circuladoras).

Dada ser a seleção real, foram feitas diversas iterações no *software* até se obter velocidades de escoamento nas baterias entre 1,5 e 2 m/s e valores do fator SFP (*specific fan power*) que ronde os 1000 W/(m³/s). Esta seleção final pode ser analisada em detalhe no Anexo O.

Tendo a UTAN selecionada partiu-se para a seleção do *chiller* e bomba de calor que irão abastecer água arrefecida e água aquecida tanto à UTAN como aos VCs. Por forma a se conhecerem os valores de potência que estes dois equipamentos têm de superar, recorreu-se mais uma vez ao *software* HAP para realizar uma simulação. Para tal foi necessário criar no programa uma central térmica para o aquecimento e outra para o arrefecimento. A única informação que teve de ser dada ao programa foi a fonte de produção da água arrefecida e aquecida, assim como os equipamentos que ambas as centrais iam abastecer, neste caso apenas a UTAN. Esta simulação resulta num relatório onde é indicada a potência máxima do edifício em questão, quer para o aquecimento quer para o arrefecimento, sendo elas:

- Carga máxima de arrefecimento – 65 kW;
- Carga máxima de aquecimento – 25,5 kW.

Dada a carga máxima no arrefecimento, selecionou-se o modelo 30RBSY70 da marca de referência *Carrier*, uma vez que tem uma capacidade nominal de 66,2 kW. Como se pode observar pela Figura 50, as condições de entrada e saída da água no evaporador de frio são 12 °C e 7 °C, respetivamente.



Figura 49 - Chiller Carrier modelo 30RBSY70 (Carrier, Heating, Ventilation and Air Conditioning, 2019).

30RBSY			39	45	50	60	70	80	90	100	120	140	160		
Cooling															
Standard unit	CA1	Nominal capacity	kW		39,6	44,0	51,2	58,1	66,2	77,7	86,7	97,1	114,4	132,8	153,4
		EER	kW/kW		2,89	2,78	2,66	2,68	2,66	2,63	2,69	2,70	2,66	2,64	2,58
Full load performances*	CA2	Eurovent class			A	A	B	B	B	B	A	B	B	B	
		Nominal capacity	kW		53,0	58,9	68,5	80,8	83,6	97,0	114,3	126,5	150,8	168,9	191,7
Seasonal efficiency		EER	kW/kW		3,47	3,35	3,11	3,33	2,89	2,97	3,13	3,06	3,09	2,91	2,92
		SEER _{12/7°C} Comfort low temp.	kWh/kWh		3,83	3,99	4,04	4,00	3,80	3,89	4,00	4,03	4,02	4,23	4,41
		IJS cool _{12/7°C}	%		150	156	158	157	149	152	157	158	158	166	173
		SEER _{23/18°C} Comfort medium temp.	kWh/kWh		4,63	4,94	4,76	4,80	4,59	4,94	4,99	4,79	5,13	4,99	5,37
		SEPR _{12/7°C} Process high temp.	kWh/kWh		5,68	5,71	5,50	5,35	5,17	5,24	4,94	5,14	5,62	5,13	5,60
		SEPR _{-2/-8°C} Process medium temp.	kWh/kWh		3,29	3,70	3,21	3,11	3,55	3,05	3,14	3,43	3,44	3,40	3,30
Integrated Part Load Value		IPLV.SI	kW/kW		3,69	3,89	3,99	3,95	3,66	3,78	3,52	3,61	3,76	3,69	4

Figura 50 - Dados técnicos do chiller selecionado (Carrier, Heating, Ventilation and Air Conditioning, 2019).

Há possibilidade deste equipamento ter incorporado uma bomba de circulação, contudo a seleção desta foi feita separadamente, recorrendo aos valores de perda de carga em ambos os circuitos (arrefecimento e aquecimento). Recorreu-se à marca *Grundfos* e ao simulador que a marca disponibiliza.

Para a seleção da bomba de calor recorreu-se à mesma marca e ao mesmo procedimento, obtendo então o modelo 61AF035, representado na Figura 52, com uma potência nominal de 32 kW para as condições de aquecimento em que a água entra e sai no permutador a 40 °C e 45 °C, respetivamente.



Figura 51 - Bomba de calor Carrier modelo 61AF035 (Carrier, Heating, Ventilation and Air Conditioning, 2019).

61AF			022	030	035	045	055	075	105		
Heating											
Standard unit	HA1	Nominal capacity	kW		20,6	25,9	32,3	43,6	51,6	64,9	102
		COP	kW/kW		4,07	3,97	3,99	4,31	4,35	3,98	4,25
Full load performances*	HA2	Nominal capacity	kW		20,6	25,5	32,0	43,1	51,8	66,8	102
		COP	kW/kW		3,43	3,33	3,31	3,59	3,66	3,43	3,59
	HA3	Nominal capacity	kW		20,7	25	31,6	42,8	52,3	68	102
		COP	kW/kW		2,99	2,9	2,88	3,14	3,19	3,01	3,13
	HA4	Nominal capacity	kW		20,9	24,5	31,3	42,7	53,3	68,1	103,4
		COP	kW/kW		2,50	2,43	2,41	2,64	2,68	2,54	2,64

Figura 52 - Dados técnicos da bomba de calor selecionada (Carrier, Heating, Ventilation and Air Conditioning, 2019).

Tanto os dados técnicos do *chiller* como da bomba de calor podem ser observados no Anexo P.

3.7.2 Equipamentos do circuito aerúlico

Para além da UTAN irão ser necessários mais alguns equipamentos autónomos no edifício, mais propriamente para a lavandaria. Devido à presença de equipamentos que proporcionam elevada carga térmica, foi necessário colocar um ventilador com grande capacidade de extração. Esta extração irá ser feita através de uma hote colocada sobre os equipamentos. O espaço tem necessidade de extrair um caudal de 270 l/s que equivalem a 972 m³/h. Este valor foi obtido através da (DGIES, 2005) que informa que um espaço desta natureza deve ter cerca de 15 renovações por hora (de acordo com a sua área e volume). Para a seleção deste ventilador de extração recorreu-se à uma marca de referência na área da ventilação, a SODECA.

Foi selecionado o modelo CJK/EC-250, ilustrado na Figura 53, que tem capacidade de extração máxima de 1455 m³/h. As características mais detalhadas podem ser observadas no Anexo Q.



Figura 53 - Ventilador de extração da lavandaria. Marca SODECA, modelo CJK/EC-250 (Sodeca, 2021).

O ar novo é introduzido naturalmente no espaço através de uma grelha de porta com as dimensões 625x325mm, permitindo uma entrada de caudal até 1851 m³/h. Neste caso em específico, a necessidade de ar novo é de apenas 792 m³/h. Optou-se por esta solução por forma a evitar a construção de mais uma rede de condutas. Esta grelha foi selecionada através do *software Easy Product Finder* da TROX e pode ser observada com mais detalhe no Anexo R.

Na lavandaria, para além da extração, foi necessário colocar um *split* para possibilitar a climatização do espaço visto o mesmo receber ar novo vindo do exterior sem qualquer

tratamento térmico. Visto a necessidade de ar novo no espaço ser satisfeita pela grelha de porta, o critério para seleção do equipamento foi apenas o caudal admissível, caudal esse que será recirculado o ar presente no espaço. Recorreu-se então ao mercado e selecionou-se um *split* da marca Daikin com unidade interior e exterior, modelos FTKM71PVM e RKM71PVMG, respetivamente. Este equipamento terá capacidade de recircular, no máximo, 1093 m³/h.

A seleção dos VCs foi feita com base na potência sensível máxima de cada espaço e o nível de ruído permitido para cada um deles. Para se saber estes valores foi necessário recorrer ao HAP e à norma EN 15251:2007 que determina o nível sonoro admissível para diferentes tipos de espaços. Esta norma não indica valores para todo o tipo de espaços deste edifício em concreto, por isso tiveram de ser assumidas algumas considerações, conforme listado na Tabela 21.

Tabela 21 - Ruído admissível e carga sensível máxima em cada espaço.

Sala n°	Nome da Sala	Ruído admissível (dBA) pela norma EN15251	Potência sensível máxima (kW)
00.01	Átrio de entrada e zona de espera	40 (Átrio de entrada)	1,8
00.02	Receção	40 (Átrio de entrada)	0,6
00.04	Gabinete de direção/sala de trabalho	35 (Pequenos gabinetes)	1,6
00.05	Gabinete técnicos	35 (Pequenos gabinetes)	1,1
00.07	Vestiários H pessoal	45 (Casa de banho)	0,4
00.071	Vestiários S pessoal	45 (Casa de banho)	0,7
00.11	Sala de estar	40 (<i>Lobbies</i>)	4,2
00.12	Sala de refeições	40 (Cafetarias)	4,3
00.15	Quarto duplo 00.15	30 (Quarto de hotel)	1,5
00.16	Quarto duplo 00.16	30 (Quarto de hotel)	1,4

Sala n°	Nome da Sala	Ruido admissível (dBa) pela norma EN15251	Potência sensível máxima (kW)
00.18	Quarto duplo 00.18	30 (Quarto de hotel)	1,6
00.19	Quarto duplo 00.19	30 (Quarto de hotel)	1,5
00.21	Quarto duplo 00.21	30 (Quarto de hotel)	1,5
00.22	Quarto duplo 00.22	30 (Quarto de hotel)	1,5
01.01	Quarto duplo 01.01	30 (Quarto de hotel)	1,5
01.02	Quarto individual 01.02	30 (Quarto de hotel)	1
01.04	Quarto individual 01.04	30 (Quarto de hotel)	1
01.05	Quarto duplo 01.05	30 (Quarto de hotel)	2
01.07	Quarto duplo 01.07	30 (Quarto de hotel)	2
01.08	Quarto duplo 01.08	30 (Quarto de hotel)	2
01.10	Sala de estar	40 (<i>Lobbies</i>)	2,2
01.11	Quarto individual 01.11	30 (Quarto de hotel)	1
01.12	Quarto individual 01.12	30 (Quarto de hotel)	1
01.14	Vigilante	30 (Quarto de hotel)	1

Na Tabela 21, para além do ruído admissível, também é possível observar a potência de arrefecimento sensível máxima em cada espaço. Estes valores foram obtidos através do software HAP e dos relatórios originados na caracterização da UTAN. Simularam-se as unidades terminais abastecidas pela UTAN obtendo valores tais como: potência sensível máxima, caudal mínimo e de projeto, data do pico da carga térmica, carga térmica máxima, características das serpentinas durante o arrefecimento e o aquecimento, entre outros. Estes valores podem ser observados no Anexo S.

Recorrendo à marca *Sistemair*, selecionaram-se os VC's para cada espaço, tendo sempre em conta as características de potência sensível máxima de cada espaço e o nível de ruído permitido.

Servindo de exemplo, o gabinete técnico (espaço 00.05) foi, em termos de ruído admissível, equiparado a um pequeno gabinete (de acordo com a norma EN 15251) assumindo um valor máximo de 35 dB(A). Já em termos de potência sensível, este espaço apresenta o valor máximo de 1,1 kW. O VC selecionado terá então de cumprir estas duas características.

Selecionou-se um sistema a 4 tubos, por forma a permitir aquecimento e arrefecimento em simultâneo, e que cumprisse ambos os critérios anteriores. Importante referir que apesar de não ser o fator mais determinante na seleção do equipamento, o caudal mínimo necessário no espaço também tem de ser garantido. Optou-se pelo modelo de VC VH07 da marca *Sistemair* que apresenta as seguintes características na velocidade média:

- 32,8 dBA de nível sonoro;
- 648 m³/h de caudal;
- 2885 W de potência sensível.

Os modelos dos VC's atribuídos a todos os espaços podem ser observados no Anexo T sendo que os dados completos dos respetivos modelos dos VCs podem ser observados no Anexo U.

As grelhas de insuflação, extração e os difusores foram dimensionadas e selecionadas através do *software Easy Product Finder 2* desenvolvido pela *TROX Technik*. Este *software* permite introduzir dados relativos ao espaço tais como o caudal a insuflar/extrair, distância mais próxima a uma parede, distância mais próxima a outra grelha e altura do alcance do fluxo de ar (assumindo a altura do indivíduo de 1,80 m). Estes dados foram obtidos através dos valores da Tabela 16 (para se obter os valores de ar novo e extração) e do Anexo B (para se obter valores de distâncias através da arquitetura). Permite também selecionar o tipo de grelha desejado, tal como ilustra a Figura 54.



Figura 54 - Tipos de difusores disponíveis no software Esay Product Finder 2 (Technik, 2019).

Mais uma vez dando como exemplo o gabinete técnico (espaço 00.05), sabe-se através da Tabela 16, que o gabinete necessita de 36 l/s de ar novo e não requer extração. Com a introdução de VC no espaço, o valor considerado para a insuflação passou a ser 180 l/s, valor esse que a grelha terá de ser capaz de insuflar no espaço. No final após a introdução de todos os espaços, o *software* apresenta um ficheiro PDF resumindo os dados introduzidos, assim como as características técnicas da grelha como ilustra a Figura 55.


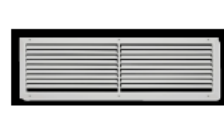
 <p>TROX[®] TECHNIK The art of handling air</p>	<p>Easy Product Finder</p>	<p>Date: 09.04.2020 / PT Lar de Idosos Gab técnico \ Insuflação</p>												
<hr/>														
<p style="text-align: center;">TR-AG/425x225/A1/C11</p>														
	<p>Rear assemblies Length Height Installation subframe Fixing Total amount</p>	<table border="0"> <tr> <td>AG</td> <td>Opposed blade action volume control damper</td> </tr> <tr> <td>425</td> <td></td> </tr> <tr> <td>225</td> <td></td> </tr> <tr> <td>A1</td> <td>With</td> </tr> <tr> <td>C11</td> <td>With concealed screw fixing</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td></td> </tr> </table>	AG	Opposed blade action volume control damper	425		225		A1	With	C11	With concealed screw fixing	1	
AG	Opposed blade action volume control damper													
425														
225														
A1	With													
C11	With concealed screw fixing													
1														

Figura 55 - Características técnicas da grelha de insuflação do gabinete técnico.

No Anexo R estão apresentadas todas as grelhas e difusores de insuflação, e as grelhas de extração selecionadas para os espaços do edifício que necessitam deste equipamento. Alguns espaços do edifício como instalações sanitárias e a lavandaria, no piso -1, receberão ar novo através de grelhas instaladas na porta. Para estes casos apenas é necessário indicar o caudal a transferir (Tabela 16) e selecionar a dimensão da grelha de acordo com a respetiva porta (ver Anexo B).

3.7.3 Equipamentos do circuito hidráulico

Para além das tubagens, dimensionadas no Capítulo 3.6.5, foi também necessário contabilizar no cálculo do circuito hidráulico os acessórios presentes em cada troço da tubagem. Os acessórios a ter em conta foram:

- Uma válvula de equilíbrio dinâmico em cada VC (unidades terminais) na tubagem de ida ao equipamento;
- Uma válvula macho-esférico, na ida e retorno ao equipamento;
- Um filtro em Y em algumas tubagens principais;
- Uma junta antivibrática na saída do *chiller* e bomba de calor.

As válvulas de equilíbrio dinâmico são usadas nas tubagens de alimentação dos equipamentos das unidades terminais (VCs), bem como nos equipamentos centrais (UTAs). Este acessório garante que o fluxo de água que chega à unidade terminal nunca ultrapassa o valor nominal de projeto. A válvula da Figura 56 ilustra uma válvula de equilíbrio dinâmico.



Figura 56 - Válvula de equilíbrio dinâmico (Solutions C. H., Válvulas de Balanceamento - Série 130, 2017).

Para além das válvulas de equilíbrio dinâmico, a tubagem de ida à unidade terminal também estará equipada com uma válvula do tipo macho esférico (ver Figura 57), assim como a tubagem de retorno da unidade terminal. Este tipo de válvula permite um seccionamento dos troços entre as válvulas instaladas que podem ser usadas para diversas intervenções como manutenção de um equipamento/acessório ou mesmo a reparação de uma fuga de água na tubagem.



Figura 57 - Válvula macho-esférico (Genebre, Art. 3023 - Ball valve for mounting actuator, 2018).

Serão instalados filtros em Y a montante das bombas circuladoras. Tal como o nome indica, e como mostra a Figura 58, tem o formato da letra Y e tem como principal função a filtração de resíduos sólidos do fluido que por ele passa. Tem, portanto, de ser instalado virado para baixo para que os resíduos fiquem armazenados na matéria filtrante, que pode ser limpo através da sua tampa.



Figura 58 - Filtro em Y (Genebre, Art. 3302 - "Y" Type brass strainer filter, 2018).

Serão instaladas juntas antivibráticas nas ligações ao *chiller*, bomba de calor e bombas circuladoras, por forma a evitar propagação de vibrações ao longo das restantes tubagens e assim prolongar o tempo de vida útil dos demais componentes mecânicos do circuito. Encontram-se no mercado em diversos materiais, como totalmente metálicos ou em borracha, como ilustrado na Figura 59.



Figura 59 - Junta antivibrática (Sferaco, 2020).

Cada um dos circuitos hidráulicos é composto por um primário e um secundário, ou seja, produção e distribuição de água arrefecida e aquecida, respetivamente. O que irá separar estes dois circuitos será um depósito de inércia. Este reservatório de inércia pode controlar o arranque/paragem dos *chillers*, pois o tamanho do reservatório determina o intervalo de tempo entre cada paragem e arranque. Um reservatório pequeno determina um intervalo curto entre a paragem e o arranque do *chiller*.

O *chiller* e bomba de calor selecionados têm incorporado um pequeno módulo de bombagem que garante a circulação entre o depósito de inércia e o *chiller*/bomba de calor. A Figura 60 ilustra o modo de funcionamento deste sistema, onde é possível verificar que o depósito faz a separação de circuitos (ida e retorno) do *chiller*.

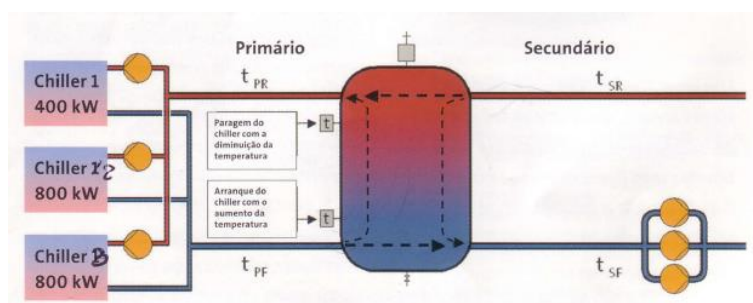


Figura 60 - Instalação hidráulica com depósito de inércia (Grundfos).

O cálculo dos depósitos envolve os seguintes parâmetros da Tabela 22

Tabela 22 - Parâmetros para seleção dos depósitos de inércia.

	Potência de aquecimento (kW)	Potência de arrefecimento (kW)
Potência máxima da central	25,5	65
Coefficiente de segurança	1,15	1,15
Potência de cálculo	29,35	74,75
Potência mínima estimada para a instalação	2,5	6,5
Potência mínima do <i>chiller</i> e bomba de calor	32	16,55

A potência mínima do *chiller* e bomba de calor é calculada através do número de compressores e estágios que cada equipamento tem. O *chiller* selecionado apresenta dois

estágios com dois compressores cada um, e por isso o valor de potência a considerar será um quarto da potência nominal (visível na Figura 50). O procedimento repete-se para a bomba de calor que apenas tem um compressor com um estágio, por isso será considerado o valor da potência nominal (visível na Figura 52).

Para o dimensionamento e seleção dos depósitos de inércia, recorrem-se às Equações 8, 9 e 10.

$$\dot{Q}_{p_min} = \frac{P_{arrefecimento/aquecimento} \times 0,86}{\Delta T} \quad (8)$$

$$\dot{Q}_{s_min} = 0,1 \times \dot{Q}_{p_min} \quad (9)$$

$$V_{DI_AF/DI_AQ} = \frac{\dot{Q}_{p_min} - \dot{Q}_{s_min}}{60/10} \quad (10)$$

Onde:

\dot{Q}_{p_min} – Caudal tendo em conta a potência mínima estimada para a instalação, que é cerca de 10% da potência máxima [m³/h];

$P_{arrefecimento/aquecimento}$ – Potência mínima estimada de arrefecimento / aquecimento [kW];

ΔT – Diferencial de temperatura do sistema [°C];

\dot{Q}_{s_min} – Caudal tendo em conta a potência de cálculo [m³/h];

V_{DI_AF/DI_AQ} – Volume do depósito de inércia [l].

Aplicando as equações 8, 9 e 10 concluiu-se que o volume dos depósitos de inércia de água fria e água quente serão, respetivamente, 144 l e 423 l. De acordo com o existente no mercado, optou-se pela marca nacional *Sandometal*, mais propriamente aos modelos de 200 e 500 l, dadas as necessidades acima calculadas. Os dados técnicos estão apresentados mais detalhadamente no Anexo V.

Para além dos depósitos de inércia há também necessidade de instalar um vaso de expansão por circuito, devido às variações de temperatura do fluido, que provocam variação de pressão e volume do fluido. Por forma a compensar estas mesmas variações de pressão e volume, é necessário a instalação de um vaso de expansão por cada circuito de água. Os vasos de

expansão devem ser instalados na aspiração das bombas pois é o local onde a pressão da instalação é menor. O dimensionamento deste componente segue a seguinte metodologia:

$$P_{hid} = \rho \times g \times h \quad (11)$$

$$P_i = P_{hid} + 0,3 + P_{atm} \quad (12)$$

$$V = \frac{(e \times C)}{\left[1 - \left(\frac{P_i}{P_f}\right)\right]} \quad (13)$$

Onde:

P_{hid} – Pressão hidrostática [Pa];

ρ – Densidade volúmica da água [998 kg/m³];

g – Aceleração da gravidade [9,81 m/s²];

h – Diferença de altura entre o vaso de expansão e a UTAN [m];

P_i – Pressão absoluta inicial [bar];

P_{atm} – Pressão atmosférica [101 325 Pa];

V – Volume do vaso de expansão [l];

e – Coeficiente de expansão da água (Figura 61);

C – Conteúdo total de água [l];

P_f – Pressão absoluta final [bar].

Na aplicação das fórmulas das equações 11, 12 e 13 foi usado o valor de 3 m como a diferença de altura entre o vaso de expansão e a UTAN (h). O conteúdo total de água (C), representa a quantidade total de água no circuito de água quente e no circuito de água fria, em separado. Esta quantidade, calculada na tabela apresentada no Anexo N, inclui também o volume total do respetivo depósito de inércia. Foi também considerado cerca de mais 10% da quantidade total da instalação devido às serpentinas dos VCs. No final calculou-se as quantidades totais sendo elas 306 l para o caso da água arrefecida e 515 l para a água aquecida. O coeficiente de expansão da água é calculado com base na diferença máxima entre a temperatura da água na instalação a frio e a máxima em funcionamento. normalmente, na prática, e para o aquecimento, assume-se o valor convencional de 0,035.

T (°C)	coef. "e"	T (°C)	coef. "e"	T (°C)	coef. "e"
0	0,00013	40	0,00782	75	0,02575
10	0,00025	45	0,00984	80	0,02898
15	0,00085	50	0,01207	85	0,03236
20	0,00180	55	0,01447	90	0,03590
25	0,00289	60	0,01704	95	0,03958
30	0,00425	65	0,01979	100	0,04342
35	0,00582	70	0,02269		

Figura 61 - Coeficiente de expansão da água com a variação da temperatura relativamente a 4°C (Caleffi).

Após serem conhecidas todas as grandezas determinou-se o volume do vaso de expansão adequado a cada circuito:

- Circuito de arrefecimento: 13 litros;
- Circuito de aquecimento: 22 litros.

Consultou-se os fabricantes e optou-se por se seleccionar o modelo 556-0018 e 556-025 da marca *Caleffi* (ver Figura 62) com capacidade de armazenamento de 18 e 25 litros, respetivamente. Este modelo irá servir para ambos os circuitos de água, fria e quente.

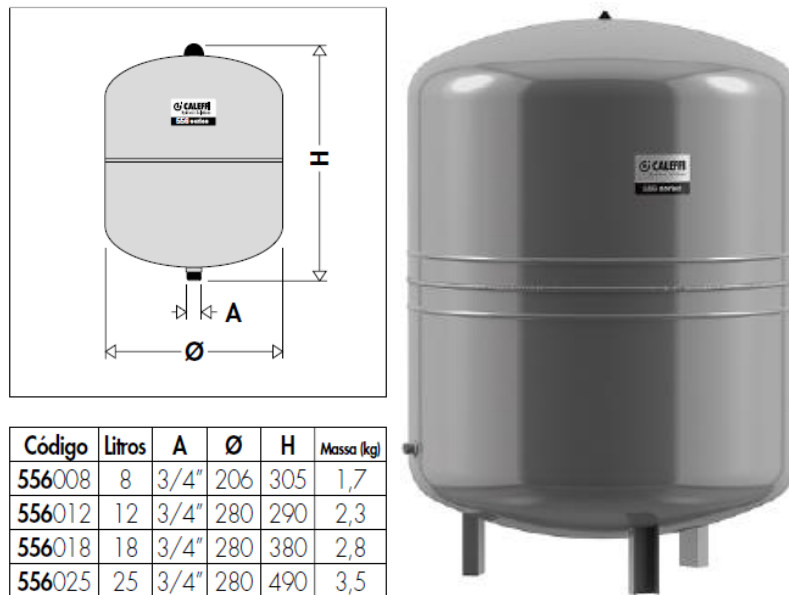


Figura 62 - Vaso de expansão Caleffi, modelo 556-008 (Solutions C. H., Vasos de expansão - Série 556/568/5557, 2019).

Tendo todas as tubagens hidráulicas e acessórios dimensionados estão reunidas as condições para serem determinadas as perdas de carga que as bombas circuladores terão de vencer, 142,3 kPa no circuito de arrefecimento e de 60,6 kPa no de aquecimento.

Dada a necessidade de vencer a perda de carga total de 142,3 kPa e ter uma necessidade de caudal de 3,26 l/s no caso do arrefecimento, seleccionou-se a bomba de circulação CME 10-1 A-R-A-E-AQQE S-A-D-N, ilustrada na Figura 63. É uma bomba do tipo vertical específica para águas arrefecidas e tem uma capacidade para vencer alturas manométricas de 10 bar. No Anexo X pode-se observar mais detalhadamente as características da bomba seleccionada.



Figura 63 - Bomba circulador de água fria Grundfos, modelo CME 10-1 A-R-A-E-AQQE S-A-D-N (Grundfos, 2021).

Pode-se observar através Figura 64 que ilustra a sua curva de funcionamento, que a bomba, para o regime necessário, trabalha apenas a 80% da sua capacidade. Os pontos a cor laranja identificam o regime de funcionamento da bomba de acordo com a necessidade do edifício.

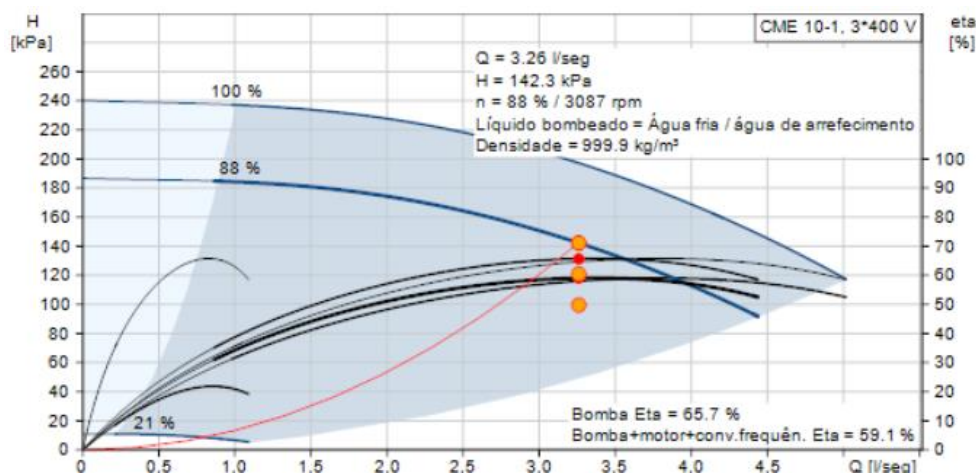


Figura 64 - Curva de funcionamento da bomba de acordo com a sua aplicação, modelo CME 10-1 A-R-A-E-AQQE S-A-D-N (adaptado de Grundfos).

No caso do aquecimento, a altura manométrica e o caudal apresentam valores inferiores às da água fria, mais propriamente 60,6 e 1,15 respetivamente. Para fazer face a estes valores optou-se pela bomba modelo MAGNA3 25-100, ver Figura 65, específica para o funcionamento para águas de aquecimento.



Figura 65 - Bomba circulator de água quente Grundfos, modelo MAGNA3 25-100 (Grundfos, 2021).

Esta bomba apresenta uma capacidade de vencer uma altura manométrica de 1 569 *kPa* e conforme se pode observar na Figura 66 também esta bomba não se encontra a funcionar a 100% para o regime necessário. No Anexo Z pode-se observar, mais detalhadamente, as características da bomba selecionada.

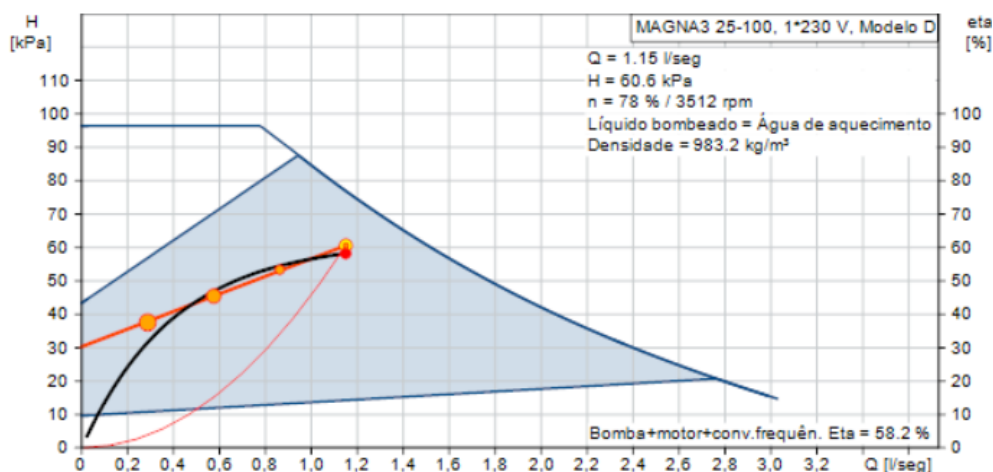


Figura 66 - Curva de funcionamento da bomba, modelo MAGNA3 25-100 (adaptado de Grundfos).

3.8 Sistema solar térmico

Por forma a criar um sistema sustentável e eficiente energeticamente, desenvolveu-se um sistema Solar térmico para apoiar o abastecimento de AQS, com apoio do *software Solterm*. Este estudo tem como objetivo o dimensionamento do sistema por forma a conseguir abastecer todas as necessidades do edifício. Na caracterização e simulação do sistema é necessário alimentar o *software* com algumas informações dos diversos componentes tais como o depósito, características de consumo, bomba, coletores e sistema de apoio.

Estas necessidades foram ao encontro do que é adotado pela Agência para a Energia (ADENE) para um lar de idosos, que apresenta como consumo diário de referência de AQS

o valor de 55 l/cama, perfazendo a totalidade de 1320 l/dia devido à presença de 24 camas. Concluiu-se então que havia a necessidade de instalação de um depósito de 1500 l.

Para selecionar os depósitos recorreu-se à marca portuguesa *Vulcano*. Entre os diversos modelos apresentados pela marca, selecionaram-se os seguintes: CV-M2, CV-M1 e CV-RB (Anexo AA). Na Figura 67 pode-se observar as suas características. Foi selecionado o modelo CV-M1 foi selecionado em detrimento dos outros dois apresentados pois este depósito funciona apenas com uma serpentina mergulhada. O modelo CV-M2 não foi selecionado pois funciona com dupla serpentina e o CV-RB sem serpentina. Para a solução instalada, bomba de calor, e devido à ausência de uma segunda fonte de produção de água quente, o depósito com serpentina simples era o mais indicado.


Gama CV-M1		CV1500-M1B
Classificação Energética A.Q.S.		 C
Escala ErP		A+ → F
Características Gerais		
Volume útil	litros	1500
Dimensões		
Altura	mm	2320
Diâmetro	mm	1160
Isolamento		
Espessura Isolamento	mm	80
Condutibilidade Térmica	λ W/m.K	0.025
Espessura Equivalente*	mm	130
Permutador Inferior		
Tipo	Serpentina	
Volume da serpentina	litros	24.1
Superfície de permuta	m ²	4
Potência máx. de permuta	kW	138
Outras Características		
Peso em vazio	kg	394
Temperatura máxima de acumulação de A.Q.S.	°C	90
Pressão máxima do serviço de A.Q.S.	bar	8
Perdas de energia	W/m.K	5.1
* Espessura de acordo com RSECE.		

Figura 67 - Depósito AQS Vulcano, modelo CV-1500-M2B (Vulcano, 2019).

Estes dados foram introduzidos no programa *Solterm* na caracterização do depósito, definindo o volume e área exterior do depósito que terá influência nas perdas de energia pela superfície do depósito. Definiu-se também que o depósito tem o permutador instalado internamente, tem montagem vertical, é fabricado em inox e estará instalado no interior do edifício.

Definida a dimensão do depósito foi necessário traçar um perfil de consumo ao longo do dia quer em dias de semana, quer aos fins de semana e feriados. Este perfil foi traçado com o apoio de uma folha de cálculo da *Energyplus* (2007) onde é introduzido o volume do

depósito, qual o tipo de edifício e a temperatura da água de forma a calcular o consumo em kWh em todas as horas do dia. Na Figura 68 podem ser observados os valores de consumo para o mês de fevereiro, apesar do mesmo perfil foi usado para os restantes meses do ano. Verifica-se que no lado esquerdo estão apresentados os valores de consumo durante a semana, e do lado direito os do fim de semana e feriados.

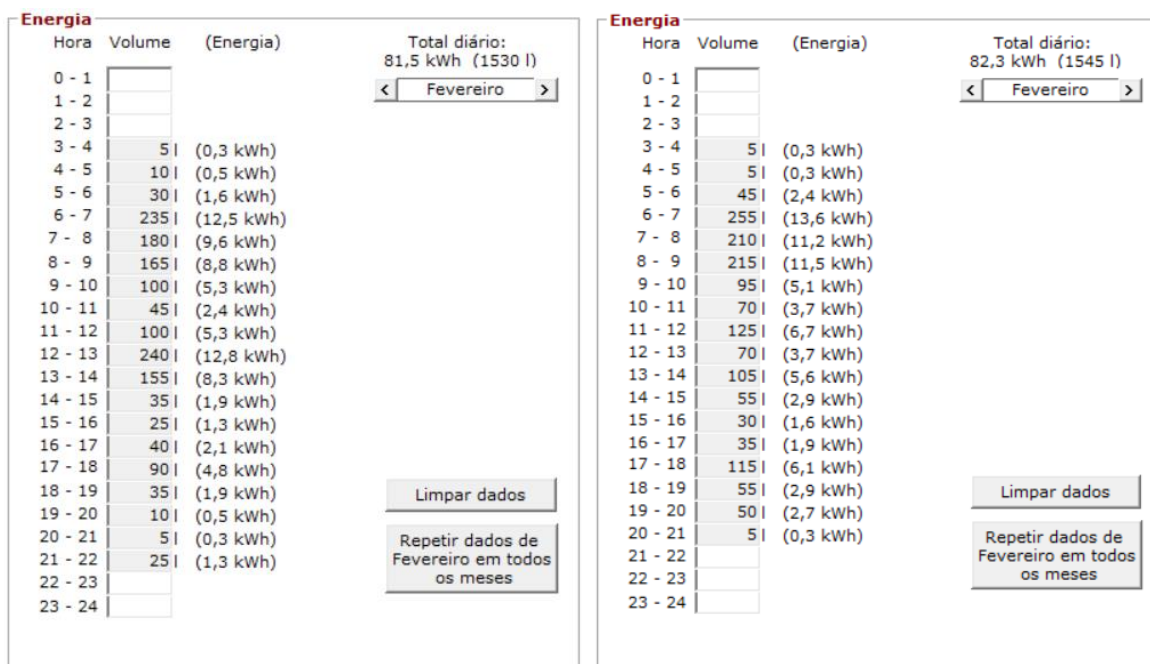


Figura 68 - Perfis de consumo de água em dias de semana (lado esquerdo) e fim de semana e feriados (lado direito).

De seguida selecionaram-se os coletores solares, sendo que o *software* tem carregados alguns modelos certificados, de diversas marcas. Optou-se mais uma vez pela marca *Vulcano* e pelo modelo FKT-2W, que apresenta um rendimento ótico de 0,802.


Características		PremiumSun
Modelo		FKT-2W
		
Montagem		Horizontal
Dimensões A x L x P (mm)		1175 x 2170 x 87
Área total (m ²)		2.55
Área útil abertura (m ²)		2.426
Área do absorvedor (m ²)		2.370
Volume do coletor (l)		195
Peso em vazio (kg)		45
Pressão máxima trabalho (bar)		10
Caudal nominal (l/h)		50
Material da caixa		na só peça (SMC)
Isolamento* (mm)		Lã mineral (55)
Espessura de vidro (mm)		3.2
Coletor		Altamente seletivo
Tratamento Coletor		PVD
Circuito hidráulico		Dupla serpentina

Figura 69- Coletor solar Vulcano, modelo FKT-2W (Vulcano, 2019).

Por forma a saber quantos coletores solares seriam necessários, foi necessário efetuar uma análise energética no *Solterm* chegando-se à conclusão que seriam necessários 14 coletores e que cada um deles teria uma capacidade de produzir 615 kWh/m². O sistema terá um rendimento total de 33% e terá uma abrangência de 33,96 m².

Por forma a otimizar o sistema, o programa sugere quatro hipóteses de o fazer, sendo elas:

- Aumentar a fração solar;
- Reduzir o desperdício de energia solar;
- Reduzir o fornecimento de energia de apoio;
- Otimizar a orientação dos coletores.

Após diversas simulações, optou-se pela opção que reduz o desperdício de energia solar, tirando assim o máximo partido possível da utilização deste sistema. Com esta otimização conseguiu-se garantir uma fração solar de 73,8%, conforme ilustrado na Figura 70. Pela mesma figura é possível observar que também não haverá energia desperdiçada e que a fonte de apoio apenas terá de fornecer 7414 kWh.

Desempenho do sistema térmico				Projecto: Solar térmico		
Mês	Rad.Horiz. kWh/m ²	Rad.Inclin. kWh/m ²	Desperdiçado kWh	Fornecido kWh	Carga kWh	Apoio kWh
Janeiro	69	89	,	1255	2562	1307
Fevereiro	88	104	,	1356	2290	934
Março	138	150	,	1801	2488	688
Abril	174	177	,	1926	2377	451
Maió	211	204	,	2100	2396	296
Junho	229	215	,	2107	2231	124
Julho	245	232	,	2200	2240	41
Agosto	208	207	,	2142	2235	93
Setembro	161	174	,	2019	2195	176
Outubro	112	128	,	1670	2363	694
Novembro	75	95	,	1313	2386	1072
Dezembro	55	69	,	990	2530	1540
Anual	1765	1845	1,	20878	28293	7414

Fração solar: 73,8%

Rendimento global anual do sistema: 33% Produtividade: 615 kWh/[m² coletor]

Figura 70 - Análise energética do sistema Solar Térmico (adaptado de Solterm).

De seguida caracterizou-se o sistema de apoio indicando ao *software* que o sistema recorre à eletricidade da rede para aquecer a água contida no depósito.

Como foi referido anteriormente, outro componente que teve de ser caracterizado foi a bomba de circulação de água. De acordo com os painéis solares definidos, o próprio *software* sugere o caudal de 1,28 m³/h (apresentado na Figura 71) sendo este o valor que irá circular em todo o circuito e irá fazer a permuta nos painéis solares.

Fluido circulante no primário

Circulação ?

◀ [] ▶ Sugerido

Caudal específico: 41,6 42,4 l/h /m²

Caudal na bomba: 1,28 1,30 m³/h

Velocidade na tubagem: 1,25 0.4-0.6 m/s

Anticongelante ?

◀ [] ▶ Sugerido

Fração na mistura: 0% 25%

Figura 71 - Caracterização da bomba circuladora do sistema solar térmico (adaptado de Solterm).

Tendo em conta o número de coletores e conhecendo o valor de caudal necessário para o sistema projetado, selecionou-se o modelo AGS da marca *Vulcano* que apresenta as características ilustradas na Figura 72. Este é um equipamento que agrupa diversos acessórios como a bomba, válvulas de corte, termómetros, válvula anti-retorno, caudalímetro, válvula de segurança e ligação de saída para o vaso de expansão. Este equipamento tem a vantagem

de agrupar todos os elementos necessários à circulação no mesmo “espaço”, conforme se pode observar na Figura 72



Dados Orientativos		AGS 20-2
Nº de coletores		11 - 20
Altura manométrica da bomba	m	7,5
Diâmetro de ligação	mm	22
Dimensões (A x L x P)	mm	353 x 284 x 248

Figura 72 - Grupo de circulação de água Vulcano, modelo AGS-20-2 (Vulcano, 2019).

4 Conclusões

O presente trabalho foi feito no âmbito do TFM e tinha como principal objetivo a elaboração de um projeto de AVAC e solar térmico para um Edifício de Apoio a Pessoas com Deficiência Mental, pois nos dias que correm a qualidade do ar interior e o conforto dos utilizadores dos diferentes espaços passaram a ser fatores essenciais na elaboração deste tipo de projetos. O edifício que está localizado no Recoveiro, Sintra, tem capacidade para acolher 24 utentes e é composto por 3 pisos. No piso -1 encontra-se a garagem que tem capacidade para 10 viaturas ligeiras e é onde também a lavandaria está localizada.

A elaboração do projeto passou por diversas etapas. Foi necessário traçar o perfil climático do local em questão, Sintra, para permitir a execução de diversas simulações no programa da Carrier, HAP. Este programa possibilita a criação dos espaços do edifício assim como a os diferentes horários de cada espaço, as centrais/equipamentos que irão climatizar o edifício e até a constituição dos elementos construtivos do mesmo. Para além do projeto de AVAC, foi também projetado um Solar Térmico que permitisse o apoio ao abastecimento de água quentes sanitárias. Este projeto teve o apoio do software Solterm, disponibilizado pelo LNEG.

Após a simulação no HAP, foi possível determinar as potências de aquecimento e arrefecimento que o equipamento selecionado teria de ser capaz de vencer. Essas potências são então: 65 kW de arrefecimento e 25,5 kW de aquecimento. Dadas as potências necessários, determinou-se que a climatização do edifício seria feita através de uma UTAN com o apoio de um chiller para a produção de água arrefecida e uma bomba de calor para a produção de água aquecida. Estes 3 equipamentos seriam completados com as unidades terminais (VCs) instalados em cada um dos espaços onde há necessidade de climatizar o espaço. Outros espaços, como os corredores de circulação, terão apenas admissão e extração de ar sem que haja recirculação do ar através de um VC. No piso -1, e devido ao facto da lavandaria estar instalada neste piso e ter uma necessidade de extração de 270 l/s, optou-se por tratar este espaço através de ar novo proveniente diretamente do exterior (através da instalação de uma porta alhetada) climatizando o espaço através de um split. O solar térmico será composto pelos equipamentos convencionais: coletores, bomba circuladora, depósito e o sistema de apoio que será através de eletricidade da rede (resistência elétrica).

A utilização dos equipamentos acima descritos só é possível através do dimensionamento e instalação de uma rede de condutas (aerúlicas) e tubagens de água (hidráulicas) por forma a abastecer o ar tratado e a água aos pontos necessários.

Através da simulação no HAP, para além de ficarem a ser conhecidas as potências necessárias, também foi possível obter as necessidades de ar novo e extração em todos os espaços, originado o valor total de 1649 l/s e 1521 l/s, respetivamente. A UTAN foi selecionada através do programa SAHS, da Sandometal, permitindo executar diversas simulações por forma a obter um equipamento que cumprisse o proposto de forma mais eficiente. Os valores dos caudais de insuflação e extração permitiram traçar e dimensionar a rede de condutas aerúlicas. A rede da insuflação foi dimensionada tendo por base o método de recuperação estática, ao invés da extração que foi dimensionada pelo método de perda de carga constante (0,8 Pa). As condutas instaladas serão rígidas e maioritariamente com secção retangular. Em termos de perdas de carga, ambas as redes foram dimensionadas através dos acessórios aplicados e comprimento de tubagem. Também através do HAP foi possível conhecer as necessidades de água quer nas unidades terminais quer na UTAN. Estes dados permitiram traçar e dimensionar as tubagens hidráulicas e também dimensionar e selecionar os depósitos de inércia e os vasos de expansão, que têm um papel preponderante no circuito hidráulico.

Após o dimensionamento dos equipamentos de AVAC, foi projetado o sistema Solar Térmico, com apoio do programa Solterm, destinado ao apoio das águas quentes sanitárias, por forma a tornar o edifício mais sustentável. Este dimensionamento teve por base a legislação em vigor que informa que deve ser considerado um consumo diário de 55 lt/cama, obtendo o valor total de 1320 l/dia (devido à existência de 24 camas). Este valor permitiu dimensionar o depósito de acumulação assim como os restantes equipamentos como coletores, bomba circuladora e fonte de calor de apoio (foi selecionado um apoio com recurso à energia elétrica da rede).

No entanto, nem tudo ao longo do trabalho foi tão linear como acima se descreve, tendo surgido algumas dificuldades. Dada a especificidade do edifício em questão, e após muita pesquisa, optou-se por equiparar o edifício a um lar de idosos por forma a conseguir aplicar a regulamentação existente. Em termos de projeto, a maior dificuldade centrou-se no projeto do painel solar térmico visto ser uma temática que não foi abordada durante o Mestrado do aluno e a esquematização das redes hidráulicas e aerúlicas no software AutoCAD, pelo mesmo motivo do solar térmico.

No final do trabalho pode-se assumir que o principal objetivo do trabalho - projetar um sistema de AVAC e um sistema Solar Térmico – foi atingido com sucesso por forma a garantir o máximo conforto aos utentes este espaço nunca esquecendo a qualidade do ar interior.

Bibliografia

- (CEN)., C. E. (2007). EN 15251:2007. *Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustic.*
- Ambiente, A. P. (2009). *Qualidade do Ar em Espaços Interiores - Um Guia Técnico.*
- Arquitetura, P. E. (2017). *Volume de ar variável: estratégias de controle.* Obtido de <http://www.engenhariaarquitectura.com.br/>:
<http://www.engenhariaarquitectura.com.br/2017/12/volume-de-ar-variavel-estrategias-de-controle>
- ASHRAE. (2008). *Handbook HVAC Systems and Equipment.*
- ASHRAE. (2017). *Handbook Fundamentals.*
- Caleffi. (s.d.). Vaso de expansão séries 555- 5558 - 556.
- Carrier. (2019). Heating, Ventilation and Air Conditioning. *Catalogue 2018/2019*, pp. 97-111. Obtido em 27 de Maio de 2021
- Carrier. (s.d.). Hourly Analysis Program 4.80.0.30 - International Edition.
- Company, C. A. (1980). *Manual de aire acondicionado.* Marcombo, SA.
- Daikin. (2019). *Products, Multisplit.* Obtido em 25 de Maio de 2021, de https://www.daikin.eu/en_us/customers.html:
https://www.daikin.eu/content/dam/document-library/catalogues/ac/split/Multi%20split_ECPEN19-012_Catalogues_English.pdf
- Daikin. (2020). *Products, VRV.* Obtido em 25 de Maio de 2021, de https://www.daikin.pt/pt_pt/customers.html:
https://www.daikin.pt/pt_pt/about/daikin-innovations/variable-refrigerant-volume.html
- Daikin. (2021). *Products, Split & Multisplit.* Obtido em 25 de Maio de 2021, de <https://www.daikin.com/index.html>:
https://www.daikin.com/products/ac/lineup/split_multi_split/index.html
- Decreto-Lei nº 136/2015. (s.d.).

- Decreto-Lei nº 79 de 4 de Abril do Ministério das Obras Públicas, Transportes e Comunicações. (2006).
- DGIES. (2005). Caderno nº4 da DGIES.
- Edificações, E. E. (2019). *Envoltória*. Obtido de <https://www.guiaenergiaedificacoes.com.br/>:
<https://www.guiaenergiaedificacoes.com.br/conceitos/envoltoria/>
- Edifícios, S. N. (2014). Anos Meteorológicos de Referência para simulação dinâmica versão 1.05.
- EN 13779:2007. (s.d.).
- Energyplus. (25 de Setembro de 2007). Obtido em 31 de Maio de 2021, de <https://energieplus-lesite.be/>: <https://energieplus-lesite.be/ameliorer/eau-chaude-sanitaire2/ameliorer-l-installation/dimensionnement-de-la-production-d-eau-chaude-sanitaire-en-semi-accumulation/>
- Genebre. (2018). Art. 3023 - Ball valve for mounting actuator. Obtido em 28 de Maio de 2021
- Genebre. (2018). Art. 3302 - “Y” Type brass strainer filter. Obtido em 28 de Maio de 2021
- Grondzik, W. T. (2007). *Air Conditioning System Design Manual*.
- Grundfos. (2021). Bombas e serviços - Dimensione a sua bomba. Obtido de <https://product-selection.grundfos.com/pt>
- INMG. (1981). Revista do Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica.
- Lennox. (2020). *Unidades close control*. Obtido em 25 de Maio de 2021, de <https://www.lennoxemea.com/pt/>:
<https://www.lennoxemea.com/pt/product/adnova/>
- LNEG. (s.d.). Solterm 5.3.7.
- Matias, C. P. (2006). *ITE 50 - Coeficientes de transmissão térmica de elementos da envolvente dos edifícios*. LNEC.
- Miller, R. M. (2006). *Air Conditioning and Refrigeration*. McGraw-Hill.
- Murphy, J. (2011). High-Performance VAV Systems. *ASHRAE Journal*, 18-28.

- Pinto, I. A. (2013). Projecto de AVAC e Classificação Energética de uma Cafeteria. .
Trabalho Final de Mestrado, Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Instituto Politécnico de Lisboa.
- Portaria n° 1532/2008. (s.d.).
- Roriz, L. (2007). *Climatização - Conceção, Instalação e Condução de Sistemas.* Orion.
- Service, F. (2021). *Commercial mini split systems.* Obtido em 25 de Maio de 2021, de <https://www.firstservice.org/>: <https://www.firstservice.org/commercial-mini-split-systems/>
- Sferaco. (2020). Ref. 1501 - Rubber expansion joint EPDM with swiveling flanges PN10/16. Obtido em 28 de Maio de 2021
- Silva, P. C. (2006). Análise do Comportamento Térmico de Construções não Convencionais através de Simulação em VISUALDOE. *Universidade do Minho.*
- Social, M. d. (21 de Março de 2012). Portaria n° 67.
- Sodeca. (2021). Ventilador CJK/EC. Obtido em 29 de Maio de 2021
- Solutions, B. C. (2021). *About VRF systems.* Obtido em 19 de Maio de 2021, de <https://www.baysidecomfortsolutions.com.au/>: <https://www.baysidecomfortsolutions.com.au/vrf-systems/>
- Solutions, C. H. (2017). Válvulas de Balanceamento - Série 130. Obtido em 28 de Maio de 2021
- Solutions, C. H. (2019). Vasos de expansão - Série 556/568/5557. Obtido em 28 de Maio de 2021
- Standardization, I. O. (2016). ISO 16890 - Air filters for general ventilation.
- Technik, T. (2019). Esay Product Finder 2.
- Temperaturas Exteriores de Projecto e Números de Graus-Dias.* (1995). IM e do LNEC - 2ª Edição.
- Trane. (2015). *Unidades de Tratamento de Ar, Aplicações de conforto 1000-45 000m3/h.* Obtido em 25 de Maio de 2021, de www.trane.com: https://www.trane.com/WEBCACHE/AH-SLB010-PT_07012015.PDF

Trane. (2020). *Chillers arrefecidos a ar*. Obtido em 25 de Maio de 2021, de <https://www.trane.com/commercial/europe/portugal/pt.html>:

https://www.trane.com/WEBCACHE/RLC-SLB002-PT_12012014.PDF

Trane. (2020). *Unidades rooftop, Airfinity 20-135 kW*. Obtido em 25 de Maio de 2021, de <https://www.trane.com/commercial/europe/portugal/pt.html>:

<https://www.trane.com/commercial/europe/portugal/pt/products-systems/equipment/rooftops/airfinity.html>

Vulcano. (Março de 2019). Solar Térmico.

Wang, S. K. (2000). *Handbook of air conditioning and refrigeration*. McGraw-Hill.

