



Ventilação Hospitalar em Ambiente Pandémico

JOANA FILIPA MARTINS TEIXEIRA

novembro de 2021

VENTILAÇÃO HOSPITALAR EM AMBIENTE PANDÉMICO

Joana Filipa Martins Teixeira
1191160

2021

Instituto Superior de Engenharia do Porto
Departamento de Engenharia Mecânica





VENTILAÇÃO HOSPITALAR EM AMBIENTE PANDÉMICO

Joana Filipa Martins Teixeira
1191160

Dissertação apresentada ao Instituto Superior de Engenharia do Porto para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica, realizada sob a orientação da Engenheira Isabel Sarmento Pereira.

2021

Instituto Superior de Engenharia do Porto
Departamento de Engenharia Mecânica





JÚRI

Presidente

Doutora Ana Maria Raposo João
Professora Adjunta, ISEP

Orientador

Especialista Isabel Maria Garcia Sarmiento Pereira
Professora Adjunta, ISEP

Coorientador

Engenheiro Hugo Miguel Ramada dos Santos Pereira
Engenheiro Mecânico, VHM

Arguente

Engenheiro José Luís Coelho Alexandre
Professor Auxiliar, FEUP

AGRADECIMENTOS

À minha orientadora, Isabel Sarmento Pereira, quero expressar os meus agradecimentos pela disponibilidade e partilha de conhecimentos, muito importante para a realização da presente dissertação.

O meu agradecimento ao Engenheiro Hugo Pereira pela disponibilidade e ajuda na realização do trabalho.

Um agradecimento muito especial aos meus pais, à minha irmã, ao meu namorado e à minha Fatucha por estarem sempre do meu lado em todos os momentos deste percurso, apoiando todas as minhas decisões e dando sempre a força necessária para a continuação desta caminhada. Sem eles não seria possível acabá-la com sucesso, pelo que lhes ficarei eternamente grata.

PALAVRAS CHAVE

AVAC, energia, cargas térmicas, classe energética, Covid-19, hospital

RESUMO

O aparecimento do vírus Covid-19 conduziu a várias mudanças no comportamento dos edifícios, principalmente no funcionamento dos sistemas AVAC (Aquecimento, Ventilação, Ar Condicionado). Os sistemas AVAC, corretamente ajustados, contribuem para mitigar/evitar o risco de transmissão do vírus, o que poderá levar a um aumento dos consumos de energia dos edifícios, visto que os sistemas AVAC irão ter maior esforço no funcionamento para satisfazer as recomendações das entidades de saúde para evitar a transmissão e manter a qualidade do ar interior (QAI) aceitável.

O trabalho proposto pretendeu avaliar o impacto das alterações recomendadas nos sistemas AVAC, dimensionar corretamente os equipamentos AVAC tendo em consideração todos os pressupostos e perceber quais os consumos energéticos futuros de um edifício hospitalar. O edifício hospitalar em estudo foi a ampliação das urgências do Centro Hospitalar de Santo Tirso (CHST).

A determinação das cargas térmicas de aquecimento e arrefecimento e o cálculo dos consumos energéticos, foram realizados através do *software Carrier Hourly Analysis Program (HAP)* para duas simulações: situação base (pré-Covid-19) e situação pandémica (Covid-19). Tendo sido realizadas as simulações dos impactos da situação pandémica individualmente, como a: alteração do caudal de 100 % de ar novo; desativação das unidades de recuperação de calor; alteração do nível de filtragem; impacto conjunto. As cargas térmicas obtidas foram ligeiramente diferentes para todas as simulações, possivelmente relacionadas com o aumento da necessidade de controlar a qualidade do ar interior. Calculou-se o Indicador de Eficiência Energética (IEE) para a atribuição da classe do edifício. No entanto, registaram-se diferentes classes energéticas para as duas simulações: situação base (pré-Covid-19) e situação pandémica (Covid-19). A classe energética foi igual a B- e C, respetivamente.

Em suma, verificou-se que o aparecimento do vírus Covid-19 aumentou significativamente os consumos de energia e, conseqüentemente, os custos associados serão mais elevados.

KEYWORDS

HVAC, energy, thermal loads, energy class, Covid-19, hospital

ABSTRACT

The appearance of the Covid-19 virus led to several changes in the behavior of buildings, mainly in the functioning of HVAC (Heating, Ventilation, Air Conditioning) systems. Correctly adjusted HVAC systems contribute to mitigate/avoid the risk of virus transmission, which may lead to an increase in energy consumption in buildings, since HVAC systems will have greater effort in operation to meet the recommendations of the entities to prevent transmission and keep indoor air quality (IAQ) acceptable.

The proposed work intended to evaluate the impact of the recommended changes in HVAC systems, correctly dimensioning the HVAC equipment taking into account all the assumptions and understanding the future energy consumption of a hospital building. The hospital building under study was the expansion of the emergency room of the Santo Tirso Hospital Center (STHC).

The determination of heating and cooling thermal loads and the calculation of energy consumption were performed using the Carrier Hourly Analysis Program (HAP) software for two simulations: base situation (pre-Covid-19) and pandemic situation (Covid-19). Pandemic situation individually, such as: 100 % fresh air flow change; deactivation of heat recovery units; changing the filtering level; joint impact. The thermal loads obtained were slightly different for all simulations, possibly related to the increased need to control indoor air quality. The Energy Efficiency Indicator (EEI) was calculated for the attribution of the building class. Nevertheless, different energy classes were registered for the two simulations: base situation (pre-Covid-19) and pandemic situation (Covid-19). The energy class was equal to B- and C, respectively.

In short, it was found that the appearance of the Covid-19 virus significantly increased energy consumption and, consequently, the associated costs will be higher.

LISTA DE ABREVIATURAS

ACSS	Administração Central do Sistema de Saúde
ASHRAE	<i>American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers</i>
AVAC	Aquecimento, Ventilação, Ar Condicionado
BO's	Blocos Operatórios
BRI	<i>Building Related Illness</i>
CHST	Centro Hospitalar de Santo Tirso
COV	Compostos Orgânicos Voláteis
DGS	Direção Geral da Saúde
DPI	Densidade de Potência de Iluminação
ECDC	<i>European Centre for Disease Prevention and Control</i>
ECO	<i>Energy Conservation Opportunities</i>
HAP	<i>Hourly Analysis Program</i>
HEPA	<i>High Efficiency Particulate Air filter</i>
HR	Humidade Relativa
IEE	Indicador de Eficiência Energética
LNEC	Laboratório Nacional de Engenharia Civil
LNEG	Laboratório Nacional de Energia e Geologia
MERV	<i>Minimum Efficiency Reporting Value</i>
OMS	Organização Mundial da Saúde
QAI	Qualidade do Ar Interior
RCCTE	Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios
RECS	Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços
REH	Regulamento do Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação
REVHA	<i>Federation of European Heating, Ventilation and Air Conditioning Associations</i>
RSECE	Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização de Edifícios
SBS	<i>Sick Building Syndrome</i>
SCE	Sistema Nacional de Certificação Energética
UCI	Unidade de Cuidados Intensivos
UTA	Unidade de Tratamento de Ar
UTAN	Unidade de Tratamento de Ar Novo
VAC	Volume de Ar Constante

VAV	Volume de Ar Variável
VDFs	Inversores de Frequência Variável

LISTA DE SÍMBOLOS E UNIDADES

A_m	Retenção média de pó sintético	%
A_p	Área interior útil de pavimento	m^2
b_{tr}	Coefficiente de redução de perdas	
c_p	Calor específico	$J/m^3 \cdot ^\circ C$
C_{ext}	Concentração de CO_2 no ar exterior	mg/m^3 ou m^3/m^3
C_{ip}	Limiar de proteção para a concentração de CO_2 no ar interior	mg/m^3 ou m^3/m^3
E_m	Eficácia média para partículas de $0,4 \mu m$	%
$E_{ren,i}$	Produção de energia por fonte de energia i a partir de fontes de origem renovável para consumo	kWh/ano
$E_{S,i}$	Consumo de energia por fonte de energia i para os usos do tipo S	kWh/ano
$E_{T,i}$	Consumo de energia por fonte de energia i para os usos do tipo T	kWh/ano
$F_{pu,i}$	Fator de conversão de energia útil para a energia primária	kWh _{EP} /kWh
G	Taxa de geração de CO_2	m^3/h ou mg/h
H_{HP}	Horas de funcionamento a plena carga	h
$IEE_{ref,S}$	Indicador de eficiência energética de referência associado aos consumos anuais de energia do tipo S	kWh _{EP} /m ² .ano
IEE_{ren}	Indicador de eficiência energética associado aos consumos anuais de energia renovável	kWh _{EP} /m ² .ano
IEE_S	Indicador de eficiência energética associado aos consumos anuais de energia do tipo S	kWh _{EP} /m ² .ano
IEE_T	Indicador de eficiência energética associado aos consumos anuais de energia do tipo T	kWh _{EP} /m ² .ano
\dot{m}	Caudal de 100 % ar novo	m^3/h
M_{med}	Média ponderada do nível de atividade metabólica	met
P_{rated}	Capacidade instalada das bombas de calor	kW
Q	Potência de aquecimento/arrefecimento	W
Q_{AN}	Caudal de ar novo	m^3/h
$Q_{AN,1met}$	Caudal mínimo de ar novo para o nível de atividade metabólica igual a 1	$m^3/(h.pessoa)$
Q_{ANf}	Caudal de ar novo final corrigido da eficácia	m^3/h

Q_{usable}	Calor total utilizável estimado produzido por bombas de calor	kWh/ano
R_{IEE}	Rácio da classe energética do edifício	
SPF	Fator médio de desempenho sazonal	
$T_{Inverno}$	Temperatura exterior de projeto de Inverno	°C
$T_{Interior}$	Temperatura interior	°C
$T_{Verão}$	Temperatura exterior de projeto de Verão	°C
$T_{esp. não cond.}$	Temperatura do espaço não condicionado	°C
ε_v	Eficácia de remoção de poluentes	

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. REPRESENTAÇÃO DA VENTILAÇÃO ADEQUADA PARA EVITAR O CONTÁGIO POR COVID-19, EM ESPAÇO FECHADOS [2].	28
FIGURA 2. BALANÇO ENERGÉTICO DOS HOSPITAIS DA EUROPA (ADAPTADO DE [5]).	28
FIGURA 3. DISTRIBUIÇÃO DA ENERGIA DOS HOSPITAIS EM PORTUGAL (ADAPTADO DE [6]).	29
FIGURA 4. CONFIGURAÇÃO DE UM SISTEMA DE FILTRAGEM (ADAPTADO DE [19]).	42
FIGURA 5. CONTROLO DE DIFERENÇAS DE PRESSÃO EM QUARTOS DE ISOLAMENTO (ADAPTADO DE [19]).	52
FIGURA 6. FLUXO DE AR UNIDIRECIONAL VERTICAL EM BO (ADAPTADO DE [19]).	53
FIGURA 7. PIRÂMIDE DE CONTROLO DE INFEÇÃO TRADICIONAL DO ECDC (ADAPTADO DE [2]).	56
FIGURA 8. RECOMENDAÇÃO DA ASHRAE DE UM <i>LAYOUT</i> DE UMA SALA COM PRESSÃO NEGATIVA (ADAPTADO DE [28]).	59
FIGURA 9. CIRCULAÇÃO DO AR NUMA UTA DA <i>DAIKIN</i> [30].	61
FIGURA 10. RECUPERADOR DE CALOR DA MARCA HOVAL: A) ROTATIVO [32]; B) PLACAS [33].	61
FIGURA 11. VENTILADOR DA MARCA SODECA: A) CENTRÍFUGO [35]; B) AXIAL [36].	62
FIGURA 12. VISTA DE CIMA DO CHST COM DESTAQUE A VERMELHO NA AMPLIAÇÃO DAS URGÊNCIAS (ADAPTADO DE [53]).	79
FIGURA 13. PLANTA DO PISO 1 DA AMPLIAÇÃO DO CHST.	80
FIGURA 14. PLANTA DO PISO 2 DA AMPLIAÇÃO DO CHST.	81
FIGURA 15. INTERFACE DO PROGRAMA PARA OBTENÇÃO DOS DADOS CLIMÁTICOS DE REFERÊNCIA PARA SANTO TIRSO [54].	86
FIGURA 16. DELIMITAÇÃO DA ENVOLVENTE DO PISO 1 DA AMPLIAÇÃO DO CHST.	88
FIGURA 17. DELIMITAÇÃO DA ENVOLVENTE DO PISO 2 DA AMPLIAÇÃO DO CHST.	89
FIGURA 18. LEVANTAMENTO DIMENSIONAL NO <i>SOFTWARE CARRIER HAP</i> [57].	99
FIGURA 19. SEPARADOR " <i>PARTITIONS</i> " PARA O ESPAÇO 15 DO PISO 1.	100
FIGURA 20. SISTEMAS CONSIDERADOS NO <i>SOFTWARE CARRIER HAP</i> [57].	101
FIGURA 21. SEPARADOR " <i>SYSTEM COMPONENTS</i> " DO BO 2 DO PISO 2.	102
FIGURA 22. LISTA DA CENTRAIS TÉRMICAS DE AQUECIMENTO E ARREFECIMENTO.	104
FIGURA 23. TEMPERATURAS EXTERIORES DE PROJETO DE VERÃO (EM DESTAQUE SANTO TIRSO) [55].	134
FIGURA 24. TEMPERATURAS EXTERIORES DE PROJETO DE INVERNO (EM DESTAQUE SANTO TIRSO) [55].	135

ÍNDICE DE TABELAS

TABELA 1. CLASSIFICAÇÃO DOS AGENTES BIOLÓGICOS, POR CLASSES [12].	35
TABELA 2. CONDIÇÕES DE REFERÊNCIA PARA OS FATORES MICROBIOLÓGICOS [14].	36
TABELA 3. LIMIAR DE PROTEÇÃO E MARGEM DE TOLERÂNCIA PARA OS POLUENTES FÍSICO-QUÍMICOS [14].	37
TABELA 4. CAUDAL MÍNIMO DE AR NOVO POR TIPO DE ESPAÇO PARA UMA PESSOA [14].	40
TABELA 5. VALORES DE EFICÁCIA PARA DIFERENTES MÉTODOS DE VENTILAÇÃO [14].	41
TABELA 6. CLASSIFICAÇÃO DOS FILTROS, SEGUNDO A NORMA EUROPEIA EN 779:2012 [18].	42
TABELA 7. CLASSIFICAÇÃO DOS FILTROS DE ALTA EFICIÊNCIA SEGUNDO A NORMA EUROPEIA EN 1822:2009 [20].	43
TABELA 8. CLASSIFICAÇÃO DO MERV SEGUNDO A <i>STANDARD</i> 52.2-2017 DA ASHRAE [21].	44
TABELA 9. CONTAMINANTES E APLICAÇÕES DA CLASSIFICAÇÃO DOS FILTROS MERV [21].	45
TABELA 10. DISTÂNCIAS MÍNIMAS A RESPEITAR ENTRE ADMISSÕES/ENTRADA DE AR E OS DIFERENTES LOCAIS COM EMISSÃO DE POLUENTES.	47
TABELA 11. RECOMENDAÇÕES DA OMS PARA O USO DE VENTILAÇÃO NATURAL [23].	49
TABELA 12. RECOMENDAÇÕES DA OMS PARA O USO DE VENTILAÇÃO MECÂNICA [23].	50
TABELA 13. REQUISITOS PARA OS BLOCOS OPERATÓRIOS [24, 25].	52
TABELA 14. REQUISITOS PARA A UNIDADE DE CUIDADOS INTENSIVOS - SALA ABERTA [24, 25].	53
TABELA 15. REQUISITOS PARA UNIDADE DE CUIDADOS INTENSIVOS - QUARTO DE ISOLAMENTO DE PROTEÇÃO/CONTENÇÃO [24, 25].	54
TABELA 16. REQUISITOS PARA A URGÊNCIA DO HOSPITAL [24, 25].	54
TABELA 17. REQUISITOS PARA DOENÇAS INFECCIOSAS [24, 25].	55
TABELA 18. ECO'S AGRUPADOS EM CLASSES E SUBCLASSES.	67
TABELA 19. CONSUMOS DE ENERGIA A CONSIDERAR NO IEE_S E NO IEE_T (ADAPTADO DE PORTARIA N.º 17-A/2016) [22].	70
TABELA 20. VALORES PREDEFINIDOS DE H_{HP} E SPF PARA AS BOMBAS DE CALOR TÉRMICAS (ADAPTADO DE [48]).	72
TABELA 21. INTERVALOS DE VALOR DE R_{IEE} PARA A DETERMINAÇÃO DA CLASSE ENERGÉTICA EM PRÉ-CERTIFICADOS E CERTIFICADOS SCE DOS MODELOS TIPO PEQUENOS EDIFÍCIOS DE COMÉRCIO E SERVIÇOS E GRANDES EDIFÍCIOS DE COMÉRCIO E SERVIÇOS [50].	73
TABELA 22. DESCRIÇÃO DOS ESPAÇOS DOS PISOS 1 E 2.	82
TABELA 23. COEFICIENTES DE TRANSMISSÃO TÉRMICA DAS ENVOLVENTES [22].	90
TABELA 24. CAUDAL DE AR NOVO MÍNIMO PARA CADA ESPAÇO DO PISO 1 DO EDIFÍCIO.	93

TABELA 25. CAUDAL DE AR NOVO MÍNIMO PARA CADA ESPAÇO DO PISO 2 DO EDIFÍCIO.	95
TABELA 26. CAUDAL DE AR NOVO MÍNIMO RECOMENDADO PELA ACSS [24].	97
TABELA 27. NÍVEL DE FILTRAGEM RECOMENDADO PELA ACSS PARA OS DIFERENTES ESPAÇOS [24].	98
TABELA 28. EQUIPAMENTOS UTILIZADOS E SUAS CARATERÍSTICAS PARA OS BO'S, NA SITUAÇÃO BASE, PRÉ-COVID-19.	103
TABELA 29. EQUIPAMENTOS UTILIZADOS E SUAS CARATERÍSTICAS PARA OS RESTANTES ESPAÇOS, ANTES DO APARECIMENTO DO VÍRUS COVID-19.	104
TABELA 30. CONSUMOS ANUAIS DE ENERGIA TOTAL NA SITUAÇÃO BASE, PRÉ-COVID-19.	106
TABELA 31. DIVISÃO DO CAUDAL 100 % DE AR NOVO PARA O SISTEMA "SALASEXAMES PISO1".	108
TABELA 32. EQUIPAMENTOS UTILIZADOS E SUAS CARATERÍSTICAS PARA OS ESPAÇOS DOS BO'S E RECOBROS, TENDO EM CONTA O IMPACTO CONJUNTO.	111
TABELA 33. EQUIPAMENTOS UTILIZADOS E SUAS CARATERÍSTICAS PARA OS RESTANTES ESPAÇOS, TENDO EM CONTA O IMPACTO CONJUNTO.	112
TABELA 34. CONSUMOS DE ENERGIA TOTAL ANUAIS NA SITUAÇÃO PANDÉMICA, COVID-19.	113
TABELA 35. CUSTOS MÉDIOS DA ENERGIA ELÉTRICA E GÁS NATURAL UTILIZADA NAS SIMULAÇÕES REALIZADAS.	118
TABELA 36. CAUDAL DE 100 % DE AR NOVO PARA CADA SISTEMA E ESPAÇO.	136

ÍNDICE DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1. PERFIL DE EQUIPAMENTOS (ADAPTADO DO DECRETO-LEI N.º 79/2006) [44]. ..	91
GRÁFICO 2. PERFIL DE OCUPAÇÃO (ADAPTADO DO DECRETO-LEI N.º 79/2006) [44].	91
GRÁFICO 3. PERFIL DE ILUMINAÇÃO (ADAPTADO DO DECRETO-LEI N.º 79/2006) [44].....	92
GRÁFICO 4. CONSUMOS ANUAIS DE ENERGIA DOS COMPONENTES, NA SITUAÇÃO BASE (POR RECURSO AO <i>SOFTWARE CARRIER HAP</i>).	105
GRÁFICO 5. CONSUMOS ANUAIS DE ENERGIA DOS COMPONENTES PARA O IMPACTO DO CAUDAL DE 100 % DE AR NOVO (POR RECURSO AO <i>SOFTWARE CARRIER HAP</i>).	109
GRÁFICO 6. CONSUMOS ANUAIS DE ENERGIA DOS COMPONENTES PARA O IMPACTO DA DESATIVAÇÃO DOS RECUPERADORES DE CALOR (POR RECURSO AO <i>SOFTWARE CARRIER HAP</i>).	110
GRÁFICO 7. CONSUMOS ANUAIS DE ENERGIA DOS COMPONENTES, NA SITUAÇÃO PANDÉMICA (POR RECURSO AO <i>SOFTWARE CARRIER HAP</i>).	113
GRÁFICO 8. COMPARAÇÃO ENTRE AS CARGAS TÉRMICAS NA SITUAÇÃO BASE E PANDÉMICA.	116
GRÁFICO 9. COMPARAÇÃO ENTRE OS CONSUMOS DE ENERGIA ANUAIS DOS COMPONENTES NA SITUAÇÃO BASE E PANDÉMICA.	117

ÍNDICE

1	INTRODUÇÃO	27
1.1	Contextualização	27
1.1.1	Aparecimento do vírus Covid-19	27
1.1.2	Consumo de energia nos hospitais	28
1.2	Objetivos	29
1.3	Estrutura do Relatório	30
1.4	Empresa	30
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	33
2.1	Qualidade do Ar Interior	33
2.1.1	Poluentes que influenciam a qualidade do ar interior.....	35
2.1.1.1	Poluentes microbiológicos.....	35
2.1.1.2	Poluentes físico-químicos.....	36
2.1.2	Mecanismos de ventilação.....	38
2.1.2.1	Ventilação natural.....	38
2.1.2.2	Ventilação mecânica.....	38
2.1.3	Caudal mínimo de ar novo	39
2.1.4	Filtragem do ar	42
2.1.5	Requisitos regulamentares de ventilação e qualidade do ar interior	45
2.2	Qualidade do Ar Interior em Hospitais	48
2.2.1	Requisitos de ventilação em hospitais	51
2.2.1.1	Antes do aparecimento do vírus Covid-19	51
2.2.1.2	Depois do aparecimento do vírus Covid-19	55
2.3	Sistemas AVAC em Hospitais	60
2.3.1	Principais equipamentos AVAC.....	60
2.3.1.1	Unidade de tratamento de ar.....	60
2.3.1.2	Recuperadores de calor.....	61
2.3.1.3	Ventiladores.....	62
2.3.1.4	Chillers	62
2.3.1.5	Caldeiras	63
2.3.1.6	Ventiloconvetores	63
2.3.2	Tipos de sistemas AVAC	63
2.3.2.1	Sistema tudo – ar	64
2.3.2.2	Sistema tudo – água.....	65
2.3.2.3	Sistema ar – água.....	65

2.4	Eficiência Energética em Edifícios	67
2.4.1	Sistema Nacional de Certificação Energética.....	68
2.4.2	Implicações nos consumos energéticos através dos sistemas AVAC	74
3	CASO DE ESTUDO	79
3.1	Descrição do Edifício	79
3.2	Caracterização Térmica do Edifício	86
3.2.1	Dados climáticos	86
3.2.2	Caracterização da envolvente	87
3.2.3	Cargas internas	90
3.2.3.1	Equipamentos	90
3.2.3.2	Ocupação	91
3.2.3.3	Iluminação	92
3.2.4	Caudal de ar novo mínimo	92
3.2.5	Nível de filtragem mínima.....	97
3.3	Simulação no HAP da <i>Carrier</i>	99
3.3.1	Modelação do edifício	99
3.3.2	Metodologia de simulação.....	101
3.4	Situação Base, pré-Covid-19.....	103
3.5	Situação Pandémica, Covid-19.....	107
3.6	Análise de Resultados	115
4	CONCLUSÕES E PROPOSTAS PARA TRABALHO FUTURO	121
4.1	Conclusões.....	121
4.2	Propostas Para Trabalho Futuro	123
5	BIBLIOGRAFIA E OUTRAS FONTES DE INFORMAÇÃO.....	127
6	ANEXOS	134
6.1	Anexo A – Temperaturas Exteriores de Projeto.....	134
6.1.1	Temperaturas exteriores de projeto de Verão.....	134
6.1.2	Temperaturas exteriores de projeto de Inverno	135
6.2	Anexo B – Caudal de 100 % de ar novo para cada sistema e espaço	136

INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO/ENQUADRAMENTO

1.2 OBJETIVOS

1.3 ESTRUTURA DO RELATÓRIO

1.4 EMPRESA

1 INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização

1.1.1 Aparecimento do vírus Covid-19

Em dezembro de 2019, na cidade de Wuhan, China, foram identificados os primeiros casos de infeção em humanos pelo coronavírus Sars-Cov-2, denominado pela Organização Mundial da Saúde (OMS) como Covid-19. O surto de Covid-19 em Wuhan aconteceu no mercado, e desenvolveu-se uma pandemia a nível mundial [1]. A identificação de um caso positivo na Europa aconteceu em janeiro de 2020, sendo o país mais atingido a Itália.

O novo coronavírus origina infeções nos seres humanos problemas associados, principalmente, ao sistema respiratório, podendo surgir com uma sintomatologia semelhante a uma gripe comum ou podendo evoluir para uma doença mais grave, como pneumonia. Está comprovado que a transmissão de Covid-19 ocorre por diferentes vias de transmissão, que são [2]:

- Transmissão aérea com uma distância máxima de 2 metros, através de gotículas ou aerossóis emitidos ao espirrar, tossir, falar e respirar;
- Transmissão aérea de longo alcance;
- Transmissão por contacto em superfície contaminada, ou contacto físico entre pessoas.

De forma a mitigar o contágio é recomendado, pela Direção Geral da Saúde (DGS), a higienização das mãos, a distância física e uma ventilação adequada [3].

Num ambiente interior, as evidências científicas [2] transmitidas pelos especialistas, mostram que o Covid-19 pode permanecer ativo durante 3 horas ou até mesmo 2 a 3 dias caso as condições do espaço assim o favorecerem, como por exemplo temperaturas baixas. O vírus é expelido pelo ser humano através de gotículas respiratórias onde as de maior dimensão ($> 60 \mu\text{m}$) por gravidade caem e as de menor dimensão ($< 60 \mu\text{m}$) são capazes de permanecer suspensas no ar, podendo percorrer longas distâncias, por exemplo em condutas de extração dos sistemas de ventilação ou até mesmo em condutas onde passa o ar que é recirculado [2].

A figura 1 mostra como o efeito de uma ventilação adequada pode mitigar a transmissão de Covid-19.

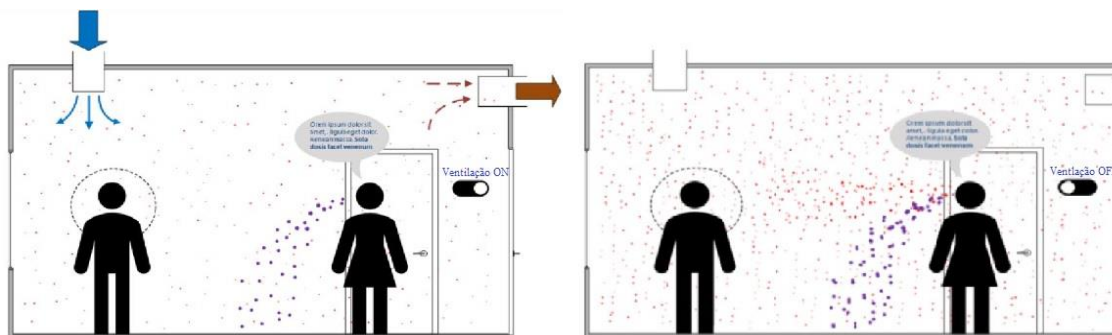


Figura 1. Representação da ventilação adequada para evitar o contágio por Covid-19, em espaço fechados [2].

Estudos realizados [2] mostram que, em espaços fechados, uma ventilação mínima contribuiu para que ocorressem um grande número de infeções secundárias. Assim, para evitar ou minimizar este fenómeno, é necessário um controlo nos sistemas AVAC para remover as partículas contaminantes em espaços fechados.

1.1.2 Consumo de energia nos hospitais

Atualmente, para além da qualidade do ar, o consumo de energia dos sistemas de climatização é um fator importante, devido às questões ambientais e económicas.

Os elevados consumos de energia em edifícios hospitalares são devido às suas exigências operacionais, como o controlo de humidade e temperatura do ar no ambiente interior, aquecimento de água, sistemas de ventilação, iluminação e todos os processos hospitalares. Este consumo de energia reflete-se, por outro lado, em avultados custos financeiros e, por outro lado, excessivas emissões de gases.

Nos hospitais do norte da Europa, os consumos de energia são mais eficientes, gastando 35% da energia total consumida pelos hospitais norte-americanos [4]. A maior parte da energia consumida pelos hospitais da Europa reside nos sistemas de aquecimento, como mostra a figura 2.

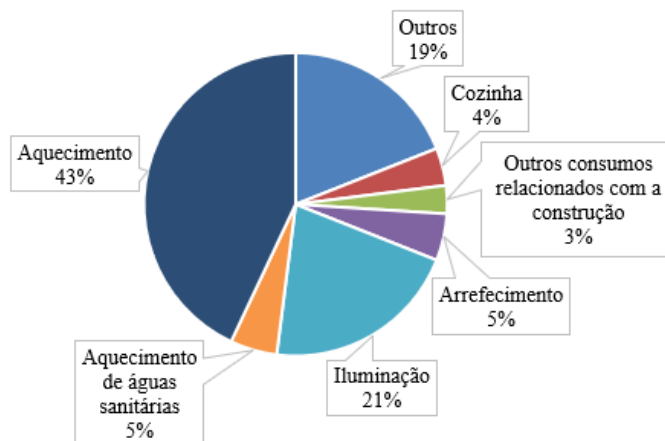


Figura 2. Balanço energético dos hospitais da Europa (adaptado de [5]).

Nos hospitais em Portugal, a distribuição do consumo de energia está representada na figura 3.

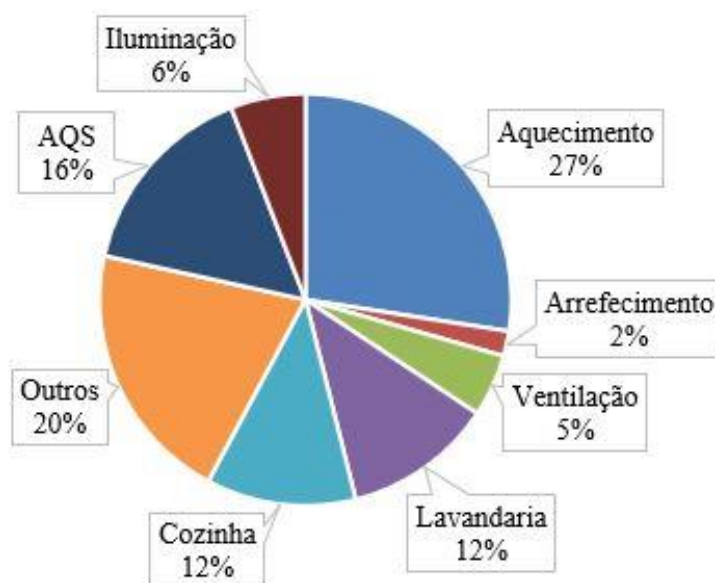


Figura 3. Distribuição da energia dos hospitais em Portugal (adaptado de [6]).

Por comparação com a distribuição de energia dos hospitais a Norte da Europa e em Portugal, verifica-se que no Norte da Europa existe uma maior percentagem em energia para aquecimento e arrefecimento do que em Portugal. Esta diferença provavelmente deve-se às condições climáticas mais agressivas a Norte da Europa.

1.2 Objetivos

O trabalho desenvolvido ao longo deste relatório é importante e de grande preocupação na atualidade, tendo como principais objetivos:

- Avaliar quais as alterações impostas aos sistemas AVAC depois do aparecimento do vírus Covid-19 (situação pandémica);
- Avaliar quais os impactos nos sistemas AVAC, nos consumos de energia e na classificação energética, depois do aparecimento do vírus Covid-19, comparativamente à situação antes do aparecimento do vírus Covid-19 (situação base, pré-Covid-19);
- Dimensionar os equipamentos do projeto AVAC do edifício em estudo;
- Atribuir a classe energética ao edifício em estudo;
- Perceber quais os custos associados à energia consumida.

1.3 Estrutura do Relatório

O presente relatório está organizado em 6 capítulos.

O capítulo 1 efetuou-se a contextualização do tema e descreveu-se os objetivos principais da dissertação, terminando com um resumo dos capítulos.

No capítulo 2 é apresentado conceitos teóricos sobre a qualidade do ar interior e respetivos requisitos impostos pela legislação, os sistemas AVAC e eficiência energética, principalmente em hospitais. Também apresenta orientações sobre os sistemas AVAC nos hospitais na situação pandémica.

O capítulo 3 são descritos os métodos que foram utilizados para a elaboração do caso prático, bem como as comparações entre as simulações energéticas elaboradas pelo *software* HAP da *Carrier* e ainda uma análise dos custos dos consumos de energia.

No capítulo 4, para além das principais conclusões, obtidas com o trabalho desenvolvido, apresentam-se sugestões para trabalho futuro.

Por último, o capítulo 5 e 6 apresentam, respetivamente, a bibliografia utilizada para o desenvolvimento do caso de estudo e os anexos.

1.4 Empresa

A empresa VHM é sediada na região do Porto, com delegações em Lisboa e Coimbra, e está presente em vários continentes. Foi fundada em 1993 e conta hoje com 270 colaboradores especializados, é uma empresa de consultoria global nas áreas de engenharia e arquitetura.

Importa referir que, devido à atual situação pandémica, a equipa VHM foi obrigada a entrar em regime de teletrabalho, o que impossibilitou o conhecimento da mesma.

Tendo em conta a cooperação estabelecida entre a empresa VHM e o Instituto Politécnico do Porto, foi sugerido pelo Sr. Engenheiro Hugo Pereira para desenvolver o tema, muito atual, para perceber quais as mudanças que o aparecimento do vírus Covid-19 apresenta em meio hospitalar, mais concretamente, a diferença dos consumos energéticos.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 QUALIDADE DO AR INTERIOR

2.2 QUALIDADE DO AR INTERIOR EM HOSPITAIS

2.3 SISTEMAS AVAC EM HOSPITAIS

2.4 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFÍCIOS

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Qualidade do Ar Interior

Desde há muitos séculos, a qualidade do ar tem vindo a ser uma preocupação para o Homem, e esta tem vindo a crescer devido ao aumento da poluição. Em edifícios, é ainda desejável que o ambiente do ar interior seja agradável para que não haja impacto negativo na saúde [7].

Há muito tempo atrás, a atenção e os recursos estavam concentrados apenas no controlo da poluição do ar exterior. Só no final de 1970, surgiram as pesquisas sobre a Qualidade do Ar Interior (QAI) de modo a prevenir as doenças no trabalho industrial. Com as crises petrolíferas, as medidas para a redução do consumo de energia levaram a que houvesse uma diminuição drástica dos caudais de ar novo insuflado nos edifícios que dispunham de sistemas de ventilação. Desde então, tem havido mudanças tecnológicas e no *design* dos edifícios, bem como na adaptação dos sistemas de ventilação dos edifícios.

A questão do conforto foi sendo valorizada, sempre com o objetivo de garantir ao Homem locais adequados para o seu bem-estar, seja na sua habitação, no seu local de trabalho ou nas suas atividades, de forma a proporcionar uma melhor e maior produtividade, não podendo ser descurado o caso de edifícios hospitalares [8].

A OMS tem vindo a reconhecer que os principais riscos ambientais para a Saúde Pública estão relacionados com os problemas de QAI.

A definição de QAI aceitável é definido pela ASHRAE (*American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers*) da seguinte forma:

“ar, no qual existem contaminantes conhecidos em concentrações nocivas determinadas pelas autoridades competentes e com qual uma maioria substancial (mais de 80%) das pessoas expostas não expressam insatisfação.” [9].

Já a OMS define a QAI aceitável como:

“a natureza física e química do ar interior que é respirado pelos ocupantes de um edifício e que produz um completo bem-estar, mental, físico e social, não podendo provocar absentismo, doenças ou debilidades.” [9].

A OMS tem vindo a confirmar da qualidade do ar interior como determinante na saúde pública, identificando fatores que é necessário ter em atenção ou controlo [10]:

- A existência de uma grande variedade de fontes de poluição do ar de espaços interiores;

- A especificidade de algumas exposições em espaços interiores em termos de composição da poluição e níveis de exposição;
- A exposição da população por períodos de tempo longos passados em ambientes interiores;
- A separação dos espaços interiores e exteriores que podem modificar a exposição a determinados poluentes.

Existem dados científicos que indicam que os problemas de saúde e queixas estão associados à baixa qualidade de ambiente interior. Por isso, é necessária uma avaliação da QAI com o objetivo de isolar ou abrandar problemas existentes do ar ambiente de edifícios. Os problemas podem ser tratados no local, por alguém que entenda do funcionamento e da estrutura técnica dos assuntos de QAI.

Desta forma, os problemas podem ser divididos em duas categorias, tais como [9]:

- Síndrome do Edifício Doente – *Sick Building Syndrome* (SBS);
- Doenças Relacionadas com o Edifício – *Building Related Illness* (BRI).

Síndrome do Edifício Doente

SBS é designação dada a um grupo de sintomas de difícil identificação, associados à ocupação de um edifício em particular. Os indivíduos que permanecem no edifício apresentam alguns sintomas, mas quando deixam o local os sintomas podem atenuar, ou até mesmo desaparecer.

Os sintomas associados a SBS, normalmente, são irritação nos olhos, garganta e nariz, obstrução nasal, fadiga, dores de cabeça e falta de concentração. Estes sintomas, normalmente, ocorrem com mais frequência em edifícios com sistemas AVAC, por comparação com os edifícios com ventilação natural [9].

Doenças Relacionadas com o Edifício

BRI é a designação dada a uma doença diagnosticável, cujos sintomas estão diretamente relacionados com uma fonte específica de poluição no interior do edifício. Ao contrário de SBS, os sintomas de BRI persistem após a saída do edifício [11].

Os sintomas associados a BRI são: tosse, aperto no peito, febre, arrepios, dores musculares, pneumonia e a doença do Legionário. Esta doença é provocada por uma bactéria, a *Legionella pneumophila*, a qual vive em ambientes húmidos, multiplicando-se preferencialmente em água a 37 °C e espalhando-se através das condutas dos sistemas AVAC [8].

De modo a evitar este tipo de problemas de saúde pública é necessária uma boa manutenção nos serviços de ventilação dos edifícios, removendo a fonte de poluição, utilizando filtros e processos adequados para a limpeza do ar. Os ocupantes dos edifícios

também têm de estar sensibilizados para as boas práticas de prevenção de QAI, cumprindo com as regras de higiene e realizando a limpeza com frequência.

2.1.1 Poluentes que influenciam a qualidade do ar interior

A qualidade do ar interior é um aspeto que deve ser valorizado, com um grau de importância alto. Para uma boa QAI é necessário um grau elevado de pureza do ar, grandes caudais de ar e uma boa filtração do ar.

Existem muitos poluentes que influenciam a qualidade do ar interior, tais como poluentes microbiológicos e físico-químicos.

2.1.1.1 Poluentes microbiológicos

A contaminação do ar interior por microrganismos podem causar problema sérios na saúde dos ocupantes. No Decreto-Lei n.º 102-A/2020, de 9 de dezembro, estão descritos vários agentes biológicos que são prejudiciais para a saúde, dos quais fazem parte o grupo das bactérias, parasitas, fungos e vírus. Estes agentes biológicos estão divididos em classes, consoante a sua perigosidade [12].

Na tabela 1 estão representadas as classes dos agentes biológicos.

Tabela 1. Classificação dos agentes biológicos, por classes [12].

Agente biológico			
Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4
Agente biológico cuja probabilidade de causar doenças no ser humano é baixa	Agente biológico que pode causar doenças no ser humano e constituir um perigo para os trabalhadores, sendo escassa a probabilidade de se propagar na coletividade e para o qual existem, em regra, meios eficazes de profilaxia ou tratamento	Agente biológico que pode causar doenças graves no ser humano e constituir um risco grave para os trabalhadores, sendo suscetível de se propagar na coletividade, mesmo que existam meios eficazes de profilaxia ou de tratamento	Agente biológico que causa doenças graves no ser humano e constitui um risco grave para os trabalhadores, sendo suscetível de apresentar um elevado nível de propagação na coletividade e para o qual não existem, em regra, meios eficazes de profilaxia ou de tratamento

As bactérias são agentes biológicos que podem agregar-se em grupo ou podem isolar-se. Quanto à parede celular, podem ser classificadas em bactérias de *Gram*-positivas ou *Gram*-negativas. As bactérias de *Gram*-positivas são de origem humana e, geralmente, não apresentam risco para a saúde. Já as bactérias de *Gram*-negativas podem ser potencialmente patogênicas para o Homem. Os diâmetros das bactérias variam entre os 0,25 e 8 μm [13].

Os parasitas são organismos muito complexos e de tamanho muito variável. Os parasitas unicelulares variam de diâmetro entre os 1 a 2 μm , enquanto que os parasitas pluricelulares podem medir até 10 μm de comprimento.

Os fungos, podem ser seres unicelulares e pluricelulares, cujo seu *habitat* natural é o solo. Certas condições ambientais podem ser propícias para a presença dos fungos originando reações alérgicas, infecções ou até mesmo intoxicações aos ocupantes do edifício em causa. As suas dimensões estão compreendidas entre 1 a 30 μm .

Por último, os vírus são seres constituídos por material genético que precisam sempre de um hospedeiro para se reproduzirem. O seu tamanho varia entre os 18 nm e os 300 nm. Neste grupo de agentes biológicos está inserido o novo Coronavírus, pertencendo à classe 3.

Na Portaria n.º 353-A/2013 de 4 de dezembro estão descritas as condições de referência para cada fator microbiológico [14]. Na tabela 2 esquematiza-se esses valores.

Tabela 2. Condições de referência para os fatores microbiológicos [14].

Fatores microbiológicos	Limiar de proteção
Bactérias	Inferior à concentração detetada do ar exterior + 350 UFC/m ³
<i>Legionella spp</i>	100 UFC/L na água 1000 UFC/L em torres de arrefecimento 0 UFC/L no ar
Fungos	Inferior à concentração detetada do ar exterior

2.1.1.2 Poluentes físico-químicos

O dióxido de carbono é um gás incolor e inodoro, libertado pelas atividades do ser humano e está presente na atmosfera como parte do ciclo do carbono. Para além de ser produzido pela respiração do ser humanos, é também produzido durante e pela combustão incompleta (como por exemplo, a queima de madeira nas lareiras). Em níveis de concentração elevadas, o CO₂ pode provocar sonolência, dores de cabeça, fadiga, náuseas, dificuldades de concentração, entre outros sintomas. No entanto, em concentrações baixas no interior do edifício é praticamente inofensivo.

O monóxido de carbono é também um gás inodoro e incolor, mas prejudicial para a saúde quando ocorre em ambientes com défice de oxigénio. Em concentrações baixas, os ocupantes podem sentir dores de cabeça e náuseas. À medida que a concentração aumenta, o gás torna-se cada vez mais prejudicial, podendo até mesmo provocar a falência dos ocupantes. A *Standard 62.1-2019* da ASHRAE, estabelece um limite de exposição, para uma média de 8 horas, para a qual a concentração de CO não deve exceder os 9 ppm [15].

O formaldeído, com fórmula química de CH_2O , é um gás que é facilmente detetado pelo Homem devido à sua característica de odor forte. Este gás é extremamente radioativo e inflamável à temperatura e pressão ambiente. Os materiais que compõem o edifício podem ser as principais fontes de formaldeído, como os isolamentos térmicos e acústicos, colas de madeira, produtos de limpeza, tintas, entre outros.

Os compostos orgânicos voláteis, COVs, são substâncias químicas constituídas por carbono que, geralmente evaporam à temperatura ambiente. Os COVs são gases incolores e tóxicos. Uma exposição prolongada pode originar dores de cabeça, arritmias cardíacas, sintomas de depressão do sistema nervoso central, irritação nos olhos e no nariz.

Por último, o Radão é um gás incolor e inodoro. Normalmente, o radão existe em zonas graníticas (como por exemplo, Porto, Braga, Guarda, Viseu, Castelo Branco e Vila Real) ou no solo. Os ocupantes expostos a este gás podem ter doenças cancerígenas, nomeadamente cancro nos pulmões [10].

Todos os compostos químicos, como dióxido de carbono, monóxido de carbono, formaldeído, COVs e Radão, prejudicam a qualidade do ar interior, desta forma são designados como contaminantes do ar interior.

Na Portaria n.º 353-A/2013, de 4 de dezembro, estão representados os limiares de proteção e margem de tolerância para cada contaminante do ar interior [14]. Na tabela 3 esquematizam-se esses valores.

Tabela 3. Limiar de proteção e margem de tolerância para os poluentes físico-químicos [14].

Contaminante	Limiar de proteção	Margem de tolerância (%)
Dióxido de carbono, CO_2	2250 mg/m^3 1250 ppmv	30
Monóxido de carbono, CO	10 mg/m^3 9 ppmv	-
Formaldeído, CH_2O	100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 0,08 ppmv	-
Compostos orgânicos voláteis, COVs	600 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	100
Radão, Rn	400 Bq/m^3	-

Os limiares de proteção indicados para cada contaminante dizem respeito a uma média de exposição de 8 horas. As margens de tolerância são aplicáveis para edifícios novos e sem sistemas mecânicos de ventilação [14].

2.1.2 Mecanismos de ventilação

Os sistemas de ventilação são fundamentais no controlo da QAI, em edifícios hospitalares.

A renovação de ar é conseguida pela existência de insuflação de ar novo e extração de ar contaminado. O processo de renovação de ar pode ser realizado por diferentes sistemas de ventilação.

De seguida são apresentados dois tipos de sistemas de ventilação: ventilação natural e ventilação mecânica.

2.1.2.1 Ventilação natural

A ventilação natural é definida como a renovação de ar sem recurso a elementos mecânicos: ou seja, resulta da entrada de ar fresco no interior do edifício, substituindo o ar poluído que se encontra no seu interior. A entrada de ar exterior é efetuada maioritariamente através de aberturas na fachada, por portas e janelas.

O fluxo de ar que atravessa o edifício é gerado pelas pressões produzidas pelo vento na envolvente do edifício e/ou pelas diferenças de pressão geradas pelas diferenças de densidade do ar, que por sua vez são causadas pelas diferenças de temperatura entre o interior do edifício e o ambiente externo [15].

Por outro lado, é gerada ventilação com efeito de chaminé, porque o ar frio é mais denso que o ar quente; ou seja, num edifício aquecido é visualizada uma diferença de pressão entre o ambiente exterior (ar frio) e o interior (ar quente). O ar quente dentro do edifício é menos denso e tem tendência a subir e escapar pelas aberturas a nível superior (por exemplo, as frinchas) e o ar frio do exterior entra pelas aberturas a nível baixo.

2.1.2.2 Ventilação mecânica

Os sistemas de ventilação mecânica, podem assegurar os caudais de ventilação pretendidos e minimizar o efeito das infiltrações de ar pela envolvente associados a condições climáticas adversas [16]. A eficiência energética de ventilação é melhorada através da recuperação de calor do ar de exaustão e da ventilação controlada. Com o sistema de ventilação mecânica é possível controlar o aquecimento e/ou arrefecimento do ambiente interior do edifício, e as diferenças de pressão sobre a envolvente do edifício prevenindo os danos causados pela possível humidade existente [7].

Os sistemas de ventilação mecânica podem apresentar algumas particularidades: Assim na:

- Extração mecânica localizada e individual - a admissão de ar novo é realizada por ventilação natural, por intermédio de grelhas ou aberturas. A extração do ar é assegurada por ventiladores, normalmente, associados a redes de condutas dotadas de grelhas e/ou bocas de extração;
- Insuflação mecânica - admissão de ar através de uma rede de condutas e ventiladores, e a exaustão através de aberturas, frinchas ou grelhas;
- Ventilação mecânica de duplo fluxo - a admissão e extração do ar é assegurada através de uma rede de condutas e ventiladores.

Segundo o RECS, a ventilação mecânica deve garantir a distribuição homogénea do ar novo em toda a zona ocupada do espaço, e a existência de sistemas de ventilação apropriados para a renovação do ar interior, de forma a garantir o caudal mínimo de ar novo de acordo com o RECS; considerando a eficácia de remoção de poluentes garantida pelo sistema na zona ocupada [14].

2.1.3 Caudal mínimo de ar novo

O caudal mínimo de ar novo pode ser calculado pelo método analítico ou pelo método prescritivo. No entanto, o caudal mínimo de ar novo de um edifício é calculado em função da área do edifício e da ocupação, e comparar os dois valores, sendo que o valor a considerar deverá ser o maior dos dois.

O método analítico para o cálculo do caudal mínimo de ar novo relaciona a evolução temporal da concentração de CO₂ previsível no espaço com o do perfil de ocupação, perfil de ventilação e características físicas dos ocupantes (expressão 1) [14].

$$Q_{AN} = \frac{G}{C_{ip} - C_{ext}} \quad [1]$$

Em que,

Q_{AN} – valor de caudal de ar novo, m³/h;

G – Taxa de geração de CO₂, m³/h ou mg/h;

C_{ip} – Limiar de proteção para a concentração de CO₂ no ar interior, mg/m³ ou m³/m³;

C_{ext} – Valor médio típico da concentração no ar exterior do CO₂, para a zona onde se insere o edifício, mg/m³ ou m³/m³.

O método prescritivo é baseado na determinação dos caudais de ar novo que garantem a diluição da carga do poluente devido [14]:

- Aos ocupantes do espaço e em função do tipo de atividade física (atividade metabólica);
- Ao próprio edifício e em função do tipo de materiais usados na construção, nos revestimentos das superfícies e no mobiliário.

O cálculo do caudal mínimo de ar novo é realizado através da equação 2.

$$Q_{AN} = M_{med} \cdot Q_{AN,1met} \quad [2]$$

Em que,

M_{med} – média ponderada do nível de atividade metabólica, met;

$Q_{AN,1met}$ – caudal mínimo de ar novo para o nível de atividade metabólica igual a 1, $m^3/(h.pessoa)$.

Na tabela 4 são apresentados os valores de caudais de ar novo por tipo de espaço para uma pessoa.

Tabela 4. Caudal mínimo de ar novo por tipo de espaço para uma pessoa [14].

Exemplo de tipo de espaço	Caudal de ar novo, $m^3/(h.pessoa)$
Quartos, Dormitórios e similares	16
Salas de repouso, Salas de espera, Salas de conferências, Auditórios e similares, Bibliotecas	20
Escritórios, Gabinetes, Secretarias, Salas de aula, Cinemas, Salas de espetáculo, Salas de Refeições, Lojas e similares, Museus e galerias, Salas de convívio, Salas de atividade de estabelecimentos de geriatria e similares.	24
Salas de jardim de infância e pré-escolar e Salas de creche	28
Laboratórios, Ateliers, Salas de Desenho e Trabalhos Oficiniais, Cafés, Bares, Salas de Jogos e similares	35
Pistas de dança, Salas em ginásios, Salas de <i>ballet</i> e similares	49
Salas de musculação, Salas em ginásios e pavilhões desportivos e similares	98

Para estar em conformidade com o RECS, o caudal mínimo de ar novo determinado pelo método prescritivo terá de ser superior ao caudal do edifício em função da área [14]. No entanto, o valor do caudal de ar mínimo a introduzir nos espaços considerados deve ser corrigido pela eficácia de remoção de poluentes, através da equação 3.

$$Q_{ANf} = \frac{Q_{AN}}{\varepsilon_v} \quad [3]$$

Onde,

Q_{ANf} – valor do caudal de ar novo final corrigido da eficácia, m^3/h ;

ε_v – valor de eficácia de remoção de poluentes.

A ε_v avalia de que forma um poluente existente no ar interior é removido do compartimento em análise pelo sistema de ventilação. Os valores de ε_v são apresentados na tabela 5, e dependem do método de ventilação e da diferença de temperatura entre o ar insuflado e o ar na zona ocupada do espaço.

Tabela 5. Valores de eficácia para diferentes métodos de ventilação [14].

Configuração da distribuição de ar na zona	ε_v
Insuflação pelo teto, ar frio	1
Insuflação pelo teto e extração junto ao pavimento, ar quente	1
Insuflação pelo teto, de ar quente pelo menos 8 °C acima da temperatura do local e extração/retorno pelo teto	0,8
Insuflação pelo teto, de ar quente pelo menos 8 °C acima da temperatura do local e extração/retorno pelo teto, desde que o jato de ar de insuflação, tenha velocidade superior a 0,8 m/s e alcance até 1,4 m do pavimento (nota: para velocidades mais baixas $\varepsilon_v = 0,8$)	1
Insuflação de ar frio junto ao pavimento e extração/retorno junto ao teto, desde que o jato de ar de insuflação com uma velocidade de 0,8 m/s, tenha um alcance de 1,4 m ou mais, em relação ao pavimento.	1
Insuflação de ar frio a baixa velocidade junto ao pavimento e extração junto ao teto, numa estratégia de ventilação do tipo deslocamento, proporcione um fluxo unidirecional e estratificação térmica	1,2
Insuflação de ar quente junto ao pavimento e extração junto ao pavimento, no lado oposto do compartimento	1
Insuflação de ar quente junto ao pavimento e extração/retorno junto ao teto	0,7
Admissão natural de ar no lado oposto do compartimento em relação ao ponto de extração/retorno mecânica	0,8
Admissão natural de ar junto ao ponto de extração/retorno mecânica	0,5
Insuflação de ar quente junto ao pavimento e extração/retorno junto ao teto, no mesmo lado do compartimento ou em localização próxima	0,5
Insuflação de ar frio junto ao teto e extração/retorno junto ao pavimento, do mesmo lado do compartimento ou em localização próxima	0,5

2.1.4 Filtragem do ar

A filtragem do ar é a tecnologia mais usada para remover partículas de um caudal de ar devido à sua facilidade e flexibilidade [17].

Os filtros podem reter os contaminantes particulados, incluindo patogénicos e microbiológicos, e removê-los do ar circundante. Existem vários tipos de filtros que podem ser usados, consoante o grau de limpeza que é desejado.

A norma europeia EN 779:2012, classifica os filtros de acordo com a sua eficiência média de remoção para as condições de um caudal de ar de 3400 m³/h, caso não seja especificado pelo fabricante. Os filtros são divididos por tamanho: grosseiro, médio e fino [18]. A tabela 6 mostra a classificação e a sua eficiência para cada filtro, respetivamente.

Tabela 6. Classificação dos filtros, segundo a norma europeia EN 779:2012 [18].

Grupo	Classe	Queda de pressão final (Pa)	Retenção média de pó sintético (A_m %)	Eficácia média para partículas de 0,4 μm (E_m %)
Grosseiro	G1	250	$A_m < 65$	-
	G2	250	$65 \leq A_m < 80$	-
	G3	250	$80 \leq A_m < 90$	-
	G4	250	$A_m \geq 90$	-
Médio	M5	450	-	$40 \leq E_m < 60$
	M6	450	-	$60 \leq E_m < 80$
Fino	F7	450	-	$80 \leq E_m < 90$
	F8	450	-	$90 \leq E_m < 95$
	F9	450	-	$E_m \geq 95$

No entanto, a norma europeia recomenda a instalação de pré-filtros (classe G1 a G4) antes dos filtros principais (M e F), conforme mostra a figura 4. Um pré-filtro tem uma eficiência de 25 a 30 %, deve ser colocado a montante de uma bateria de arrefecimento/aquecimento de modo a remover as partículas de maior dimensão. Este tipo de filtro é também usado para que a vida útil do filtro final seja prolongada. O filtro final, deve ter pelo menos uma eficiência de 90 %, de modo a filtrar quase todos os fungos de diâmetro entre 2 - 5 μm e bactérias com diâmetros de 1 μm ou superiores [19].

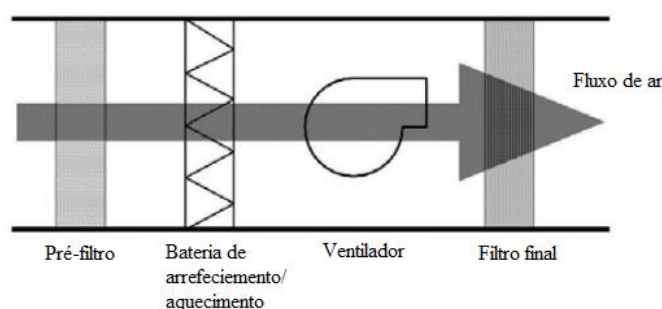


Figura 4. Configuração de um sistema de filtragem (adaptado de [19]).

Além deste tipo de filtros, existem ainda os filtros que elevada eficiência que normalmente, são utilizados em aplicações muito específicos, tais como: hospitais, indústrias farmacêuticas, nuclear e eletrônica, laboratórios, etc. A norma europeia 1822:2009 classifica estes filtros de acordo com a sua eficiência [20], conforme apresentado na tabela 7.

Tabela 7. Classificação dos filtros de alta eficiência segundo a norma europeia EN 1822:2009 [20].

Filtro	Classe	Eficiência (%)
EPA	E10	≥ 85
	E11	≥ 95
	E12	$\geq 99,5$
HEPA	H13	$\geq 99,95$
	H14	$\geq 99,995$
ULPA	U15	$\geq 99,9995$
	U16	$\geq 99,99995$
	U17	$\geq 99,999995$

Nos hospitais, existem situações onde a eficiência de filtração deve ser máxima, como é o caso das salas de isolamento ou blocos operatórios. Neste tipo de casos, é instalado no final na UTA um filtro capaz de remover as partículas mais finas, assegurando a entrada de um ar praticamente livre de contaminantes. Os filtros HEPA (*High Efficiency Particulate Air filter*), com uma elevada eficiência para partículas com diâmetro $\geq 0,3 \mu\text{m}$, podem ser instalados antes do ar ser extraído para o exterior de modo a remover todos os contaminantes, mas nem sempre se aplica devido ao seu custo elevado [19].

A *Standard 52.2-2017* da ASHRAE impõe a classificação dos filtros por três faixas de tamanhos, que são E1 (0,3 a 1,0 μm), E2 (1,0 a 3,0 μm) e E3 (3,0 a 10,0 μm). Dependendo do tipo de eficiência, a classificação dos filtros em MERV (*Minimum Efficiency Reporting Value*) é feita numa escala de 1 a 16, para cada faixa de tamanhos [21]. Esta classificação é apresentada na tabela 8.

Tabela 8. Classificação do MERV segundo a *Standard 52.2-2017* da ASHRAE [21].

MERV	E1 (0,3 a 1,0 µm)	E2 (1,0 a 3,0 µm)	E3 (3,0 a 10,0 µm)
1	-	-	$E < 20$
2	-	-	$E < 20$
3	-	-	$E < 20$
4	-	-	$E < 20$
5	-	-	$20 \leq E < 35$
6	-	-	$35 \leq E < 50$
7	-	-	$50 \leq E < 70$
8	-	-	$70 \leq E$
9	-	$E < 50$	$75 \leq E$
10	-	$50 \leq E < 65$	$80 \leq E$
11	-	$65 \leq E < 80$	$85 \leq E$
12	-	$80 \leq E$	$90 \leq E$
13	$E < 75$	$90 \leq E$	$90 \leq E$
14	$75 \leq E < 85$	$90 \leq E$	$90 \leq E$
15	$85 \leq E < 95$	$90 \leq E$	$90 \leq E$
16	$95 \leq E$	$95 \leq E$	$95 \leq E$

A classificação MERV depende do tipo de contaminante e do tipo de aplicação. Assim, a tabela 9 apresenta os principais contaminantes e aplicações para cada classificação.

Tabela 9. Contaminantes e aplicações da classificação dos filtros MERV [21].

MERV	Tamanho (μm)	Contaminantes	Aplicação
1 – 4	> 10,0	Pólen, ácaros da poeira, detritos de barata, poeira de lixamento, pó de pintura com pulverizador, fibras têxteis, fibras do tapete	Ar condicionado residencial de janela
5 – 8	10,0 – 3,0	Mofo, esporos, detritos do ácaro do pó, pelos de gato e de cão, <i>spray</i> de cabelo, aspiradores de pó, leite em pó	Residências, instalações comerciais e espaços de trabalho industriais
9 – 12	3,0 – 1,0	<i>Legionella</i> , pó de humidificador, pó de chumbo, farinha moída, emissões automotivas, gotículas de nebulizador	Laboratórios hospitalares, residências superiores e instalações comerciais
13 – 16	1,0 – 0,3	Bactérias, núcleos de gotículas (espirros), óleo de cozinha, a maioria dos fumos, inseticida, a maioria das maquiagens e a maioria dos pigmentos de pintura	Hospitais e cirurgia geral

2.1.5 Requisitos regulamentares de ventilação e qualidade do ar interior

A Portaria n.º 353-A, de 4 de dezembro de 2013, impõe requisitos nos sistemas de climatização e/ou ventilação mecânica para edifícios de comércio e serviços. Esses requisitos têm de ser cumpridos para que os edifícios de comércio e serviços estejam de acordo com o RECS, para tal devem verificar os seguintes termos [22]:

- Inexistência de material isolante do sistema de condutas em contacto direto com o ar circundante;
- Existência de acessos fáceis para a inspeção e manutenção de filtros, baterias/permutadores de calor, tabuleiros de condensados, torres de arrefecimento, unidades de tratamento do ar interior e/ou ar novo (respetivamente, UTA e UTAN), ventiladores e rede de condutas de acordo com a NP EN 12097;
- Nas UTA ou UTAN, que movimentem mais de 1500 m³/h de ar, caso sejam previsíveis condensações nas baterias de arrefecimento ou quaisquer permutadores, existência de tabuleiros que assegurem a recolha e evacuação rápida dos condensados, que não permitam a acumulação de água, equipados com sifões que evitem a passagem de odores e ligados preferencialmente à rede de drenagem de água pluviais do edifício;
- Necessidade de instalação de separador de gotas, nos casos em que a velocidade frontal do ar, na passagem pelas baterias de arrefecimento nas UTA ou UTAN,

- seja igual ou superior a 2,5 m/s, acompanhada da salvaguarda de acesso aos mesmos para manutenção, inspeção e limpeza;
- Existência, nas UTA ou UTAN que movimentem mais de 1500 m³/h de ar, de módulos de filtragem que tenham sido ensaiados de acordo com as normas EN 779 ou EN 1822, rotulados individualmente, de classe adequada, tendo em conta a qualidade do ar exterior e a do ar interior e preconizando, no mínimo, a existência de um andar de filtragem composto por, pelo menos, um filtro, nas seguintes condições:
 - i. Classificação mínima de F5, antes de qualquer bateria ou recuperador de calor;
 - ii. Classificação mínima de F7, a jusante de ventiladores com motores e transmissão por correias em contacto com o ar circulante;
 - iii. Classificação mínima de F7, a jusante de atenuadores acústicos, exceto nos casos onde se verifique a existência de um certificado que ateste a não desagregação do elemento acústico, emitido por laboratório acreditado, dispensando neste caso o referido na subalínea anterior.
 - Existência, nas UTA ou UTAN que movimentem mais de 1500 m³/h de ar, de pressostato diferencial para monitorização do grau de colmatação dos filtros e alerta para substituição, com especificação do valor de regulação;
 - Proteção das aberturas das partes do sistema de ventilação, extremidades das condutas, aberturas de UTA e UTAN, e demais componentes durante o transporte, armazenamento e instalação;
 - Garantia das adequadas condições de captação de ar novo, assegurando as distâncias mínimas relativamente aos locais de emissões poluentes que constam na tabela 10, ou outras estabelecidas em normalização internacional, nomeadamente na norma EN 13779 ou na *Standard* 62.1-2019 da ASHRAE.

Tabela 10. Distâncias mínimas a respeitar entre admissões/entrada de ar e os diferentes locais com emissão de poluentes.

Local	Valor mínimo (m)
Pavimento (superfície abaixo da admissão de ar, telhado inclinado, etc)	0,3
Solo	2,0
Grelha de extração e exaustão de ar interior	5,0
Entradas de garagens	5,0
Respiradouros de colunas da rede de esgotos, chaminés e exaustões de equipamentos de combustão	5,0
Exaustões de torres de arrefecimento	7,5
Exaustões tóxicas ou perigosas	10,0

Nota: Caso não seja possível cumprir este termo, o técnico pode adotar outra solução, desde que não prejudique a qualidade do ar interior e garanta a salubridade do interior dos espaços, justificando devidamente a opção tomada.

A *Standard* 62.1-2019 da ASHRAE impõe os requisitos referentes à ventilação e à conceção dos sistemas de limpeza do ar, instalação, projeto, operação e manutenção. Estes requisitos são destinados a todos os espaços ocupados por humanos, com a exceção de residências unifamiliares, veículos e aeronaves. Impõe, também requisitos mínimos de taxas de ventilação para áreas internas ou fechadas com ocupantes humanos. Por exemplo, para salas de triagem nas urgências, é estabelecido uma taxa de ventilação de 5,0 L/s.pessoa ou 0,9 L/s.m² para uma densidade ocupacional de 20 pessoas por cada 100 m² [15].

2.2 Qualidade do Ar Interior em Hospitais

O controlo da qualidade do ar interior desempenha um papel importante na prevenção de infeções em hospitais para proteger a equipa do hospital e os pacientes, especialmente pacientes com um sistema imunitário mais debilitado uma vez que são altamente suscetíveis aos efeitos adversos de vários produtos químicos transportados pelo ar [19]. Um controlo inadequado da QAI de um hospital pode causar SBS, infeções e/ou doenças aos ocupantes do hospital.

As equipas dos hospitais lidam diariamente com poluentes microbiológicos e químicos, para tal é necessária uma boa qualidade do ar para que não contraiam nenhuma infeção ou sintomas associados à falta de conforto. Uma vez que as tarefas realizadas em meio hospitalar são exigentes, os níveis de concentração são elevados. Para tal, fatores como a sensação de bem-estar e de conforto da equipa hospitalar são necessários.

Um hospital é dividido em vários espaços e serviços, tais como: salas de espera, salas de operação, unidades de cuidados intensivos, salas de recobro, farmácias, salas de radiologia, laboratórios, serviço de urgência, entre outros. Para cada espaço, há diferenciação do ambiente, o que faz com que o controlo da qualidade do ar interior hospitalar seja mais complexo e exigente.

Os diferentes espaços dos hospitais são classificados de acordo com a sua capacidade de transmissão de infeções entre pacientes. Deste modo, são classificados com áreas críticas, semicríticas e não críticas [13].

Nas áreas críticas, onde se enquadram os blocos operatórios, os quartos de isolamento, as urgências, entre outros; os requisitos de QAI são os mais exigentes, onde a equipa do hospital investe na conceção e atualização de equipamentos, como por exemplo os sistemas AVAC.

As enfermarias e os consultórios são considerados áreas semicríticas onde existe a acumulação de poluentes e também o desconforto térmico. Associa-se as origens das infeções hospitalares em pacientes a estas áreas, agravada por vezes por uma ventilação inadequada.

Por último, as áreas não críticas são considerados os espaços onde não é expectável a deslocação de doentes, como vestuários e zonas administrativas. Nestas áreas, a QAI não é controlada e exigente.

Nas áreas semicríticas e não críticas, o controlo na QAI não é realizado de forma metódica e a falta de existência de conhecimento por parte da equipa do hospital sobre a importância da QAI leva à falta de melhoramento nas suas práticas.

Atualmente, os hospitais têm vindo a passar uma pressão enorme devido à quantidade de doentes infetados com o novo coronavírus, o que limita a correta manutenção dos hospitais colocando em risco a saúde dos mesmos e a QAI.

Segundo a OMS [23], a utilização de ventilação natural e ventilação mecânica controlam o risco de infeções em ambiente hospitalar. O uso de um sistema de ventilação bem projetado e limpo, pode evitar/reduzir o risco de propagação do vírus Covid-19 em espaços fechados. A decisão de utilização de ventilação natural ou mecânica deve ser baseada nas necessidades, disponibilidade de recursos e custo dos sistemas para fornecer um melhor controlo dos riscos de infeção.

Os requisitos implementados pela OMS para que haja uma ventilação natural com o objetivo de reduzir a propagação do vírus Covid-19 estão apresentados na tabela 11.

Tabela 11. Recomendações da OMS para o uso de ventilação natural [23].

Requisitos	Estratégias
<p>Taxa de ventilação recomendada não é cumprida (160 L/s/paciente dentro de uma sala da Unidade de Cuidados Intensivos (UCI) ou 60 L/s/paciente para outro tipo de sala)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Avaliar se as janelas e portas são adequadas para o processo de ventilação; ▪ Utilizar ventilação cruzada em vez de ventilação unilateral, tendo em consideração que a ventilação cruzada não deve ser utilizada dentro de uma sala da UCI, onde o ar de exaustão não seja controlado e quando o fluxo de ar passa das áreas menos limpas para áreas limpa; ▪ Caso não seja possível cumprir com uma ventilação mínima por paciente, deve-se reduzir a ocupação da sala; ▪ Utilizar filtros HEPA, colocando-os perto do paciente de modo a fornecer uma maior eficácia no tratamento da fonte de infeção.
<p>Quando o fluxo de ar passa das áreas menos limpas para as áreas mais limpas e seja cumprido a taxa de ventilação</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Considerar a modificação das áreas do paciente e da equipa médica para ser possível uma pressão negativa perto dos quartos do paciente; ▪ Instalar exaustores de ar de parede ou janela; ▪ Instalar um ventilador pedestal perto de uma janela aberta. Isto é, caso esteja voltado para fora, serve para puxar o ar do ambiente interior para o exterior; caso esteja voltado para dentro, serve para puxar o ar exterior para o interior da sala; ▪ Obras de construção para melhorar/capacitar o efeito chaminé; ▪ Nas salas da UCI: adicionar antessala para um melhor controlo do fluxo de ar, tendo em consideração que as portas não devem ser abertas ao mesmo tempo para separa o ar do quarto do paciente (área menos limpa) do ar do corredor (área limpa).
<p>O ar de exaustão não é administrado corretamente</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ O ar de exaustão deve ficar o mais longe possível da entrada de ar, caso não aconteça deve evitar-se a passagem de pessoas próximas dessas aberturas.

No entanto, também a OMS, faz recomendações para uma ventilação mecânica adequada. Essas recomendações são apresentadas na tabela 12.

Tabela 12. Recomendações da OMS para o uso de ventilação mecânica [23].

Requisitos	Estratégias
Taxa de ventilação recomendada não é cumprida (160 L/s/paciente dentro de uma sala da Unidade de Cuidados Intensivos (UCI) ou 60 L/s/paciente para outro tipo de sala)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Avaliar o aumento da taxa de ventilação de acordo com as capacidades do sistema; ▪ Caso não seja possível aumentar a taxa de ventilação, deve recorrer-se ao uso de ventilação natural; ▪ Reduzir a ocupação máxima da sala para atender o limite de L/s/paciente; ▪ Utilizar filtros HEPA, colocando-os perto do paciente de modo a fornecer uma maior eficácia no tratamento da fonte de infeção.
Quando o fluxo de ar passa das áreas menos limpas para as áreas mais limpas e seja cumprido a taxa de ventilação	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Considerar a modificação das áreas do paciente e da equipa médica para ser possível uma pressão negativa perto dos quartos do paciente; ▪ Alterar a direção do fluxo da sala, ou seja, alterando a localização dos dispositivos de exaustão e suprimento de ar; ▪ Nas salas da UCI: adicionar antessala para um melhor controlo do fluxo de ar, tendo em consideração que as portas não devem ser abertas ao mesmo tempo para separa o ar do quarto do paciente (área menos limpa) do ar do corredor (área limpa).
O ar de exaustão não é administrado corretamente	<ul style="list-style-type: none"> ▪ O ar de exaustão deve ficar o mais longe possível da entrada de ar, caso não aconteça deve evitar-se a passagem de pessoas próximas dessas aberturas; ▪ Avaliar a instalação de filtros HEPA de acordo com a capacidade do sistema.
Quando ocorre recirculação do ar	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Aumentar o caudal de ar novo, potencialmente até 100 %, verificando a capacidade dos recursos do sistema AVAC; ▪ Avaliar a instalação de filtros HEPA na conduta de retorno de ar, verificando se não existe diferenciais de pressão; ▪ Caso a recirculação de ar não poder ser modificada, aumentar o uso de ventilação natural como abertura de janelas.

Sistema AVAC está equipado com recuperador de calor	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Garantir a separação entre o ar de retorno e o ar de insuflação; ▪ Garantir a existência de um recuperador de calor ar - ar de fluxo cruzado; ▪ Utilizar recuperador de calor rotativo, equipados com setores de purga e vedações; ▪ Se existir fugas > 3 %, instalar um filtro HEPA caso as necessidades de o sistema AVAC assim o permitir.
O sistema AVAC não é limpo e não há substituição dos filtros HEPA	<ul style="list-style-type: none"> ▪ O sistema AVAC deve ser regularmente sujeito a manutenção; ▪ Substituir os filtros de acordo com as recomendações do fabricante.

2.2.1 Requisitos de ventilação em hospitais

2.2.1.1 Antes do aparecimento do vírus Covid-19

Os sistemas de ventilação são bastante importantes em ambientes hospitalares, devido à diversidade de espaços e atividades com diferentes níveis de exigência.

Em ambiente hospitalar, é necessário um controlo de diferenças de pressão entre áreas diferentes, uma vez que a circulação do ar é realizada dos espaços com maior pressão para os espaços de menor pressão. Estas diferenças de pressão são designadas como sobrepressão (pressão positiva) e subpressão (pressão negativa).

Nos espaços que requerem pressão positiva, o caudal de ar insuflado é maior que o caudal de ar extraído, evitando a contaminação do mesmo espaço através de espaços adjacentes. Os espaços hospitalares que requerem de pressão positiva são, por exemplo, os blocos operatórios.

Em espaços de pressão negativa, o ar extraído é superior ao ar insuflado, evitando a contaminação de espaços adjacentes. Os quartos de isolamento, para controlo de doenças infecciosas, apresentam uma subpressão de modo a evitar a saída do ar e, portanto, a contaminação de outras pessoas existentes nos espaços adjacentes [19]. A figura 5 mostra como pode ser efetuado o controlo de diferenças de pressão nos quartos de isolamento.

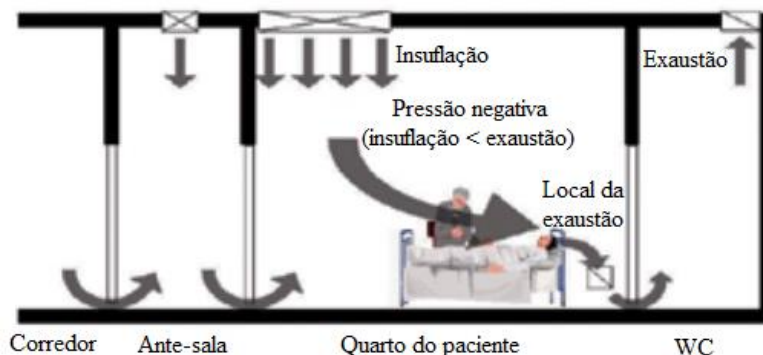


Figura 5. Controlo de diferenças de pressão em quartos de isolamento (adaptado de [19]).

Para além de existir um controlo de diferença de pressão, também é necessário que haja um controlo de temperatura e humidade relativa do ambiente interior, logo é necessário que haja um sistema de tratamento de ar integrado com um sistema de ventilação. Os sistemas de AVAC são muito importantes para o controlo de humidade em espaços hospitalares.

A Administração Central do Sistema de Saúde (ACSS) e a ASHRAE estabeleceram diferentes requisitos a adotar para diferentes espaços das unidades de saúde.

A tabela 13 especifica os requisitos impostos pela a ACSS e a ASHARE para os blocos operatórios (BO's).

Tabela 13. Requisitos para os blocos operatórios [24, 25].

Blocos operatórios		
	ACSS	ASHRAE
Observação	A UTA deve utilizar uma filtragem final mínima de F9	Deve ser instalado um filtro MERV 7 a montante das serpentinas de aquecimento/arrefecimento e um filtro MERV 14 a jusante
Diferencial de pressão	Sobrepessão	
Caudal de ar recirculado	20 rph	Não existe recirculação de ar
Caudal de ar novo	100 m ³ /h.pessoa (600 m ³ /h ou 5 rph, no mínimo)	4 rph
Condições ambiente	17 a 27 °C 30 a 60 % HR	20 a 24 °C 20 a 60 % HR

Em blocos operatórios, o fluxo do ar deve ser unidirecional de forma a não haver turbulência, evitando assim a mistura de patogénicos no ar. É aconselhável que nos BO's o fluxo do ar seja unidirecional vertical, conforme mostra a figura 6, com vista a reduzir a contaminação entre a equipa de cirurgia e o paciente [19].

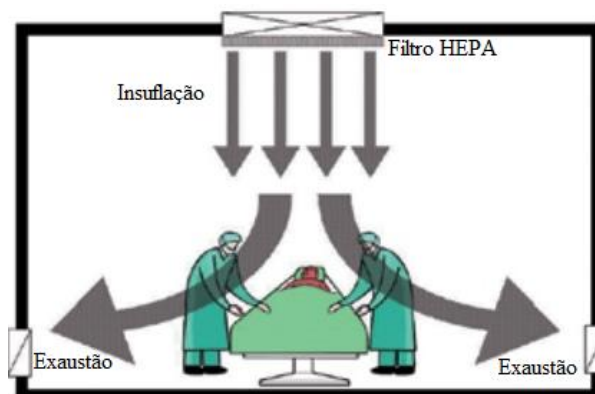


Figura 6. Fluxo de ar unidirecional vertical em BO (adaptado de [19]).

Comparando as especificações portuguesas com as americanas, verifica-se que a ACSS impõe que haja recirculação de 20 rph o que não acontece na ASHRAE. Verifica-se também que a ACSS é mais exigente na introdução do caudal de ar novo.

A tabela 14 e 15 mostra uma comparação entre os requisitos de ventilação em Unidade de Cuidados Intensivos (UCI) da ACSS e da ASHRAE.

Tabela 14. Requisitos para a unidade de cuidados intensivos - sala aberta [24, 25].

UCI – Sala aberta		
	ACSS	ASHRAE
Observação	A UTA deve utilizar uma filtragem final mínima de F9	Deve ser instalado um filtro MERV 7 a montante das serpentinas de aquecimento/arrefecimento e um filtro MERV 14 a jusante
Diferencial de pressão	Sobrepessão	Não tem requisito
Caudal de ar recirculado	10 rph	Não existe recirculação de ar
Caudal de ar novo	100 m ³ /h.pessoa	2 rph
Condições ambiente	24 °C 50 % HR	21 a 24 °C 30 a 60 % HR

Tabela 15. Requisitos para unidade de cuidados intensivos - quarto de isolamento de proteção/contenção [24, 25].

UCI – Quarto de isolamento de proteção/contenção		
	ACSS	ASHRAE
Observação	Destina-se a proteger das infeções fundamentalmente os imunodeprimidos	Deve ser instalado um filtro MERV 7 a montante das serpentinas de aquecimento/arrefecimento e um filtro HEPA a jusante
Diferencial de pressão	<u>Proteção:</u> Subpressão forte na adufa e sobrepressão no quarto <u>Contenção:</u> Sobrepressão na adufa e subpressão no quarto	<u>Proteção:</u> sobrepressão
Caudal de ar recirculado	Não existe ar de recirculação	
Caudal de ar novo	10 rph	2 rph
Condições ambiente	24 °C 50 % HR	21 a 24 °C máx. 60 % HR

Na tabela 16 resumem-se os requisitos de ventilação da ACSS e da ASHRAE para as urgências dos hospitais.

Tabela 16. Requisitos para a urgência do hospital [24, 25].

Urgência		
	ACSS	ASHRAE
Observação	São previstos sistemas independentes de extração de zonas de subpressão e sobrepressão. Instalação de filtros bacteriológicos na rejeição. Os gases ou poeiras, tóxicos ou agressivos, devem ser neutralizados antes da sua extração.	Deve ser instalado um filtro MERV 7 a montante das serpentinas de aquecimento/arrefecimento.
Diferencial de pressão	Subpressão	
Caudal de ar recirculado	Não existe ar de recirculação	Não tem requisitos
Caudal de ar novo	30 m ³ /h.pessoa	2 rph
Condições ambiente	25 °C no Verão 20 °C no Inverno	21 a 24 °C máx. 60 % HR

Na tabela 17 apresenta-se os requisitos de ventilação para as salas dedicadas exclusivamente a doenças infecciosas.

Tabela 17. Requisitos para doenças infecciosas [24, 25].

Doenças infecciosas		
	ACSS	ASHRAE
Observação	A UTA deve utilizar uma filtragem final mínima de F9	Deve ser instalado um filtro MERV 7 a montante das serpentinas de aquecimento/arrefecimento e um filtro MERV 14 a jusante
Diferencial de pressão	Subpressão	
Caudal de ar recirculado	Não existe ar de recirculação	
Caudal de ar novo	≥ 8 rph	2 rph
Condições ambiente	25 °C no Verão 20 °C no Inverno	21 a 24 °C máx. 60 % HR

As salas dedicadas exclusivamente a doenças infecciosas são salas onde apenas se encontram doentes infecciosos. Os requisitos entre a ASHRAE são menos exigentes que os da ACSS.

Os requisitos de ventilação para unidades hospitalares da *Standard 170* da ASHRAE são os mínimos de modo a fornecerem um conforto do ambiente interior. Deve ter-se em atenção, as trocas mínimas de ar especificadas nas tabelas 13, 14, 15, 16 e 17 bem como o tipo de filtros a serem usados [25].

Em espaços onde existe recirculação de ar, os sistemas AVAC devem apresentar, também, os seguintes requisitos [25]:

- Não receber ar do exterior não filtrado e não condicionado;
- Atender a um único espaço;
- Existir um filtro MERV6 para que o caudal de ar seja filtrado.

2.2.1.2 Depois do aparecimento do vírus Covid-19

O *European Centre for Disease Prevention and Control* (ECDC) definiu uma pirâmide de controlo de infeção tradicional (figura 7), onde a ventilação e as medidas do sistema AVAC encontram-se a um nível acima da aplicação de controlos administrativos e equipamentos de proteção individual. Desta forma, é importante ter em consideração as medidas recomendadas de ventilação para reduzir e mitigar a transmissão aérea de Covid-19 [2].

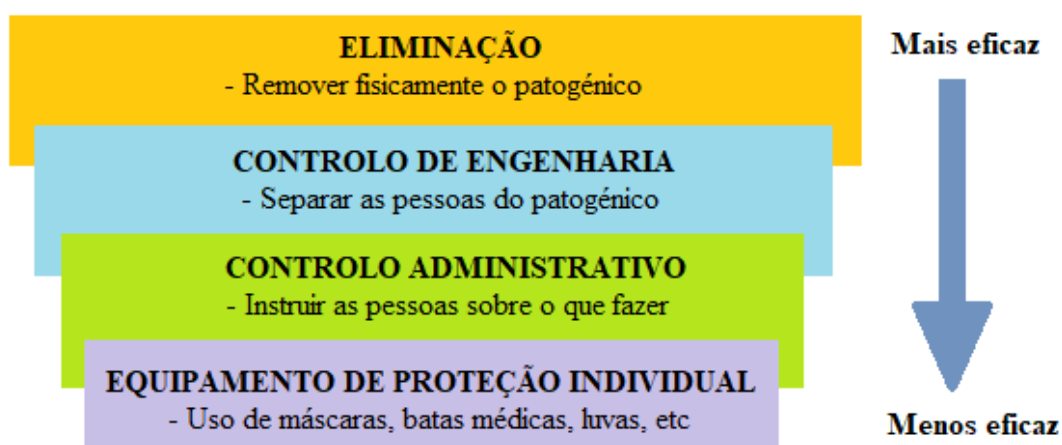


Figura 7. Pirâmide de controlo de infeção tradicional do ECDC (adaptado de [2]).

A implementação adequada e ideal de ventilação para cada ambiente interno pode ser fundamental na prevenção de surtos e transmissão. O ECDC afirma que aumentar as trocas de ar por hora, por meio de ventilação natural ou mecânica, reduzirá o risco de transmissão em espaços fechados.

Em hospitais, o risco de transmissão de Covid-19 é elevado por isso é necessário que haja um isolamento adequado dos doentes contagiados. Desta forma, nos hospitais existem salas de isolamento que evitam a propagação de poluentes transportados pelo ar com ventilação adequada, para isso a sala deverá ter uma pressão negativa em comparação com os espaços adjacentes.

Recomendações da REHVA

A REHVA (*Federation of European Heating, Ventilation and Air Conditioning Associations*) definiu algumas recomendações para diferentes espaços em meio hospitalar, tais como [2]:

- **Áreas normais/quartos de pacientes:** não é destinado para pacientes com doenças infecciosas. É recomendado, pelo menos 4 renovações de ar por hora (rph). De modo a prevenir qualquer tipo de infeção transportada pelo ar, é necessário um ajuste na ventilação. É recomendado, pelo menos 6 rph, o que equivale a 40 L/s por paciente, num quarto de 4x2x3 m³.
- **Áreas/enfermarias temporárias para pacientes com doenças infecciosas:** Os estabelecimentos de saúde sem salas de isolamento individuais suficientes nos departamentos de emergência, devem designar áreas/enfermarias bem ventiladas e separadas onde os pacientes com suspeita de Covid-19 possam esperar. Se possível, o sistema de ventilação deve ser atualizado para atender aos requisitos de salas de isolamento.
- **Salas de isolamento com infeções transmitidas pelo ar:** O ar da sala de isolamento deve ser expelido diretamente para o exterior, usando filtro HEPA, sempre que for possível, evitar contaminação cruzada se a saída de ar de exaustão estiver perto de janelas ou entradas de ar exterior.

Para salas de isolamento já existentes, a taxa de fluxo de ar deve ser entre 6 a 12 rph (por exemplo, equivalente entre 40 a 80 L/s por paciente para quarto de 4x2x3 m³). No entanto para novas construções, pelo menos 12 rph.

A sala de isolamento deve ter uma subpressão, recomendada, de maior ou igual a 5 Pa para garantir que o ar flua do corredor para o quarto do paciente. É recomendada a instalação de um sistema de alarme para o caso de não se conseguir manter a pressão negativa dentro da sala.

O ar de exaustão deve ser localizado diretamente acima da cama do paciente, no teto ou na parede.

As salas de isolamento devem ser o mais isolada possível, de forma a que não haja qualquer tipo de fuga de ar.

O ar extraído do quarto do paciente e do WC não deve ser recirculado e devolvido novamente ao quarto.

Recomendações da Direção Geral da Saúde

De forma a mitigar a transmissão por Covid-19 em hospitais, a Direção Geral da Saúde (DGS) de Portugal emitiu a Orientação n.º 33/2020 com recomendações que visam a adaptação dos sistemas de AVAC para os dias de hoje [26].

Os espaços ou serviços destinados a doentes infetados devem ser mantidos a uma pressão negativa de forma a assegurar que não haja a transmissão de contaminantes e microrganismos pelo ar. Deve ser assegurado 100 % de ar novo, com renovações de ar por hora superiores a 10 e ainda a existência da velocidade na UTA e ventiladores de extração. É também recomendado a adição de um filtro HEPA antes de o ar ser extraído nos quartos de isolamento para doentes Covid-19, de forma a impedir a libertação de contaminantes para o ambiente exterior.

Na rejeição do ar para o exterior deve ser realizada depois de haver uma filtração do mesmo, desta deve verificar-se a possibilidade de instalação de filtros H13 ou H14 na instalação, existência de uma distância de, pelo menos, 10 metros entre a saída do ar de extração e a entrada de ar novo, e a normal direção do vento de forma a mitigar a possibilidade do ar de extração ser facilmente encaminhado para as condutas de admissões de ar.

As adufas ou zonas de transição entre espaços contaminados e não contaminantes são zonas importantes, pelo que deve ser tomado em conta o diferencial de pressão de modo a não existir transmissão de contaminantes. Desta forma, deve ser mantida uma subpressão entre a sala de isolamento e a adufa para evitar que o ar contaminado saia da adufa ou do quarto para a adufa. Também deve ser mantida uma pressão negativa entre a adufa e o corredor para mitigar a transmissão de partículas contaminantes, transportadas pelos profissionais e até mesmo por objetos, de forma a não contaminarem o corredor e profissionais que circulam.

Uma vez que o vírus Sars-CoV-2 pode sobreviver algumas horas no suspenso no ar, é recomendado pela DGS que não haja uma recirculação de ar em blocos de operações e salas de recobro para doentes infetados com Covid-19.

Em situações de aquecimento e arrefecimento, por meio de equipamentos *mono-split* ou *multi-split*, volume de refrigerante variável e ventilo-convetores, é necessário realizar uma manutenção, uma limpeza e uma desinfecção correta e completa.

Em espaços mais pequenos (até 10 m²), devem ser utilizados purificadores de ar portáteis de forma a removerem as partículas contaminantes. Estes dispositivos são compostos por vários tipos de elementos, como [26]:

- Pré filtro - captação de partículas de maior tamanho;
- Filtro Eletrostático - remove do ar partículas mais pequenas;
- Filtro de Carvão - elimina odores desagradáveis e gases;
- Lâmpadas Germicidas UV-C - destroem microrganismos através da luz UV-C.

Em algumas condições, as partículas de vírus suspensas no ar de extração podem voltar ao ar de admissão do edifício, através de fugas nos recuperadores de calor. Em recuperadores de calor rotativos, equipados com secções de purgas, instalados e a funcionar corretamente, as taxas de fugas são praticamente iguais aos recuperadores de calor de placas (mais ou menos 12 %). As fugas, em sistemas já existentes, devem ser inferiores a 5 % e compensadas pelo aumento do ar exterior, de acordo com a Norma EN16798-3:2007.

Muitos recuperadores de calor rotativos não são instalados corretamente, sendo o erro mais comum dos ventiladores serem instalados de forma a criarem uma sobrepressão na extração do ar, o que leva à origem de fugas do ar de extração para o ar de insuflação. Quando instalados e mantidos de forma correta a transmissão de poluentes transportados por partículas (incluindo microrganismos transportados pelo ar) é quase nula, sendo a transferência limitada a poluentes gasosos, como o fumo do tabaco e outros cheiros.

No entanto, quando existe a suspeita de possíveis fugas nos recuperadores de calor deverá haver um ajuste de pressão ou a colocação de um *bypass* para evitar uma sobrepressão no ar de extração com vista a contaminar o ar de admissão. Contudo, estas diferenças de pressão podem ser corrigidas pela presença de *dampers* ou outro tipo de medidas. Contudo, quando os sistemas AVAC estão equipados com unidades que garantem 100 % de separação entre o ar de admissão e retorno, é possível que os recuperadores de calor estejam a funcionar. Atendendo aos riscos mencionados, a DGS recomenda que sejam evitados a utilização deste tipo de recuperadores.

Recomendações da ASHRAE

A ASHRAE, de forma a dar uma maior capacidade aos hospitais, para receberem um maior número de pacientes infetados com novo coronavírus, recomenda que as salas que eram destinadas a unidades médico-cirúrgica ou de terapia intensiva sejam transformadas em salas de isolamento de pacientes. No entanto, é necessário que essas salas apresentem os seguintes requisitos [27, 28]:

- Colocação das unidades de exaustão HEPA do lado de fora da sala, devido a possíveis ruídos e evitar que o doente fique em risco quando as operações de manutenção são realizadas;

- Colocação de um monitor e alarme para que seja sempre controlada a pressão dentro da sala;
- O caudal de ar novo deve ser 100 %, não havendo recirculação de ar;
- Aumento das renovações de ar exterior por hora (por exemplo, aumentar de 2 para 6 rph);
- Estabelecer as contribuições do AVAC para um plano de rotatividade de quartos de pacientes antes da reocupação;
- Manter a temperatura e a humidade do quarto de acordo com o contaminante;
- Existência de uma grelha de exaustão junto ao paciente, juntamente com uma filtragem de HEPA.

A figura 8 apresenta o *layout* de uma sala de pressão negativa para doentes infecciosos, recomendada pela ASHRAE.

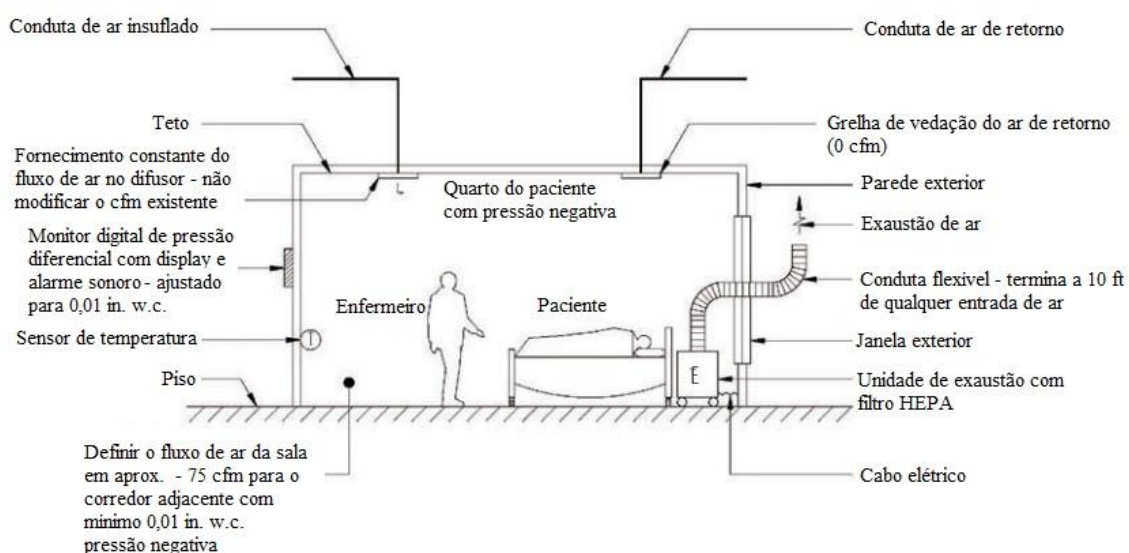


Figura 8. Recomendação da ASHRAE de um *layout* de uma sala com pressão negativa (adaptado de [28]).

2.3 Sistemas AVAC em Hospitais

Os sistemas AVAC referem-se a equipamentos que asseguram as condições de conforto térmico, o fornecimento de ar novo (ar exterior) aos ocupantes e remoção dos odores e poluentes, com a ajuda de exaustores ou com a diluição dos poluentes relacionando as pressões entre as salas do edifício. Estes sistemas têm como principal função assegurar a uma boa QAI de um edifício, de modo a evitar problema de saúde aos seus ocupantes e patologias associadas à construção (fungos ou bolores).

Nos hospitais, os sistemas AVAC são essenciais para o conforto e bem-estar dos pacientes e de toda a equipa hospitalar. Para tal, têm as seguintes funções [8]:

- Manter o conforto térmico e sensação de bem-estar a todos os ocupantes do hospital;
- Controlar odores;
- Remover os poluentes existentes no ar, com renovação do ar;
- Reduzir o risco de transmissão de microrganismos.

2.3.1 Principais equipamentos AVAC

2.3.1.1 Unidade de tratamento de ar

Uma Unidade de Tratamento de Ar (UTA) é um dos equipamentos mais importantes utilizados nos sistemas de climatização, e tem como principais funções a renovação e tratamento do ar. Existem dois principais tipos de UTA, que são:

- UTAs – efetuam o tratamento do ar resultante da mistura de ar novo e ar recirculado;
- UTANs – efetuam apenas o tratamento de ar novo.

A sua composição consiste numa caixa de metal formada por um ventilador mecânico, baterias de aquecimento e arrefecimento, atenuadores acústicos, filtros, grelhas de admissão e saída de ar e ainda *dampers* (registro para regular o caudal de ar) [29]. Normalmente os equipamentos constituintes da UTA são utilizados em sistemas AVAC, com o principal objetivo de controlar a temperatura e humidade do espaço, eliminar partículas contaminantes do ar interior e renovar o ar com a introdução de ar novo. Na figura 9, está representado, como exemplo, a circulação do ar de uma UTA.



Figura 9. Circulação do ar numa UTA da *Daikin* [30].

Por outro lado, dependendo do tipo, tamanho do espaço a climatizar e condições exigidas, é necessário na fase de projetar e dimensionar a UTA e respetivos equipamentos; que não haja qualquer tipo de erro, uma vez que se trata de uma tarefa exigente.

2.3.1.2 Recuperadores de calor

Os recuperadores de calor têm como principal objetivo aproveitar parte da energia do ar de retorno para aquecer/arrefecer o ar novo obtendo menores consumos de energia, como tal designado para o reaproveitamento de energia térmica.

O seu funcionamento consiste na passagem do ar de retorno e do ar novo em direções e/ou sentidos distintos, mas ambos passando pelo um conjunto de alhetas de um material com boa condutibilidade térmica, que permite assim a permuta térmica entre os dois fluxos de ar [31].

Existem dois tipos de recuperadores de calor, os do tipo rotativo e os de placas (figura 10). Os recuperadores do tipo rotativo têm uma elevada eficiência energética em comparação com os de placas, podendo atingir os 90% de eficiência.

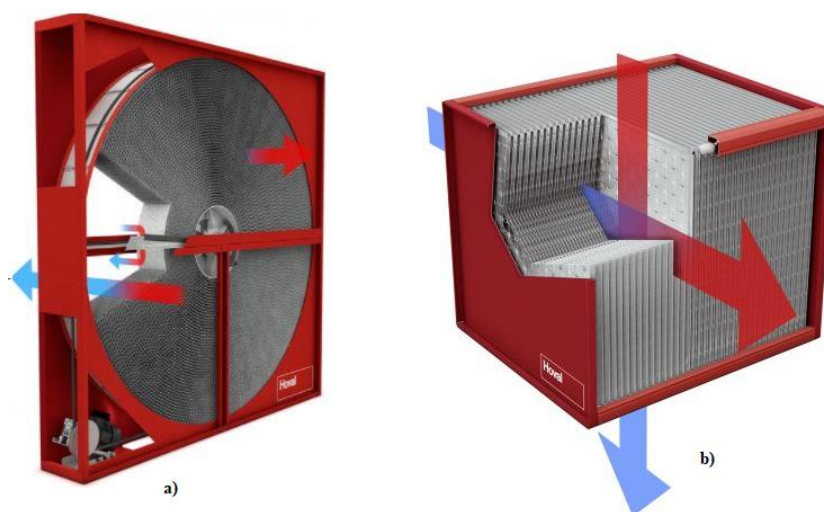


Figura 10. Recuperador de calor da marca Hoval: a) rotativo [32]; b) placas [33].

2.3.1.3 Ventiladores

Os ventiladores são movimentadores primários nos sistemas de ventilação. Movem o ar e proporcionam um fluxo de ar contínuo. Assim, o ar dos espaços, do exterior, os gases podem ser transportados de uma localização para outra através de condutas ou outro tipo de passagens de ar. Pode ser aplicado na climatização de espaços ou na exaustão de ar poluído, quer seja proveniente do interior de edifícios ou de instalações industriais, ou em muitas outras aplicações [34].

Normalmente, são utilizados ventiladores axiais ou centrífugos em sistemas AVAC (figura 11), com a diferença entre a direção do fluxo de ar; o que condiciona o caudal, o diferencial de pressão e a eficiência do ventilador. No entanto, o ventilador centrífugo é o mais usual devido ao menor ruído que apresenta no seu funcionamento e uma melhor eficiência.



Figura 11. Ventilador da marca Sodeca: a) centrífugo [35]; b) axial [36].

Pelo descrito, na seleção do ventilador a aplicar no sistema AVAC, é necessário ter em conta qual o caudal de ar a movimentar e a pressão associada para satisfazer corretamente as condições exigidas pelo mesmo.

2.3.1.4 Chillers

Os *chillers* são equipamentos produtores de água refrigerada ou quente (no caso de bomba de calor). Geralmente, os *chillers* efetuam a permuta calor do ar ambiente para a água, mas também existem os que tratam água-água, ou seja, tanto o evaporador como o condensador fazem a permuta para a água. Podem classificar-se como *chiller* “só frio” a 2 tubos, *chiller*/bomba de calor a 2 tubos, *chiller* com recuperação parcial, *chiller* com recuperação total e *chiller* a 4 tubos [37].

Uma das maiores vantagens deste tipo de equipamento dos sistemas AVAC é quando existe necessidades reais de aquecimento e arrefecimento em simultâneo, transforma-se energia para produzir água fria, uma vez que se trata de uma recuperação e a água quente é “gratuita”. Neste tipo de situações e caso as necessidades de aquecimento e

arrefecimento sejam iguais, não existe permuta de ar. Para situações onde haja desequilíbrios a diferença é transferida para o ar [37].

2.3.1.5 Caldeiras

As caldeiras são equipamentos AVAC cuja função é a produção de calor, tendo como fonte combustíveis fósseis. Em sistemas de climatização, geralmente, são utilizadas caldeiras a gás natural, gasóleo ou a GPL. As caldeiras servem para o aquecimento dos espaços interiores do edifício e aquecimento de águas sanitárias com recurso direto ou através de um acumulador, dependendo se a caldeira tem um acumulador interno ou externo [29].

Com o intuito de aumentar o conforto térmico aos ocupantes do edifício, as caldeiras reduzem a humidade relativa do ar e aumentam a temperatura do ar interior do edifício. Para o desempenho energético de uma caldeira, é necessário o estudo dos consumos de combustível, de água bem como as perdas de calor pela envolvente, montagem e regulação dos equipamentos de controlo e níveis de potência da caldeira [29].

2.3.1.6 Ventiloinvetores

Os ventiloinvetores permitem efetuar a troca de calor entre a água aquecida/arrefecida e o ambiente. São idênticos aos radiadores, mas enquanto que os radiadores são apenas utilizados para aquecimento, os ventiloinvetores podem ser utilizados para aquecimento e arrefecimento. Os ventiloinvetores utilizam ventiladores para impelir o ar através de baterias de aquecimento/arrefecimento, ao invés dos radiadores que não utilizam ventiladores [37].

2.3.2 Tipos de sistemas AVAC

Os sistemas AVAC podem ser classificados quanto à natureza do fluido térmico utilizado nos equipamentos terminais. Os fluidos térmicos normalmente utilizados são o ar e a água. Desta forma, os sistemas AVAC podem ser definidos como: sistema tudo – ar, sistema tudo – água e sistema ar – água.

Os sistemas centrais incluem fontes de água, bombas de calor e painéis de aquecimento/arrefecimento. Os sistemas centrais AVAC são constituídos principalmente por: ventiladores de insuflação e retorno, humidificadores, recuperadores de calor, baterias de aquecimento e arrefecimento, caixa de mistura, filtros e ar exterior [38].

2.3.2.1 Sistema tudo – ar

Nos sistemas tudo – ar, a energia térmica é distribuída por todo o edifício por meio do ar tratado. A distribuição é realizada através de elementos terminais de difusão, como por exemplo: grelhas de insuflação, difusores de deslocamento vertical, entre outros equipamentos terminais. A grande maioria dos equipamentos dos sistemas AVAC centralizados tudo – ar estão localizados numa zona técnica dedicada, permitindo que a manutenção destes equipamentos seja efetuada na ausência de ocupantes.

Nestes sistemas tudo-ar, não existem condensados de serpentinas ou tubagens nos espaços com ocupantes, contrariamente, por exemplo à solução de sistemas de ventiloconvetores. No entanto, quando são aplicados em edifícios com uma envolvente de qualidade térmica fraca a média, conduzem a perdas ou ganhos de calor mais elevados e os consequentes custos energéticos de operação mais elevados [39].

Estes sistemas podem ser subclassificados em sistemas de *multi – zone* e *single – zone*, de volume de ar constante (VAC) ou volume de ar variável (VAV).

Importa referir que poucos edifícios podem ser considerados uma única zona térmica. Os edifícios residenciais podem ser tratados com sistemas de zona única enquanto que outros tipos de edifícios (como hospitais) podem incluir diferentes energias térmicas atendendo à sua ocupação. A movimentação dos ocupantes do edifício, afeta a sua carga térmica, que resulta na divisão do edifício em várias zonas únicas para fornecer as condições ambientais necessárias [38].

Os sistemas de *multi – zone* são constituídos por condutas individuais para cada zona do edifício. O ar quente (proveniente de serpentinas de aquecimento) e frio (proveniente de serpentinas de arrefecimento) são misturados na UTA para atingir o requisito térmico de cada zona. A vantagem deste tipo de sistemas é condicionar várias zonas sem desperdiçar energia. No entanto, existem várias condutas de insuflação de ar para várias zonas, o que pode gerar fugas reduzindo a eficiência energética [38].

Os sistemas de *single – zone* são constituídos por uma UTA, uma fonte de aquecimento e uma de arrefecimento. As maiores vantagens deste sistema são a simplicidade do projeto, a manutenção e o baixo custo em comparação com outros sistemas.

Os sistemas de VAC controlam o arrefecimento/aquecimento variando a temperatura do ar insuflado mantendo o caudal de ar insuflado constante. Este tipo de sistema, é preferencialmente utilizado em divisões com volumes elevados. Quando utilizados para várias divisões, a zona térmica a tratar tem de ter cargas térmicas idênticas. Através deste tipo de sistemas não é possível fazer um controlo de temperaturas e humidades rigoroso [39].

Já, os sistemas AVAC com VAV controlam o arrefecimento/aquecimento mantendo a temperatura do ar insuflado e variando o caudal de ar insuflado. No sistema VAV, o caudal varia em função da necessidade da zona, então o controlo da pressão em nos ventiladores de retorno e insuflação é crucial, para que estes tipos de sistemas AVAC cumpra a sua função de forma eficiente. A forma mais eficiente de se conseguir economizar a energia gasta pelos ventiladores dos sistemas VAV, é a utilização de variadores de frequência, VFDs (inversores de frequência variável). Os desvios de caudal

com registos motorizados são uma solução viável, mas não sustentável, devido à energia que se continua a gastar no ventilador e ao sobredimensionamento do mesmo [39].

2.3.2.2 Sistema tudo – água

Nos sistemas tudo - água, a água aquecida e arrefecida é distribuída a partir do sistema de unidade central para as unidades terminais instaladas nos espaços. A água é aquecida ou arrefecida através dos equipamentos de produção de energia térmica, como *chillers* e caldeiras ou bombas de calor, localizados numa zona técnica.

Quando é instalado um sistema tudo – água para aquecimento e arrefecimento são utilizados ventiloconvectores. Estes equipamentos são pequenos, podem ser verticalmente ou horizontalmente instaladas e controlam a temperatura desejada através de um termóstato, regulando o fluxo de água dos ventiloconvectores [38].

Normalmente, este tipo de sistema é instalado para as seguintes situações [39]:

- Quando as cargas térmicas dos espaços são elevadas e o consumo energético deve ser o menor possível. A água é um meio mais eficiente para o transporte da energia térmica do que o ar. Os requisitos de espaço reduzidos para acondicionar a rede de tubagem também permite que seja uma boa solução, para reabilitações de edifícios existentes;
- Quando não é necessário prever a recirculação do ar através de um sistema centralizado e é possível instalar as unidades terminais nos espaços, assim como prever a sua manutenção;
- Quando os custos de investimento e de operação são um requisito importante, pois geralmente, os sistemas tudo - água apresentam custos de investimento mais reduzidos, comparativamente com os restantes. No entanto, deve também avaliar-se bem, em função do número de zonas térmicas a controlar e da localização e tipo de unidades terminais. As bombas também exigem muito menos energia do que os ventiladores para fornecer o mesmo conteúdo de energia.

2.3.2.3 Sistema ar – água

Nos sistemas ar – água, a distribuição da energia térmica é efetuada através de ar e água tratados, desde a unidade central até às unidades terminais instaladas nos espaços. O ar e a água são aquecidos ou arrefecidos numa UTA instalada numa zona técnica, sendo comum designar o ar por ar primário, aquele que é fornecido pela UTA, e por ar secundário ou ar de retorno, o ar que é recirculado do espaço [39].

Nos sistemas AVAC ar – água, o espaço requerido para acondicionar o sistema de tubagem e o sistema de condutas é consideravelmente menor do que num sistema AVAC, do tipo tudo – ar, dado que a maior parte da carga de aquecimento e/ou arrefecimento do ambiente é fornecida pela parte do sistema de tubagem da água. Assim, cerca de 80 a 90 % da carga térmica de arrefecimento e aquecimento do edifício é realizada através de água, os restantes 10 a 20 % são assegurados por ar [38].

Este tipo de sistemas são usados principalmente para climatizar espaços que estão em contacto com o ambiente exterior; uma vez que contêm fronteiras físicas que fazem parte da envolvente térmica exterior, possuindo cargas térmicas sensíveis mais elevadas e quando o controlo rigoroso da humidade não é um requisito de projeto [39].

Os sistemas AVAC ar - água incluem equipamentos de ar condicionado central, sistemas de distribuição de condutas e de tubagem de água e elementos terminais de difusão de energia térmica nos espaços, como por exemplo: unidades de indução, ventiloconvectores, grelhas convencionais de saída de ar ou outros difusores de ar e painéis radiantes. O sistema de tubagem de água pode ser do tipo dois, três ou quatro tubos e fornece a grande parte da carga térmica de arrefecimento e/ou aquecimento sensível e latente [39].

2.4 Eficiência Energética em Edifícios

A eficiência energética em edifícios é a otimização de recursos energéticos para obter os melhores resultados, ou seja, é a procura pelo melhor comportamento dos edifícios consumindo a menor energia possível, atendendo à escolha adequada dos materiais, aproveitamento de fontes de energias renováveis e técnicas passivas.

Parte das perdas energéticas é inevitável, no entanto, outra parte deve-se sobretudo à falta de otimização dos sistemas. Os edifícios da União Europeia são responsáveis por consumir 40 % de energia e 36 % das emissões de gases com efeitos de estufa [40].

A nível europeu têm sido tomadas várias medidas de modo a reduzir o consumo de energia, com base em estudos, auditorias e inspeções. Deste modo, foi instruído o conceito de *Energy Conservation Opportunities* (ECO) em que refere medidas que devem ser assumidas ou corrigidas para reduzir o consumo de energia. Estas medidas vão desde os equipamentos de climatização até mesmo ao seu funcionamento. A tabela 18 mostra os ECO's agrupados em classes e subclasses que devem ser adotados [41].

Tabela 18. ECO's agrupados em classes e subclasses.

Envolvente e cargas térmicas	Redução dos efeitos solares; Ventilação; Redução de fugas; Isolamento da envolvente; Medidas relacionadas com a carga térmica.
Projeto e dimensionamento	Sistemas de gestão centralizados e controladores; Equipamentos de refrigeração; Tratamento, distribuição de ar e água; Substituição de sistemas.
Operação e manutenção	Sistemas AVAC; Equipamentos de refrigeração; Distribuição e tratamento de fluidos.

Para além disto, a Comissão Europeia agrupou três categorias de medidas que devem ser implementadas nos hospitais, para alcançarem uma boa gestão de eficiência energética. Essas medidas são [42]:

- Medidas simples que não requerem financiamento ou investimento de capital. Este tipo de medidas, são aplicáveis para manutenções dos equipamentos e controlo;
- Medidas de baixo custo. Estas ações podem ser financiadas pelo administrador, que acontecem quando é necessária substituição de algum material para um mais sustentável, ou para melhorias de sistemas;
- Medidas de reconstrução, que requerem um investimento de capital que necessita de um estudo técnico-económico prévio. Este estudo terá que ter um estudo da viabilidade do investimento antes da sua implementação.

Ao serem impostas medidas, é preciso tomar em consideração a complexidade dos sistemas de energia e a verificação de alterações no desempenho que podem ter impacto sobre outros aspetos. Por exemplo, ao aumentar o isolamento reduz-se a necessidade de aquecimento, mas também a necessidade de aumentar o arrefecimento.

2.4.1 Sistema Nacional de Certificação Energética

O Sistema Nacional de Certificação Energética (SCE) tinha como principais objetivos a aplicação regulamentar das condições energéticas, garantir a QAI e a utilização de energias renováveis, baseado nas exigências do Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização de Edifícios (RSECE) e do Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE).

A SCE pretendia também certificar o desempenho energético e a QAI nos edifícios, e ainda identificar as medidas corretivas ou de melhoria de desempenho aplicáveis aos edifícios e respetivos sistemas energéticos, nomeadamente equipamentos de ar condicionado e caldeiras [43]. O RSECE abordava os grandes edifícios de comércio e serviços e de habitação com sistemas de climatização, focando-se na QAI e na eficiência e manutenção dos sistemas de climatização [44]. Já o RCCTE definia os requisitos da qualidade dos pequenos edifícios de comércio e serviços e de habitação, com base nas características construtivas com o intuito de limitar as perdas térmicas [45].

Com a revisão da legislação, passou a existir apenas um diploma (Decreto-Lei n.º 118/2013) que inclui o SCE, o Regulamento do Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH) e o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços (RECS).

O REH passou a ter em destaque o comportamento térmico e a eficiência dos sistemas dos edifícios de habitação. Relativamente ao RECS, passou a evidenciar o comportamento térmico, a eficiência, a instalação, a condução e a manutenção dos sistemas de climatização dos edifícios de comércio e serviços [46].

O RECS impõe requisitos a observar no projeto, construção, alteração, operação e manutenção de edifícios de comércio e serviços e seus sistemas técnicos, bem como os requisitos para a caracterização do seu desempenho; com o intuito de promover a eficiência energética e a qualidade do ar interior. Esses requisitos envolvem a qualidade térmica da envolvente nos edifícios novos e as intervenções em edifícios existentes, expressando os coeficientes de transmissão térmica da envolvente e de fator solar dos vãos envidraçados [46].

Os sistemas técnicos dos edifícios abrangidos devem ser avaliados e sujeitos a requisitos, tendo em vista promover a eficiência e a utilização racional de energia, incidindo nos componentes de: climatização, de preparação de água quente sanitária, de iluminação, de sistemas de gestão de energia, de energias renováveis, de elevadores e de escadas rolantes. O RECS estabelece também [46]:

- Requisitos de conceção e de instalação de sistemas técnicos nos edifícios novos e de sistemas novos nos edifícios existentes sujeitos a grandes intervenções;
- Um Indicador de Eficiência Energética (IEE) para caracterização do desempenho energético dos edifícios e dos respetivos limites máximos no caso de edifícios novo, de edifícios existentes e de grandes intervenções em edifícios existentes;
- A obrigatoriedade de fazer uma avaliação energética periódica dos consumos energéticos dos edifícios existentes, verificando a necessidade de elaborar um plano de racionalização energética com identificação e implementação de medidas de eficiência energética com viabilidade económica.

Segundo a Portaria n.º 17-A/2016, o desempenho energético de um edifício de comércio e serviços é avaliado pela determinação do seu IEE, sendo calculado com base no somatório dos diferentes consumos de energia agrupados em indicadores parciais e convertidos para energia primária por unidade de área útil de pavimento, com base na expressão 4 [22].

$$IEE = IEE_S + IEE_T - IEE_{ren} \quad [4]$$

O termo IEE_S representa os consumos de energia considerados para o cálculo da classificação energética de um edifício, sendo determinado pela expressão 5 tendo em consideração os consumos anuais de energia por fontes de energia i , para as funções indicadas na tabela 19.

$$IEE_S = \frac{1}{A_p} \sum_i (E_{S,i} \cdot F_{pu,i}) \quad [5]$$

Onde,

$E_{S,i}$ – Consumo de energia por fonte de energia i para os usos do tipo S , [kWh/ano];

A_p – Área interior útil de pavimento, [m²];

$F_{pu,i}$ – Fator de conversão de energia útil para a energia primária que traduz o rendimento global do sistema de conversão e transporte de energia de origem primária, de acordo com Despacho do Diretor-Geral de Energia e Geologia, [kWh_{EP}/kWh].

O IEE_T representa os consumos de energia que não foram considerados para efeitos de cálculo da classificação energética do edifício, sendo determinado pela expressão 6 e considerando os consumos anuais de energia por fontes de energia i , para as funções indicadas na tabela 19.

$$IEE_T = \frac{1}{A_p} \sum_i (E_{T,i} \cdot F_{pu,i}) \quad [6]$$

Em que,

$E_{T,i}$ – Consumo de energia por fonte de energia i para os usos do tipo T , [kWh/ano];

A_p – Área interior útil de pavimento, [m²];

$F_{pu,i}$ – Fator de conversão de energia útil para a energia primária que traduz o rendimento global do sistema de conversão e transporte de energia de origem primária, de acordo com Despacho do Diretor-Geral de Energia e Geologia, [kWh_{EP}/kWh].

Tabela 19. Consumos de energia a considerar no IEE_S e no IEE_T (adaptado de Portaria n.º 17-A/2016) [22].

Consumos no IEE _S	Consumos no IEE _T
<p>Aquecimento e arrefecimento ambiente, incluindo humidificação e desumidificação;</p> <p>Ventilação e bombagem de sistemas de climatização;</p> <p>Aquecimento de águas sanitárias e de piscinas;</p> <p>Iluminação interior;</p> <p>Ascensores, escadas mecânicas e tapetes (desde de 1 de janeiro de 2016);</p> <p>Iluminação exterior (desde de 1 de janeiro de 2016).</p>	<p>Ventilação e bombagem não associada ao controlo de carga térmica;</p> <p>Equipamentos de frio;</p> <p>Iluminação dedicada e de utilização pontual;</p> <p>Ascensores, escadas mecânicas e tapetes rolantes (até 31 de dezembro de 2015);</p> <p>Iluminação exterior (até 31 de dezembro de 2015);</p> <p>Todos os restantes equipamentos e sistemas não incluídos em IEE_S.</p>

No entanto, o termo IEE_{ren} é obtido a partir da produção de energia elétrica e térmica com base em energias renováveis, sendo apenas tida em consideração a energia elétrica produzida e destinada a autoconsumo e a energia térmica efetivamente utilizada (expressão 7).

$$IEE_{ren} = \frac{1}{A_p} \sum_i (E_{ren,i} \cdot F_{pu,i}) \quad [7]$$

Em que,

$E_{ren,i}$ – Produção de energia por fonte de energia i a partir de fontes de origem renovável para consumo, calculada de acordo com as regras aplicáveis previstas para o efeito em Despacho do Diretor-Geral de Energia e Geologia [kWh/ano];

A_p – Área interior útil de pavimento, [m²];

$F_{pu,i}$ – Fator de conversão de energia útil para a energia primária que traduz o rendimento global do sistema de conversão e transporte de energia de origem primária, de acordo com Despacho do Diretor-Geral de Energia e Geologia, [kWh_{EP}/kWh].

A produção de energia por fontes de origem renováveis para consumos, pode ser obtida através de [47]:

- Sistemas solares térmicos;
- Sistemas solares fotovoltaicos;
- Sistemas eólicos;
- Biomassa;
- Geotermia;
- Mini-hídrica;
- Aerotérmica e geotérmica (bombas de calor).

Sendo que, para o presente trabalho, é associado a energia aerotérmica e geotérmica devido à utilização de *chillers*. Desta forma, a energia renovável através deste tipo de fonte é calculada através da expressão 8 [48].

$$E_{\text{ren}} = Q_{\text{usable}} \cdot \left(1 - \frac{1}{\text{SPF}}\right) \quad [8]$$

Em que,

Q_{usable} – total de calor utilizável estimado produzido por bombas de calor conforme os critérios referidos no Despacho n.º 14985/2015;

SPF – fator médio de desempenho sazonal estimado para as referidas bombas de calor, conforme o Despacho n.º 14985/2015.

De acordo com o Despacho n.º 14985/2015, o Q_{usable} é calculado no caso de sistemas de aquecimento e arrefecimento ambiente segundo a expressão 9 [48].

$$Q_{\text{usable}} = H_{\text{HP}} \cdot P_{\text{rated}} \quad [9]$$

Em que,

H_{HP} – corresponde às horas de funcionamento a plena carga;

P_{rated} – capacidade instalada das bombas de calor, tendo em consideração o tempo de vida dos diferentes tipos de bombas de calor, em kW.

Na tabela 20 são apresentados os valores predefinidos de H_{HP} e SPF para as bombas de calor térmicas. É de notar que os valores predefinidos da tabela 20 são típicos dos segmentos de bombas de calor com um SPF superior ao limiar, $\text{SPF} > 1,15 \cdot (1/\eta)$, ou seja, as bombas de calor térmicas com um SPF inferior a 1,15 não foram tomadas em consideração quando foram estabelecidos os valores típicos.

Tabela 20. Valores predefinidos de H_{HP} e SPF para as bombas de calor térmicas (adaptado de [48]).

Fonte de energia da bomba de calor	Fonte de energia e fluido de distribuição	H_{HP}	SPF
Energia aerotérmica	Ar – ar	1200	1,2
	Ar – água	1170	1,2
	Ar – ar (reversível)	120	1,2
	Ar – água (reversível)	120	1,2
	Ar de exaustão – ar	760	1,2
	Ar de exaustão – água	760	1,2
Energia geotérmica	Solo – ar	1340	1,4
	Solo – água	1340	1,6
Energia hidrotérmica	Água – ar	1340	1,4
	Água – água	1340	1,6

Os fatores de conversão, entre energia final e energia primária, a utilizar na determinação das necessidades nominais anuais de energia primária de edifícios de habitação e do IEE de edifícios de serviços são [49]:

- $F_{pu} = 2,5 \text{ kWh}_{EP}/\text{kWh}$ para eletricidade, independentemente da origem (renovável ou não renovável);
- $F_{pu} = 1 \text{ kWh}_{EP}/\text{kWh}$ para combustíveis sólidos, líquidos e gasosos não renováveis;
- $F_{pu} = 1 \text{ kWh}_{EP}/\text{kWh}$ no caso de energia térmica de origem renovável.

Após os cálculos dos respetivos IEE, é possível proceder à determinação da classe energética do edifício de comércio e serviços, com base na expressão 10 apresentada no Despacho (extrato) n.º 15793-J/2013 [50].

$$R_{IEE} = \frac{IEE_S - IEE_{ren}}{IEE_{ref,S}} \quad [10]$$

Onde,

R_{IEE} – corresponde ao rácio da classe energética do edifício;

$IEE_{ref,S}$ – indicador de eficiência energética de referência associado aos consumos anuais de energia do tipo S.

Com o valor do R_{IEE} , recorre-se à tabela 21 presente no Despacho (extrato) n.º 15793-J/2013 para a atribuição da classe energética correspondente às condições verificadas [50].

Tabela 21. Intervalos de valor de R_{IEE} para a determinação da classe energética em pré-certificados e certificados SCE dos modelos tipo Pequenos Edifícios de Comércio e Serviços e Grandes Edifícios de Comércio e Serviços [50].

Classe Energética	Valor de R_{IEE}
A+	$R_{IEE} \leq 0,25$
A	$0,26 \leq R_{IEE} \leq 0,50$
B	$0,51 \leq R_{IEE} \leq 0,75$
B-	$0,76 \leq R_{IEE} \leq 1,00$
C	$1,01 \leq R_{IEE} \leq 1,50$
D	$1,51 \leq R_{IEE} \leq 2,00$
E	$2,01 \leq R_{IEE} \leq 2,50$
F	$R_{IEE} \geq 2,51$

No entanto, para a determinação do IEE de grandes edifícios de comércio e serviços sujeitos a grandes intervenções é necessário a realização de uma simulação dinâmica multizona. Esta simulação pode ser realizada através de um programa que esteja acreditado pela *Standard 140* da ASHRAE, o qual deve ter, no mínimo, a capacidade para modelar [22]:

- Mais que uma zona térmica;
- Com um incremento temporário e por um período de um ano civil (8760 horas);
- A variação horária das cargas internas diferenciadas em ocupação, iluminação e equipamentos;
- Os pontos de ajuste dos termóstatos das zonas térmicas e operação dos sistemas de climatização, permitindo a respetiva parametrização, de forma independente, para dias da semana e fins de semana;
- A recuperação de calor do ar de rejeição;
- O efeito da massa térmica do edifício.

Assim, existem vários *softwares* que permitem a realização de simulações energéticas de edifícios que estão acreditados pela norma ASHRAE 140, como por exemplo: *EnergyPlus*; *Carrier's Hourly Analysis Program* (HAP). Para a concretização do trabalho proposta, será utilizado o HAP como ferramenta de trabalho para a simulação dos consumos energéticos do edifício em estudo.

O HAP da *Carrier* é uma ferramenta computacional que permite de estimar cargas, projetar sistemas, simular os consumos energéticos e ainda calcular os custos de energia anuais do edifício; parâmetros que vão de encontro com os objetivos desta dissertação. Com recurso ao método da ASHRAE, o *software* calcula as cargas térmicas de aquecimento e arrefecimento dos edifícios, para a determinação da potência dos equipamentos dos sistemas de climatização e das taxas de caudal de ar necessário a cada espaço. O HAP, durante uma análise energética, executa as seguintes tarefas [51]:

- Simula a operação hora a hora de todos os sistemas de aquecimento e ar condicionado do edifício;
- Simula a operação hora a hora dos sistemas não AVAC, ou seja, iluminação e equipamentos;
- Usa os resultados da simulação hora a hora para calcular o uso anual de energia e os custos associados;
- Gera relatórios, em formato de tabelas ou gráficos, de dados horários, diários, mensais e anuais.

No *software*, para a realização de uma simulação, é necessário subdividir em cinco categorias, tais como:

- *Weather*: definem-se as características climáticas da localização do edifício em estudo, como por exemplo as temperaturas e humidades relativas do projeto;
- *Spaces*: adicionam-se os espaços existentes do edifício, tendo em conta as suas características como a sua orientação, quantidade de envidraçados, cargas internas, infiltrações, entre outros;
- *Systems*: definem-se tipos de equipamentos de climatização, os sistemas e os números de zonas a climatizar;
- *Plants*: definição das centrais térmicas;
- *Building*: permite definir um ou mais edifícios, incluindo todos os sistemas AVAC definidos nas categorias anteriores. Fornece informação dos consumos energéticos anuais e os respetivos custos do edifício.

2.4.2 Implicações nos consumos energéticos através dos sistemas AVAC

O aparecimento do vírus Covid-19 alterou o normal funcionamento dos sistemas AVAC com o intuito de mitigar a transmissão do vírus por meio aéreo. As medidas recomendadas para a prevenção e controlo da pandemia irão ser refletidas no consumo de energia dos edifícios. Recomendou-se, pelas principais entidades (por exemplo, ASHRAE, REVHA e ECDC), um aumento do caudal de ar exterior, introdução de equipamentos auxiliares e um alargamento do horário de funcionamento dos sistemas AVAC [52]. Estas medidas fazem com que o consumo energético aumente consideravelmente.

O recurso do uso do caudal do ar exterior visa a manter a higiene interior, repor a quantidade de ar consumido pelos equipamentos de combustão interna, repor o caudal de exaustão e manter uma pressão positiva. No entanto, com o aparecimento do vírus Covid-

19, a qualidade do ar interior é uma prioridade para mitigar os riscos de infeção. Assim, é recomendado o uso de um maior caudal de ar exterior para evitar a infeção. Mas a recirculação do ar, que é uma medida de economizar os consumos energéticos dos sistemas AVAC, deve ser desativada para evitar infeções cruzadas por transmissão aérea. Desta forma, o aumento do caudal de ar externo leva a um aumento do consumo de energia dos sistemas AVAC, visto que antes de o ar ser insuflado para o espaço é necessária que haja um tratamento do mesmo. Isto é, o ar exterior precisa de ser filtrado, aquecido ou arrefecido e desumidificado ou humidificado antes de ser insuflado. Estes processos todos fazem com que haja um aumento do consumo de energia e também um aumento da carga de equipamentos [52].

As cargas de aquecimento e arrefecimento também afetam o consumo de energia. Um aumento do caudal de ar exterior faz com que a carga de arrefecimento diminua, a carga de aquecimento aumente, logo o consumo de energia aumenta.

A introdução de equipamentos auxiliares, como os filtros HEPA e sistemas UVGI, podem reduzir o risco de transmissão pelos sistemas AVAC, mas também têm impacto nos consumos de energia. Os filtros HEPA são equipamentos eficazes para reduzir a transmissão aérea do vírus Covid-19. No entanto, o uso dos filtros HEPA aumenta a queda de pressão dos ventiladores e ao acumular de contaminantes no filtro faz com que a queda de pressão aumente ainda mais [52]. Segundo os estudos [52], este aumento resulta num grande aumento, cerca de 1,2 vezes, do consumo de energia por parte dos sistemas AVAC.

A aplicação dos sistemas UVGI é, também, recomendada para reduzir o risco de infeção do vírus Covid-19 por transmissão aérea por parte dos sistemas AVAC. O vírus é sensível ao comprimento de onda do UV-C (200 ~ 275 nm), com a intensidade e tempo de irradiação suficientes, pode destruir-se a ligação do DNA e do RNA e desativar o vírus. Uma das formas de implementar o UV-C é irradiar as superfícies internas das serpentinas de arrefecimento, nas placas de condensados e nas UTA's de modo a reduzir o crescimento do vírus em ambientes húmidos. Esta forma de implementação consome cerca de 1 % do consumo total de energia dos sistemas AVAC. Outra das formas de implementação de UV-C é nas condutas de ar com o objetivo de eliminar os microrganismos no caudal de ar, consumindo 0,45 % de energia [52].

Desta forma, segundo o trabalho desenvolvido em [52], o consumo de energia dos sistemas AVAC durante o período de pandemia aumenta em 128 % em comparação com os tempos normais. Estes resultados contrariam os princípios de conservação de energia. No entanto, recomenda-se o uso de uma proporção de ar externo de 100 % e a desativação da recirculação de ar. Consequentemente, o aumento do caudal do ar externo e a desativação da recirculação de ar faz com que os sistemas AVAC trabalhem na carga máxima, pelo que será expectável que resulte num maior consumo de energia do que o normal.

CASO DE ESTUDO

3.1 DESCRIÇÃO DO EDIFÍCIO

3.2 CARACTERIZAÇÃO TÉRMICA DO EDIFÍCIO

3.3 SIMULAÇÃO NO HAP DA *CARRIER*

3.4 SITUAÇÃO BASE, PRÉ-COVID-19

3.5 SITUAÇÃO PANDÉMICA, COVID-19

3.6 ANÁLISE DE RESULTADOS

3 CASO DE ESTUDO

3.1 Descrição do Edifício

No Centro Hospitalar de Santo Tirso (CHST) pretende-se remodelar e ampliar o centro de urgências, localizado junto ao edifício principal do hospital (destacado a verde), como se pode verificar na figura 12. Na figura (figura 12) pode-se observar o espaço de ampliação das urgências, que se encontra destacado a vermelho. O edifício está localizado no Largo Domingos Moreira, no concelho de Santo Tirso.



Figura 12. Vista de cima do CHST com destaque a vermelho na ampliação das urgências (adaptado de [53]).

O edifício é constituído 2 pisos, com a sua fachada principal voltada a Noroeste. O piso 1 é composto por uma área útil de 1243,0 m² e apresenta 58 espaços (figura 13). E o piso 2 apresenta uma área útil de 1494,5 m² e 82 espaços (figura 14). Assim, o edifício de ampliação das urgências do CHST apresenta uma área útil de aproximadamente 2737,5 m².

Para a estimativa das áreas e o levantamento dimensional, foi utilizado a planta do edifício fornecida pelo proprietário, em suporte informático com o auxílio do *software* AutoCAD.

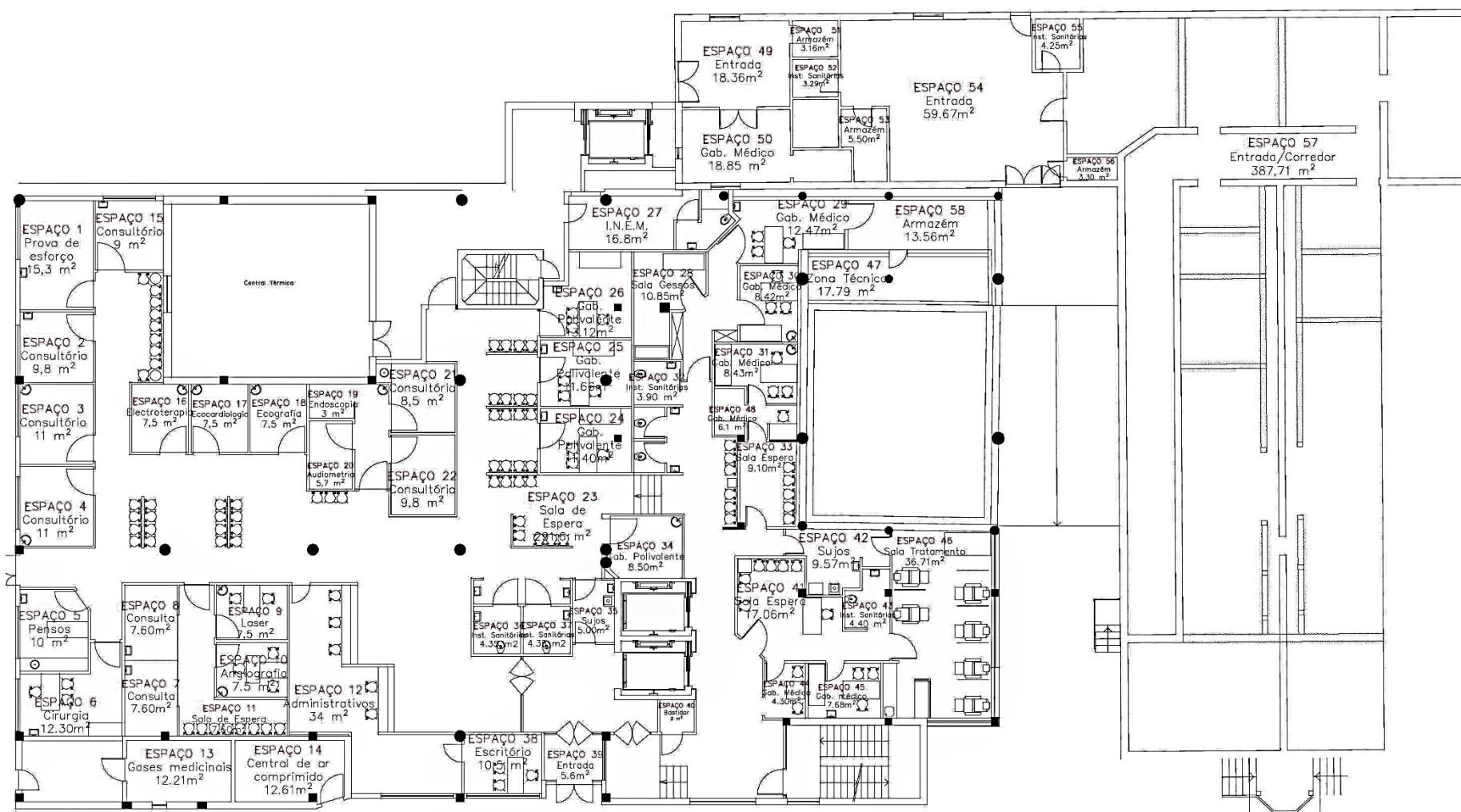


Figura 13. Planta do piso 1 da ampliação do CHST.

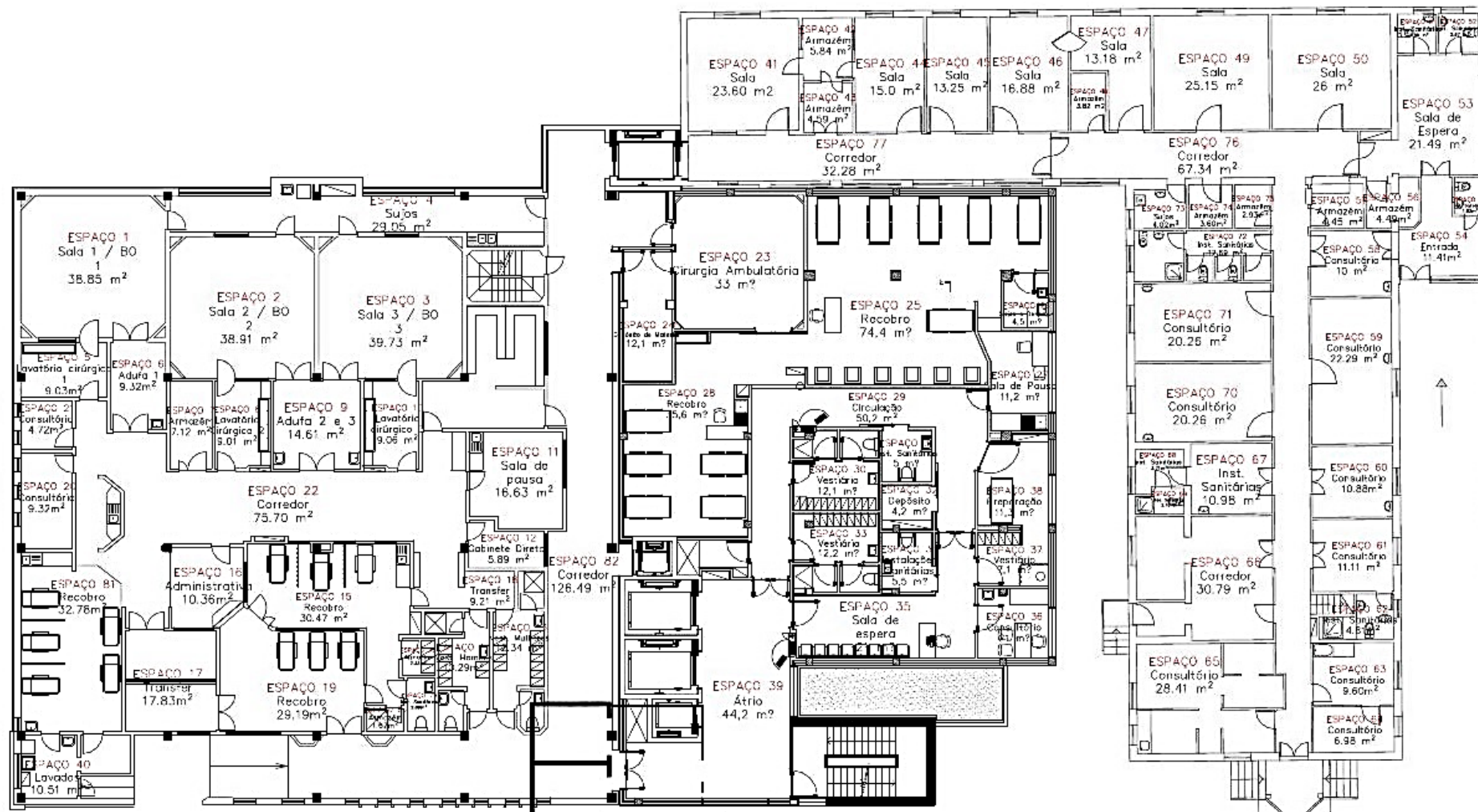


Figura 14. Planta do piso 2 da ampliação do CHST.

Na tabela 22 são apresentados os espaços dos pisos 1 e 2, juntamente com a respetiva área e pé-direito.

Tabela 22. Descrição dos espaços dos pisos 1 e 2.

Piso	Espaço	Área (m²)	Pé Direito (m)
Piso 1	1 - Prova de esforço	15,3	3,0
Piso 1	2 - Consultório	9,8	3,0
Piso 1	3 - Consultório	11,0	3,0
Piso 1	4 - Consultório	11,0	3,0
Piso 1	5 - Pensos	10,0	3,0
Piso 1	6 - Cirurgia	12,3	3,0
Piso 1	7 - Consulta	7,6	3,0
Piso 1	8 - Consulta	7,6	3,0
Piso 1	9 - Laser	7,5	3,0
Piso 1	10 - Angiografia	7,5	3,0
Piso 1	11 - Sala de Espera	7,6	3,0
Piso 1	12 - Administrativos	34,0	3,0
Piso 1	13 – Gases medicinais	12,2	3,0
Piso 1	14 – Central de ar comprimido	12,6	3,0
Piso 1	15 - Consultório	9,0	3,0
Piso 1	16 - Eletroterapia	7,5	3,0
Piso 1	17 - Eco cardiologia	7,5	3,0
Piso 1	18 - Ecografia	7,5	3,0
Piso 1	19 - Endoscopia	3,0	3,0
Piso 1	20 - Audiometria	5,7	3,0
Piso 1	21 - Consultório	8,5	3,0
Piso 1	22 - Consultório	9,8	3,0
Piso 1	23 - Sala de Espera	291,6	3,0
Piso 1	24 - Gab. polivalente	11,4	3,0
Piso 1	25 - Gab. polivalente	11,7	3,0
Piso 1	26 - Gab. polivalente	13,1	3,0
Piso 1	27 - INEM	16,8	3,0
Piso 1	28 - Sala de gessos	10,9	3,0
Piso 1	29 - Gab. médico	12,5	3,0
Piso 1	30 - Gab. médico	8,4	3,0
Piso 1	31 - Gab. médico	8,4	3,0
Piso 1	32 - Inst. Sanitárias	3,9	3,0
Piso 1	33 - Sala de espera	9,1	3,0

Piso 1	34 - Gab. polivalente	8,5	3,0
Piso 1	35 - Sujos	5,0	3,0
Piso 1	36 - Inst. sanitárias	4,4	3,0
Piso 1	37 - Inst. sanitárias	4,4	3,0
Piso 1	38 - Escritório	10,5	3,0
Piso 1	39 - Entrada	5,6	3,0
Piso 1	40 - Bastidor	2,0	3,0
Piso 1	41 - Sala de espera	17,1	3,0
Piso 1	42 - Sujos	9,6	3,0
Piso 1	43 - Inst. sanitária	4,4	3,0
Piso 1	44 - Gab. médico	4,3	3,0
Piso 1	45 - Gab. médico	7,7	3,0
Piso 1	46 - Sala de tratamento	36,7	3,0
Piso 1	47 - Zona técnica	17,8	3,0
Piso 1	48 - Gab. médico	6,1	3,0
Piso 1	49 - Entrada	18,4	3,0
Piso 1	50 - Gab. médico	18,9	3,0
Piso 1	51 - Armazém	3,2	3,0
Piso 1	52 - Inst. sanitárias	3,3	3,0
Piso 1	53 - Armazém	5,5	3,0
Piso 1	54 - Entrada	59,7	3,0
Piso 1	55 - Inst. sanitárias	4,3	3,0
Piso 1	56 - Armazém	3,3	3,0
Piso 1	57 - Entrada / Corredor	387,7	3,0
Piso 1	58 - Armazém	13,6	3,0
Piso 2	1 - Sala 1 / BO 1	38,9	3,0
Piso 2	2 - Sala 2 / BO 2	38,9	3,0
Piso 2	3 - Sala 3 / BO 3	39,7	3,0
Piso 2	4 - Sujos	29,1	3,0
Piso 2	5 - Lavatório cirúrgico 1	9,0	3,0
Piso 2	6 - Adufa 1	9,3	3,0
Piso 2	7 - Armazém	7,1	3,0
Piso 2	8 - Lavatório cirúrgico 2	9,0	3,0
Piso 2	9 - Adufa 2 e 3	14,6	3,0
Piso 2	10 - Lavatório cirúrgico 3	9,1	3,0
Piso 2	11 - Sala de pausa	16,6	3,0
Piso 2	12 - Gab. diretor	5,9	3,0
Piso 2	13 - Vest. mulheres	12,3	3,0
Piso 2	14 - Vest. homens	10,3	3,0


Piso 2	15 - Recobro15	30,5	3,0
Piso 2	16 - Administrativa	10,4	3,0
Piso 2	17 - Transfer.	17,8	3,0
Piso 2	18 - Transfer.	9,2	3,0
Piso 2	19 – Recobro19	29,2	3,0
Piso 2	20 - Consultório	9,3	3,0
Piso 2	21 - Consultório	4,7	3,0
Piso 2	22 - Corredor	75,7	3,0
Piso 2	23 - Cirurgia ambulatória	33,0	3,0
Piso 2	24 - Depósito de material	12,1	2,6
Piso 2	25 - Recobro25	74,4	3,0
Piso 2	26 - Sujos e depósitos	4,5	2,6
Piso 2	27 - Sala de pausa	11,2	2,6
Piso 2	28 - Recobro28	35,6	3,0
Piso 2	29 - Circulação	50,2	2,4
Piso 2	30 - Vestiário	12,1	2,6
Piso 2	31 - Inst. sanitárias	5,0	2,6
Piso 2	32 - Depósito	4,2	2,6
Piso 2	33 - Vestiário	12,2	2,6
Piso 2	34 - Inst. sanitárias	5,5	2,6
Piso 2	35 - Sala de espera	21,0	2,6
Piso 2	36 - Consultório	21,0	2,6
Piso 2	37 - Vestiário	7,1	2,6
Piso 2	38 - Preparação	11,3	2,6
Piso 2	39 - Átrio	44,2	3,0
Piso 2	40 - Lavados	10,5	3,0
Piso 2	41 - Sala	23,6	3,0
Piso 2	42 - Armazém	5,8	3,0
Piso 2	43 - Armazém	4,6	3,0
Piso 2	44 - Sala	15,0	3,0
Piso 2	45 - Sala	13,3	3,0
Piso 2	46 - Sala	16,9	3,0
Piso 2	47 - Sala	13,2	3,0
Piso 2	48 - Armazém	3,8	3,0
Piso 2	49 - Sala	25,2	3,0
Piso 2	50 - Sala	26,0	3,0
Piso 2	51 - Inst. sanitárias	2,9	3,0
Piso 2	52 - Inst. sanitárias	3,0	3,0
Piso 2	53 - Sala de espera	21,5	3,0
Piso 2	54 - Entrada	11,4	3,0

Piso 2	55 - Inst. sanitárias	1,8	3,0
Piso 2	56 - Armazém	4,5	3,0
Piso 2	57 - Armazém	4,5	3,0
Piso 2	58 - Consultório	10,0	3,0
Piso 2	59 - Consultório	22,3	3,0
Piso 2	60 - Consultório	10,9	3,0
Piso 2	61 - Consultório	11,1	3,0
Piso 2	62 - Inst. sanitárias	4,8	3,0
Piso 2	63 - Consultório	9,6	3,0
Piso 2	64 - Consultório	7,0	3,0
Piso 2	65 - Consultório	28,4	3,0
Piso 2	66 - Corredor	30,8	3,0
Piso 2	67 - Inst. sanitárias	11,0	3,0
Piso 2	68 - Inst. sanitárias	3,7	3,0
Piso 2	69 - Inst. sanitárias	2,2	3,0
Piso 2	70 - Consultório	20,3	3,0
Piso 2	71 - Consultório	20,3	3,0
Piso 2	72 - Inst. sanitárias	12,7	3,0
Piso 2	73 - Sujos	4,0	3,0
Piso 2	74 - Armazém	3,6	3,0
Piso 2	75 - Armazém	2,9	3,0
Piso 2	76 - Corredor 1	67,3	3,0
Piso 2	77 - Corredor 2	32,3	3,0
Piso 2	78 - Armazém	2,3	3,0
Piso 2	79 - Inst. sanitárias	2,9	3,0
Piso 2	80 - Armazém	1,7	3,0
Piso 2	81 - Recobro81	32,8	3,0
Piso 2	82 - Corredor	126,5	3,0

3.2 Caracterização Térmica do Edifício

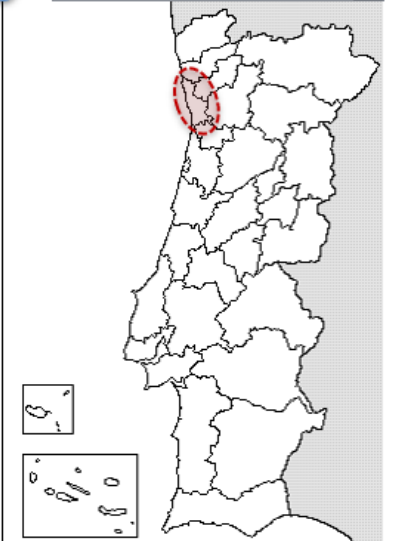
3.2.1 Dados climáticos

O estudo térmico de um edifício, requer a perceção das zonas climáticas que o envolvem de forma a diagnosticar a influência das trocas de calor com o ambiente exterior e o interior do edifício. Para tal, é possível recorrer à base de dados climáticos disponível pelo Laboratório Nacional de Energia e Geologia (LNEG) para a localidade de Santo Tirso (figura 15) [54].

Anos Meteorológicos de Referência para simulação dinâmica 
 versão 1.05 (13 fevereiro 2014)

Seleção por município

Santo Tirso



preparar ficheiro

SCE (formato para Cálculo Dinâmico Simplifica)

Zona climática

NUTS 3: Grande Porto
 Latitude: 41,3 °N (nominal)
 Longitude: 8,6 °W (nominal)
 Altitude: 94 m (referência)

Local específico


Município: Santo Tirso
 Altitude: 82 m

Dados climáticos

	Referência	Neste local
Estação de aquecimento		
Período:	6,2	6,2 meses
T média:	9,9	10,0 °C
Graus-dia:	1250	1231 °C
Estação de arrefecimento		
T média:	20,9	20,9 °C

Zonas de verão e inverno

V 2 I 1

 **LNEG** Software para Políticas Públicas

Sistema Nacional de Certificação de Edifícios
Decreto-Lei 118/2013 de 20 agosto

Figura 15. Interface do programa para obtenção dos dados climáticos de referência para Santo Tirso [54].

Os resultados obtidos permitem aferir que o zonamento climático correspondente à localidade Santo Tirso é de V2 para o Verão e I1 para o Inverno.

De seguida, para obter as temperaturas exteriores de projeto de Inverno e Verão consultou-se a publicação “Temperaturas exteriores de projeto e números de graus-dias” do Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), utilizando-se a estação climatológica de Santo Tirso (anexo A) [55]. A temperatura exterior de projeto de Verão corresponde a 34,1 °C e a temperatura de bolbo húmido correspondente é de 24,3 °C para uma probabilidade acumulada de ocorrência de 99,0 %, com uma amplitude térmica de

13,4 °C. No caso da temperatura exterior de projeto de Inverno é igual a -2,0 °C, para uma probabilidade acumulada de 1 %.

Para o *software* HAP, foi utilizada a base de dados climáticos do LNEG para a localidade de Sando Tirso, onde se obtiveram os dados em base horária (8760 h).

3.2.2 Caracterização da envolvente

Antes de proceder ao estudo da envolvente do edifício, é necessário ainda delimitar o espaço de forma a compreender qual a envolvente exterior. As figuras 16 e 17 apresentam essa delimitação dos espaços dos pisos 1 e 2, respetivamente. Para tal identificação foi utilizada a seguinte representação:

- Envolvente exterior



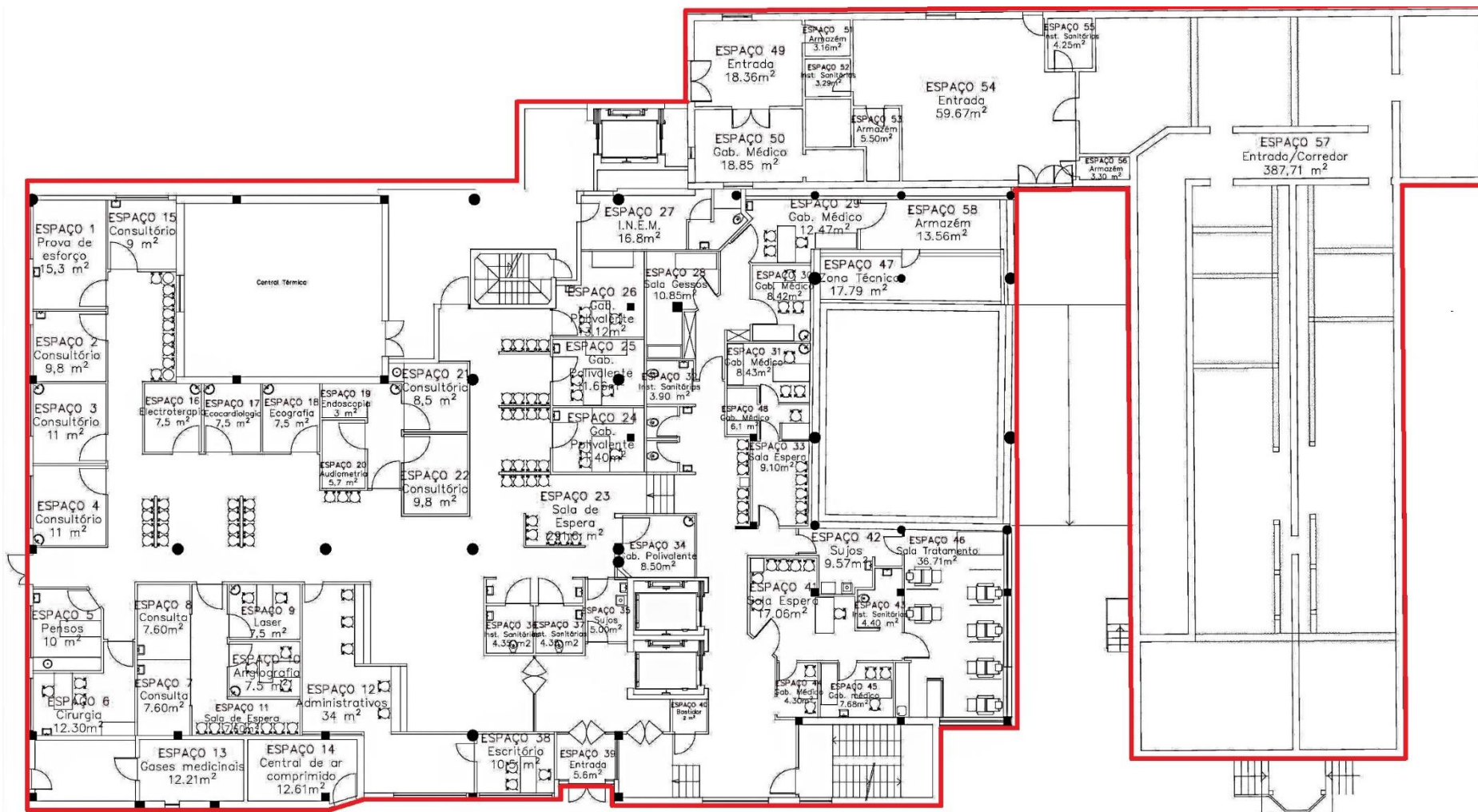


Figura 16. Delimitação da envolvente do piso 1 da ampliação do CHST.

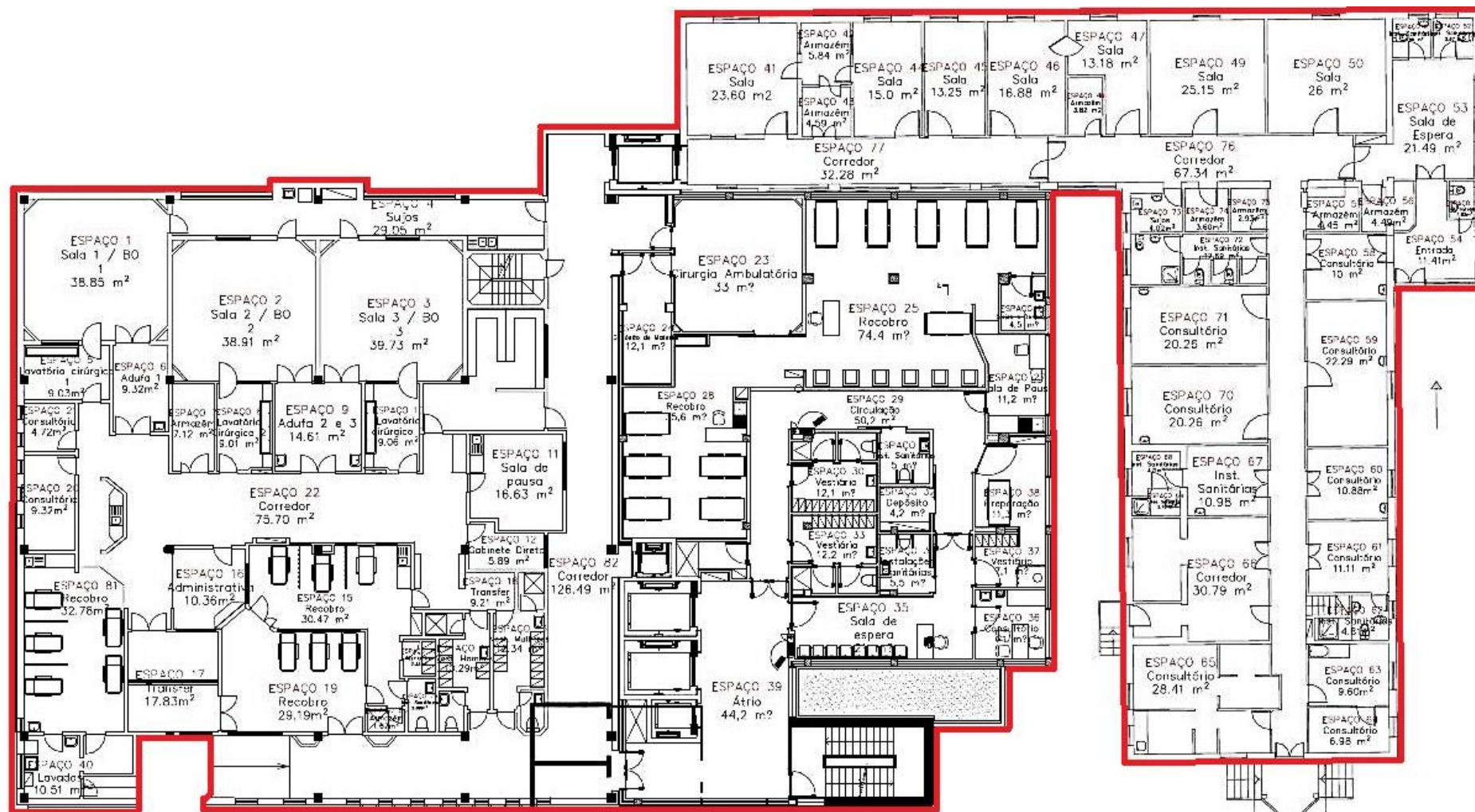


Figura 17. Delimitação da envolvente do piso 2 da ampliação do CHST.

Uma vez que se desconhecem os materiais que compõem a envolvente térmica construtiva do edifício atual, optou-se por considerar os requisitos de referência previstos na legislação. A parede exterior da ampliação do CHST foi considerada com uma espessura de 200 mm e um coeficiente de transmissão térmica igual ao de referência para uma zona climática de I1, imposto na Portaria n.º 17-A/2016, de valor igual a 0,70 W/m².°C para elementos opacos verticais exteriores ou interiores [22]. No caso das paredes interiores com requisitos, verifica-se que o coeficiente de transmissão térmica é igual.

O pavimento interior com requisitos e a cobertura exterior foram considerados elementos opacos horizontais interior e exterior, respetivamente, com o valor de coeficiente de transmissão térmica de 0,50 W/m².°C, de acordo com a sua zona climática I1 apresentada na mesma portaria.

Os vãos envidraçados exteriores do Centro Hospitalar em estudo apresentam um coeficiente de transmissão térmica de 4,30 W/m².°C e um fator solar de referência igual a 0,20, para uma zona climática de V2.

Na tabela 23 apresenta-se a síntese dos valores dos coeficientes de transmissão térmica utilizados para cada envolvente.

Tabela 23. Coeficientes de transmissão térmica das envolventes [22].

Envolvente	Coeficiente de transmissão térmica, U (W/m².°C)
Parede exterior	0,70
Parede interior	0,70
Pavimento interior	0,50
Cobertura exterior	0,50
Envidraçado exterior	4,30

3.2.3 Cargas internas

3.2.3.1 Equipamentos

De acordo com o Decreto-Lei n.º 79/2006 e considerando que a ampliação das urgências é um estabelecimento de saúde com internamento, a densidade imposta para os equipamentos é de 10 W/m² [44]. Assim, o perfil horário de utilização dos equipamentos durante o seu funcionamento pode ser observado no gráfico 1.

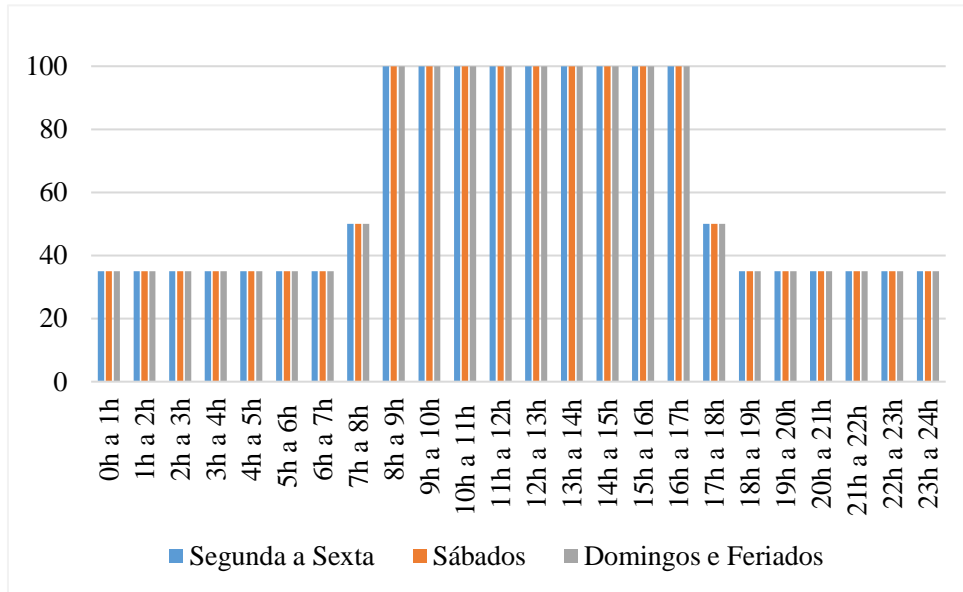


Gráfico 1. Perfil de equipamentos (adaptado do Decreto-Lei n.º 79/2006) [44].

3.2.3.2 Ocupação

Para obter uma aproximação das simulações do comportamento térmico real, é importante o conhecimento da ocupação dos vários espaços do hospital. Sendo assim, é imposto que a densidade do estabelecimento seja de 20 m²/ocupante segundo o Decreto-Lei utilizado no subcapítulo “Equipamentos” [44]. Os valores da ocupação de cada espaço encontram-se disponíveis na tabela 24 do cálculo do caudal de ar novo mínimo.

O mesmo Decreto-Lei impõe um perfil de ocupação para estabelecimentos de saúde com internamento, tal como se pode verificar no gráfico 2.

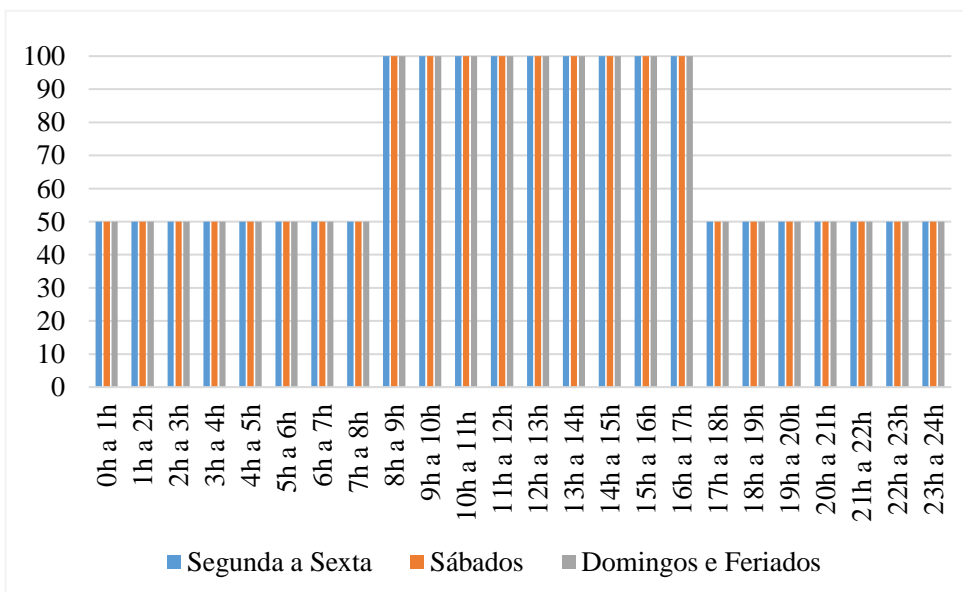


Gráfico 2. Perfil de ocupação (adaptado do Decreto-Lei n.º 79/2006) [44].

3.2.3.3 Iluminação

O sistema de iluminação previsto para a ampliação das urgências do CHST é do tipo adaptativo, variando os valores de luminosidade consoante o espaço.

Inicialmente avaliou-se os espaços de acordo com as suas características, e atribuíram-se os valores de iluminância ($\overline{E_m}$), consultando a ISO 8895:2002 [56]. De seguida, decidiu-se os valores máximos de densidade de potência de iluminação (DPI) presentes na Portaria n.º 17-A/2016, de forma, a obter a densidade em W/m² para cada espaço, tendo como referência o perfil de luminosidade imposto pelo Decreto-Lei n.º 79/2006 (gráfico 3) [22, 43].

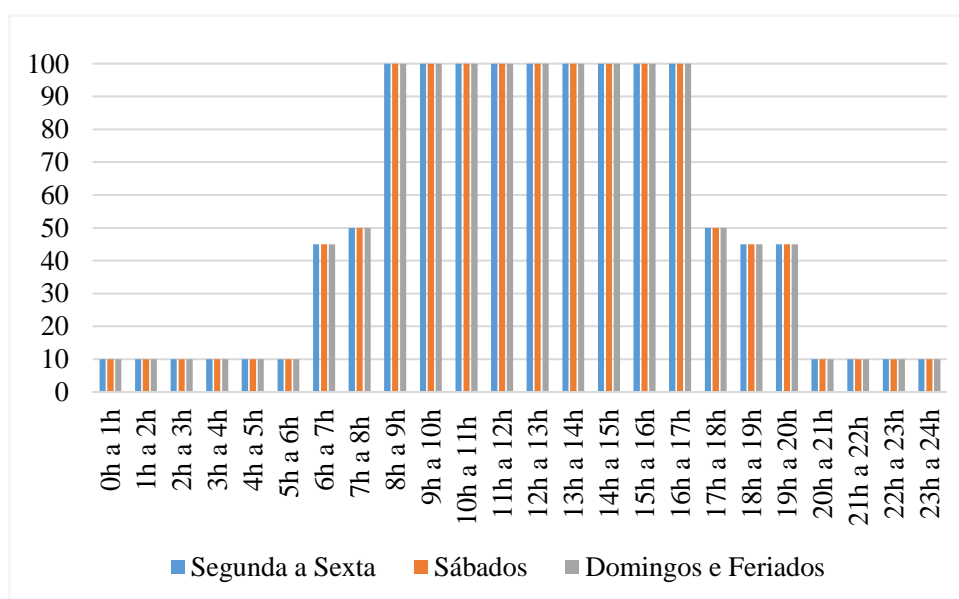


Gráfico 3. Perfil de iluminação (adaptado do Decreto-Lei n.º 79/2006) [44].

3.2.4 Caudal de ar novo mínimo

A ampliação do CHST deve respeitar os requisitos mínimos de caudal de ar novo impostos pela Portaria n.º 353-A/2013. Assim, é estabelecido que, no projeto de novos edifícios dotados de sistemas de climatização com ventilação mecânica, devem ser garantidos caudais mínimos de ar novo (para renovação do ar interior) [14]. O objetivo principal desta renovação é garantir a qualidade de ar aceitável em espaços para que não haja concentrações atípicas de poluentes.

Na legislação anterior referida constam os caudais mínimos de ar novo que devem ser considerados para cada espaço da ampliação do CHST, tendo sido calculados por dois métodos distintos [14]:

- Em função do tipo de espaço (28 m³/h.pessoa para BO's; 24 m³/h.pessoa para os restantes espaços), onde depende da quantidade de pessoas que frequentam o espaço;

- Em função da carga poluente devido ao edifício ($3 \text{ m}^3/\text{hora.m}^2$), que depende da área do espaço.

Para os cálculos, foi utilizado sempre o maior valor dos dois métodos em cada espaço, multiplicando pela eficácia de ventilação de 80 % como referido na Portaria n.º 353-A/2013 [14]. As tabelas 24 e 25 apresentam os valores de caudal de ar novo mínimo para os pisos 1 e 2, respetivamente, tendo em consideração os dois métodos utilizados. No entanto, os valores de caudais de ar novo mínimo calculados devem estar de acordo com a Especificação Técnica 06/2008 v.2014 da ACSS, para cada tipo de espaço [24].

Tabela 24. Caudal de ar novo mínimo para cada espaço do piso 1 do edifício.

Espaço	Caudal de ar novo mínimo				Eficácia (%)	Caudal de ar novo mínimo (L/s)
	Ocupação		Área			
	n.º pessoas	m ³ /h	m ²	m ³ /h		
1 - Prova de esforço	2	75,0	15,3	45,9	80 %	26,4
2 - Consultório	1	23,5	9,8	29,4	80 %	11,1
3 / 4 - Consultório	2	52,8	11,0	66,0	80 %	23,6
5 - Pensos	1	24,0	10,0	30,0	80 %	11,1
6 - Cirurgia	1	29,5	12,3	36,9	80 %	13,9
7 / 8 - Consulta	2	36,5	7,6	45,6	80 %	16,7
9 - Laser	1	18,0	7,5	22,5	80 %	8,3
10 - Angiografia	1	18,0	7,5	22,5	80 %	8,3
11 - Sala de Espera	1	18,2	7,6	22,8	80 %	8,3
12 - Administrativos	3	81,6	34,0	102,0	80 %	36,1
15 - Consultório	1	21,6	9,0	27,0	80 %	9,7
16 - Eletroterapia	1	18,0	7,5	22,5	80 %	8,3
17 - Eco cardiologia	1	18,0	7,5	22,5	80 %	8,3
18 - Ecografia	1	18,0	7,5	22,5	80 %	8,3
19 - Endoscopia	0	7,2	3,0	9,0	80 %	4,2
20 - Audiometria	1	13,7	5,7	17,1	80 %	6,9
21 - Consultório	1	20,4	8,5	25,5	80 %	9,7
22 - Consultório	1	23,5	9,8	29,4	80 %	11,1
23 - Sala de Espera	29	699,8	291,6	874,8	80 %	304,2
24 - Gab. polivalente	1	27,4	11,4	34,2	80 %	12,5
25 - Gab. polivalente	1	28,0	11,7	35,0	80 %	12,5
26 - Gab. polivalente	1	31,5	13,1	39,4	80 %	13,9
27 - INEM	2	40,3	16,8	50,4	80 %	18,1
28 - Sala de gessos	1	26,0	10,9	32,6	80 %	12,5
29 - Gab. médico	1	29,9	12,5	37,4	80 %	13,9
30 - Gab. médico	1	20,2	8,4	25,3	80 %	9,7
31 - Gab. médico	1	20,2	8,4	25,3	80 %	9,7

32 - Inst. Sanitárias	0	9,4	3,9	11,7	80 %	5,6
33 - Sala de espera	1	21,8	9,1	27,3	80 %	9,7
34 - Gab. polivalente	1	20,4	8,5	25,5	80 %	9,7
35 - Sujos	1	12,0	5,0	15,0	80 %	5,6
36 / 37 - Inst. sanitárias	1	20,9	4,4	26,1	80 %	9,7
38 - Escritório	1	25,2	10,5	31,5	80 %	9,7
39 - Entrada	1	13,5	5,6	16,9	80 %	6,9
40 - Bastidor	0	4,8	2,0	6,0	80 %	2,8
41 - Sala de espera	2	40,9	17,1	51,2	80 %	18,1
42 - Sujos	1	23,0	9,6	28,7	80 %	11,1
43 - Inst. sanitária	0	10,6	4,4	13,2	80 %	5,6
44 - Gab. médico	0	10,3	4,3	12,9	80 %	5,6
45 - Gab. médico	1	18,4	7,7	23,0	80 %	8,3
46 - Sala de tratamento	4	88,1	36,7	110,1	80 %	38,9
48 - Gab. médico	1	14,7	6,1	18,3	80 %	6,9
49 - Entrada	2	45,9	18,4	73,4	80 %	12,5
50 - Gab. médico	2	49,0	18,9	94,3	80 %	9,7
51 - Armazém	0	8,5	3,2	19,0	80 %	2,8
52 - Inst. sanitárias	0	9,2	3,3	23,0	80 %	2,8
53 - Armazém	1	16,0	5,5	44,0	80 %	2,8
54 - Entrada	6	179,0	59,7	537,0	80 %	22,2
55 - Inst. sanitárias	0	13,2	4,3	42,5	80 %	2,8
56 - Armazém	0	10,6	3,3	36,3	80 %	1,4
57 - Entrada / Corredor	39	1279,4	387,7	4652,5	80 %	133,3
58 - Armazém	1	46,1	13,6	176,3	80 %	5,6

Tabela 25. Caudal de ar novo mínimo para cada espaço do piso 2 do edifício.

Espaço	Caudal de ar novo mínimo				Eficácia (%)	Caudal de ar novo mínimo (L/s)
	Ocupação		Área			
	n.º de pessoas	m³/h	m²	m³/h		
1 - Sala 1 / BO 1	4	108,8	38,9	116,6	80 %	41,7
2 - Sala 2 / BO 2	4	108,9	38,9	116,7	80 %	41,7
3 - Sala 3 / BO 3	4	111,2	39,7	119,2	80 %	41,7
4 - Sujos	3	69,7	29,1	87,2	80 %	30,6
5 - Lavatório cirúrgico 1	1	21,7	9,0	27,1	80 %	9,7
6 - Adufa 1	1	22,4	9,3	28,0	80 %	11,1
7 - Armazém	1	17,1	7,1	21,4	80 %	8,3
8 - Lavatório cirúrgico 2	1	21,6	9,0	27,0	80 %	9,7
9 - Adufa 2 e 3	1	35,1	14,6	43,8	80 %	16,7
10 - Lavatório cirúrgico 3	1	21,7	9,1	27,2	80 %	9,7
11 - Sala de pausa	2	39,9	16,6	49,9	80 %	18,1
12 - Gab. diretor	1	14,1	5,9	17,7	80 %	6,9
13 - Vest. mulheres	1	29,6	12,3	37,0	80 %	13,9
14 - Vest. homens	1	24,7	10,3	30,9	80 %	11,1
15 - Recobro15	3	73,1	30,5	91,4	80 %	31,9
16 - Administrativa	1	24,9	10,4	31,1	80 %	11,1
17 - Transfer.	2	42,8	17,8	53,5	80 %	19,4
18 - Transfer.	1	22,1	9,2	27,6	80 %	11,1
19 - Recobro19	3	70,1	29,2	87,6	80 %	30,6
20 - Consultório	1	22,4	9,3	28,0	80 %	11,1
21 - Consultório	0	11,3	4,7	14,2	80 %	5,6
22 - Corredor	8	181,7	75,7	227,1	80 %	79,2
23 - Cirurgia ambulatória	3	79,2	33,0	99,0	80 %	34,7
24 - Depósito de material	1	29,0	12,1	36,3	80 %	13,9
25 - Recobro25	7	178,6	74,4	223,2	80 %	77,8
26 - Sujos e depósitos	0	10,8	4,5	13,5	80 %	5,6
27 - Sala de pausa	1	26,9	11,2	33,6	80 %	12,5
28 - Recobro28	4	85,4	35,6	106,8	80 %	37,5
29 - Circulação	5	120,5	50,2	150,6	80 %	52,8
30 - Vestiário	1	29,0	12,1	36,3	80 %	13,9
31 - Inst. sanitárias	1	12,0	5,0	15,0	80 %	5,6
32 - Depósito	0	10,1	4,2	12,6	80 %	5,6
33 - Vestiário	1	29,3	12,2	36,6	80 %	13,9

34 - Inst. sanitárias	1	13,2	5,5	16,5	80 %	6,9
35 - Sala de espera	2	50,4	21,0	63,0	80 %	22,2
36 - Consultório	2	50,4	21,0	63,0	80 %	22,2
37 - Vestiário	1	17,0	7,1	21,3	80 %	8,3
38 - Preparação	1	27,1	11,3	33,9	80 %	12,5
39 - Átrio	4	106,1	44,2	132,6	80 %	47,2
40 - Lavados	1	25,2	10,5	31,5	80 %	11,1
41 - Sala	2	56,6	23,6	70,8	80 %	25,0
42 - Armazém	1	14,0	5,8	17,5	80 %	6,9
43 - Armazém	0	11,0	4,6	13,8	80 %	5,6
44 - Sala	2	36,0	15,0	45,0	80 %	16,7
45 - Sala	1	31,8	13,3	39,8	80 %	15,3
46 - Sala	2	40,5	16,9	50,6	80 %	18,1
47 - Sala	1	31,6	13,2	39,5	80 %	13,9
48 - Armazém	0	9,2	3,8	11,5	80 %	4,2
49 - Sala	3	60,4	25,2	75,5	80 %	26,4
50 - Sala	3	62,4	26,0	78,0	80 %	27,8
51 - Inst. sanitárias	0	6,9	2,9	8,7	80 %	4,2
52 - Inst. sanitárias	0	7,1	3,0	8,9	80 %	4,2
53 - Sala de espera	2	51,6	21,5	64,5	80 %	23,6
54 - Entrada	1	27,4	11,4	34,2	80 %	12,5
55 - Inst. sanitárias	0	4,4	1,8	5,5	80 %	2,8
56 - Armazém	0	10,8	4,5	13,5	80 %	5,6
57 - Armazém	0	10,7	4,5	13,4	80 %	5,6
58 - Consultório	1	24,0	10,0	30,0	80 %	11,1
59 - Consultório	2	53,5	22,3	66,9	80 %	23,6
60 - Consultório	1	26,1	10,9	32,7	80 %	12,5
61 - Consultório	1	26,7	11,1	33,3	80 %	12,5
62 - Inst. sanitárias	0	11,5	4,8	14,4	80 %	5,6
63 - Consultório	1	23,0	9,6	28,8	80 %	11,1
64 - Consultório	1	16,8	7,0	20,9	80 %	8,3
65 - Consultório	3	68,2	28,4	85,2	80 %	30,6
66 - Corredor	3	73,9	30,8	92,4	80 %	33,3
67 - Inst. sanitárias	1	26,4	11,0	32,9	80 %	12,5
68 - Inst. sanitárias	0	8,9	3,7	11,1	80 %	4,2
69 - Inst. sanitárias	0	5,2	2,2	6,5	80 %	2,8
70 - Consultório	2	48,6	20,3	60,8	80 %	22,2
71 - Consultório	2	48,6	20,3	60,8	80 %	22,2
72 - Inst. sanitárias	1	30,5	12,7	38,1	80 %	13,9
73 - Sujos	0	9,6	4,0	12,1	80 %	5,6
74 - Armazém	0	8,6	3,6	10,8	80 %	4,2
75 - Armazém	0	7,0	2,9	8,8	80 %	4,2
76 - Corredor 1	7	161,6	67,3	202,0	80 %	70,8
77 - Corredor 2	3	77,5	32,3	96,8	80 %	34,7
78 - Armazém	0	5,6	2,3	7,0	80 %	2,8

79 - Inst. sanitárias	0	6,9	2,9	8,6	80 %	4,2
80 - Armazém	0	4,0	1,7	5,0	80 %	2,8
81 - Recobro81	3	78,7	32,8	98,3	80 %	34,7
82 - Corredor	13	303,6	126,5	379,5	80 %	131,9

A tabela 26 apresenta os requisitos impostos pela ACSS [24]. Em comparação com os valores calculados dos caudais de ar novo mínimo e os valores recomendados pela ACSS, verifica-se que o caudal de ar novo mínimo para cada espaço (tabelas 24 e 25) não está de acordo com os valores do caudal de ar novo mínimo recomendado pela ACSS. Posto isto, todos os valores que são inferiores aos valores da ACSS, foram considerados iguais às recomendações da ACSS.

Tabela 26. Caudal de ar novo mínimo recomendado pela ACSS [24].

Espaço	Caudal de ar novo mínimo
BO	100,0 m ³ /h.pessoa
Recobros	≥ 50,0 m ³ /h.pessoa
Salas de exames	≥ 30,0 m ³ /h.pessoa
Gabinetes de consulta	≥ 35,0 m ³ /h.pessoa
Salas de espera	≥ 15,0 m ³ /h.m ²
Direção/Administrativos	35,0 m ³ /h.pessoa
Instalações sanitárias	10,0 rph
Vestiários	10,0 m ³ /h.m ²
Armazéns de produtos limpos	2,0 rph
Armazéns de produtos sujos e lixos	10,0 rph

3.2.5 Nível de filtragem mínima

Um sistema AVAC requer a utilização de filtros adequados com o intuito de limpar o ar, de modo a não ser insuflado ar com contaminantes. Os hospitais têm de adequar o tipo de filtros com os diferentes tipos de espaços, pois todos requerem níveis de pureza do ar diferentes.

A Especificação Técnica 06/2008 v.2014 da ACSS divulga quais e onde os filtros devem ser instalados na UTA e na UTAN [24]. A UTA e a UTAN têm uma composição de filtros idêntica, constituída por um módulo de pré-filtragem (mínimo F5) e um módulo de filtragem (mínimo entre F7 a F9). No entanto, na admissão de ar exterior deve fazer-se no módulo de pré filtragem comum às unidades (mínimo G3), caso não seja possível deve prever-se mais um módulo de filtragem inicial (mínimo G3) associado à própria unidade [24]. No entanto, existem requisitos específicos na filtragem suplementar para cada UTA/UTAN, dependendo do espaço. A tabela 27 resume quais os requisitos impostos pela ACSS, em relação à instalação dos filtros suplementares, para cada espaço.

Tabela 27. Nível de filtragem recomendado pela ACSS para os diferentes espaços [24].

Espaço	Níveis de filtragem
BO's	A UTA deve ter filtragem final mínima F9. Utilização de filtros terminais (mínimo H14). Grelhas de extração deve ter um nível de filtragem mínima G4.
Recobros	Utilização de filtros terminais (mínimo H12).
Salas de exames	A UTA e UTAN deve ter filtragem final mínima F9.
Gabinetes de consulta	A UTAN deve ter filtragem final mínima F7.
Salas de espera	A UTA e UTAN deve ter filtragem final mínima F9.
Direção/Administrativos	A UTAN deve ter filtragem final mínima F7.

3.3 Simulação no HAP da Carrier

Após o levantamento dimensional da ampliação do CHST, foi possível proceder à utilização do *software* HAP da Carrier para obter o projeto AVAC, bem como as cargas térmicas e as energias consumidas pelo edifício.

O CHST não deu resposta/validação para a continuidade do projeto, pelo que não foi possível cumprir com um dos objetivos propostos neste trabalho, nomeadamente o dimensionamento dos equipamentos do sistema AVAC do edifício. Deste modo, as simulações energéticas realizadas tiveram como base as especificações impostas pela Especificação Técnica 06/2008 v.2014 da ACSS [24].

3.3.1 Modelação do edifício

Para dar cumprimentos à modelação do edifício, inicialmente foram introduzidos os dados relativos à localização do edifício e os dados climáticos. Para tal, foi utilizada a base de dados climáticos referida no subcapítulo 3.2.1.

De seguida, foram introduzidos os espaços de cada piso e respetivas áreas, cargas internas e características da envolvente (figura 18). Nas cargas internas foram introduzidos os perfis de utilização apresentados no subcapítulo “Cargas internas” (3.2.3).

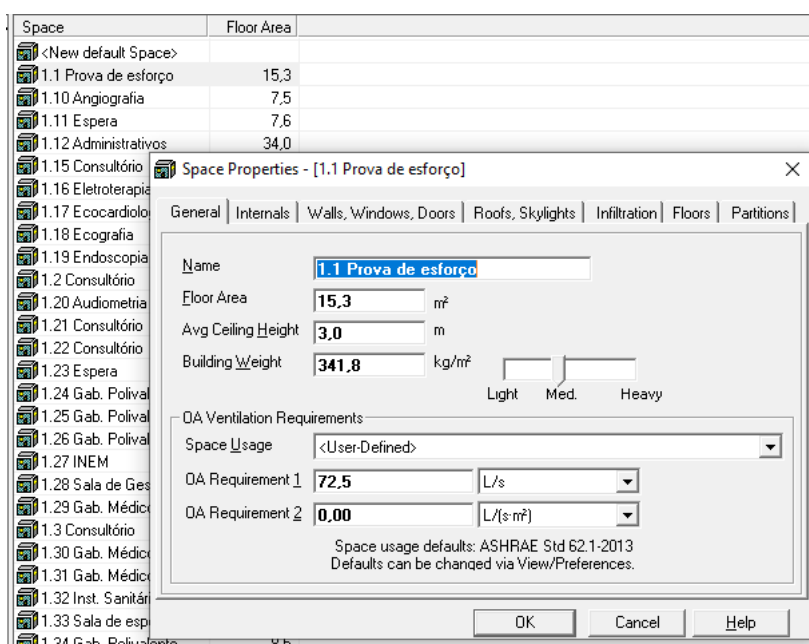


Figura 18. Levantamento dimensional no *software* Carrier HAP [57].

Para as janelas foram apenas consideradas os vãos envidraçados sem qualquer tipo de sombreamento, satisfazendo as características impostas na Portaria n.º 17-A/2016 [22], como referido no subcapítulo 3.2.2.

De modo a permitir as trocas de calor de um espaço climatizado com um espaço adjacente, foi necessário preencher o separador *Partitions* com a área da parede ou teto, o coeficiente de transmissão térmica e a temperatura máxima e mínima dos espaços

adjacentes (figura 19). O cálculo das temperaturas máximas e mínimas do espaço não condicionado foi realizado através da equação 11.

$$T_{\text{esp. não cond.}} = T_{\text{int. projeto}} - [b_{\text{tr}} \cdot (T_{\text{int. projeto}} - T_{\text{exterior}})] \quad [11]$$

Onde,

$T_{\text{esp. não cond.}}$ – Temperatura do espaço não condicionado, °C;

$T_{\text{int. projeto}}$ – Temperatura interior de projeto dos espaços climatizados, sendo para o Verão a temperatura de 25 °C e para o Inverno 20 °C;

b_{tr} – coeficiente de redução de perdas, de valor igual a 0,4 [58];

T_{exterior} – Temperatura exterior de projeto, sendo para o Verão a temperatura de 34,1°C e para o Inverno - 2,0 °C;

O separador *Partitions* foi preenchido para todos os espaços que fazem fronteira com a central térmica situada no piso 1.

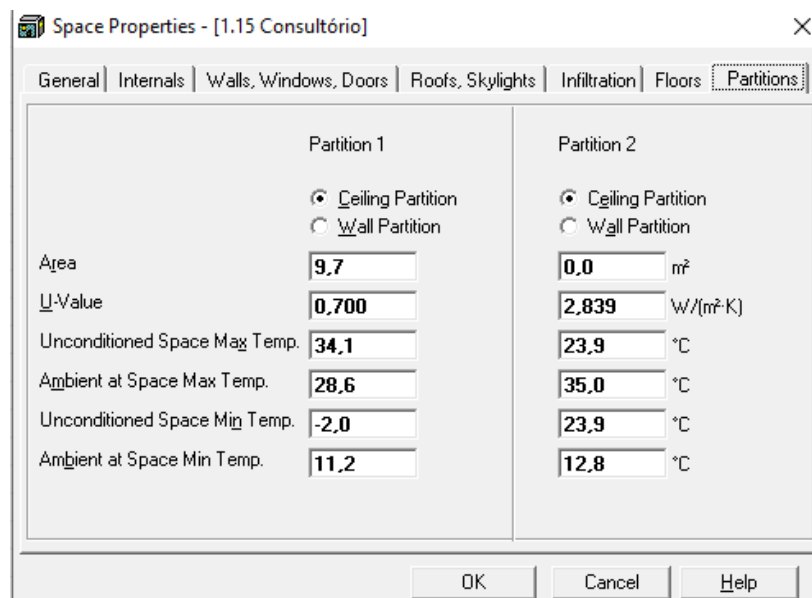


Figura 19. Separador "Partitions" para o espaço 15 do piso 1.

As infiltrações acontecem quando não existe renovação mecânica ou quando os caudais de insuflação e extração são iguais, ou seja, estão em equilíbrio. No caso da ampliação do CHST, é um edifício que trabalha 24 horas por dia, é fortemente ventilado e existem espaços com renovação de ar, logo admitiu-se que não existiam infiltrações no edifício de ar exterior.

3.3.2 Metodologia de simulação

Antes de proceder à definição do sistema de climatização, foi necessário agrupar todos os espaços de modo a facilitar a atribuição de sistemas. Na figura 20 é possível observar a divisão dos espaços.

Air System	Type	Sizing Status	Simulation Status
<New default System>			
2.1 Sala1/BlocoOperatório	Single Zone CAV	Sized	Simulated
2.2 Sala2/BlocoOperatório	Single Zone CAV	Sized	Simulated
2.3 Sala3/BlocoOperatório	Single Zone CAV	Sized	Simulated
Adufas/Lavatórios/Transfer P2	Single Zone CAV	Sized	Simulated
Armazens Piso1	Single Zone CAV	Sized	Simulated
Armazens Piso2	Single Zone CAV	Sized	Simulated
Gab.Médicos Piso1	Single Zone CAV	Sized	Simulated
Gab.Médicos Piso2	Single Zone CAV	Sized	Simulated
I.S. Piso 1	Single Zone CAV	Sized	Simulated
I.S. Piso2	Single Zone CAV	Sized	Simulated
Recobro15 Piso2	Single Zone CAV	Sized	Simulated
Recobro19 Piso2	Single Zone CAV	Sized	Simulated
Recobro25 Piso2	Single Zone CAV	Sized	Simulated
Recobro28 Piso2	Single Zone CAV	Sized	Simulated
Recobro81 Piso2	Single Zone CAV	Sized	Simulated
SalasEspera/Corredores Piso1	Single Zone CAV	Sized	Simulated
SalasEspera/Corredores Piso2	Single Zone CAV	Sized	Simulated
SalasExames Piso1	Single Zone CAV	Sized	Simulated

Figura 20. Sistemas considerados no *software Carrier HAP* [57].

Para a simulação energética do edifício, a opção foi definir o tipo de equipamento como “*Chilled Water Air Handling Units*” e um sistema do tipo volume de ar constante para uma zona única (VAC - *Single zone*).

A colocação e caracterização dos equipamentos para cada sistema foi realizada no separador “*System Components*” (por exemplo, figura 21). a caracterização dos equipamentos foi realizada segundo a Especificação Técnica 06/2008 v.2014 da ACSS [24].

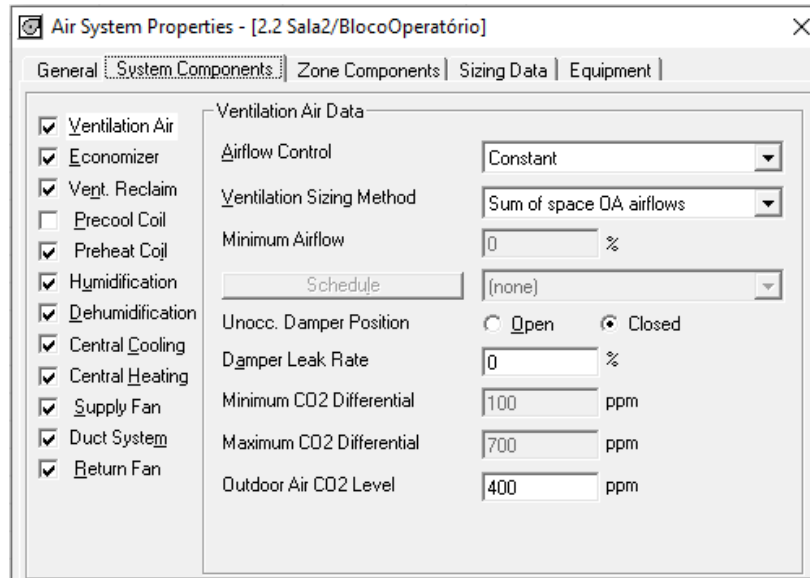


Figura 21. Separador "System Components" do BO 2 do piso 2.

A simulação permitiu obter as potências térmicas de cada sistema, necessárias para a climatização durante todo o ano, considerando todas as trocas de calor entre a envolvente opaca e não opaca; e ganhos internos. Desta forma, determinou-se a potência de aquecimento e de arrefecimento do edifício em estudo para as seguintes situações:

1. Situação base, pré-Covid-19;
2. Situação pandémica, Covid-19:
 - a. Impacto do caudal 100 % ar novo;
 - b. Impacto da desativação dos recuperadores de calor;
 - c. Impacto do nível de filtragem;
 - d. Impacto conjunto.

3.4 Situação Base, pré-Covid-19

Neste capítulo, são apresentados os equipamentos de climatização utilizados e os resultados da simulação térmica e energética do edifício antes de sofrer as alterações impostas depois situação pandémica, Covid-19.

- Equipamentos utilizados

Para os três BO's (sala 1, 2 e 3) e cinco Recobros (recobro 15, 19, 25, 28 e 81) existentes no piso 2, foram considerados os equipamentos e respetivas características (tabela 28) impostas na Especificação Técnica 06/2008 v.2014 da ACSS [24]. De notar que os valores do consumos específico dos ventiladores utilizados foram retirados da Portaria n.º 17-A de 2016 e da EN 16798-3:2017 [22, 59].

Tabela 28. Equipamentos utilizados e suas caraterísticas para os BO's, na situação base, pré-Covid-19.

Equipamentos	Características
Ventilador	1,250 W/(L/s)
Recuperador de calor	50 % de eficiência térmica Potência de 0,50 kW
Bateria de pré-aquecimento	<i>Setpoint</i> de 10 °C Utilizado nos meses: janeiro, fevereiro, março, abril, outubro, novembro e dezembro
Humidificador	HR mínima de 40 % Potência de 0,50 kWh/kg
Desumidificador	HR máxima de 60 %
Central de aquecimento	Temperatura de 28 °C
Central de arrefecimento	Temperatura de insuflação de 16 °C Fator de desvio da bateria de arrefecimento = 0,10
Ventilador de insuflação	1,250 W/(L/s)
Ventilador de retorno	1,250 W/(L/s)
Sistemas de condutas	5 % de perdas por <i>Heat Gain</i> 5 % de perdas por <i>Leakage</i>

A tabela 29 apresenta os equipamentos e respetivas características utilizadas para os restantes espaços do edifício, como se encontra definido na Especificação Técnica 06/2008 v.2014 da ACSS [24].

Tabela 29. Equipamentos utilizados e suas características para os restantes espaços, antes do aparecimento do vírus Covid-19.

Equipamentos	Características
Ventilador	1,250 W/(L/s)
Recuperador de calor	50 % de eficiência térmica Potência de 0,50 kW
Bateria de pré-aquecimento	Setpoint de 10 °C Utilizado nos meses: janeiro, fevereiro, março, abril, outubro, novembro e dezembro
Central de aquecimento	Temperatura de 28 °C
Central de arrefecimento	Temperatura de insuflação de 16 °C Fator de desvio da bateria de arrefecimento = 0,10
Ventilador de insuflação	1,250 W/(L/s)
Ventilador de retorno	1,250 W/(L/s)
Sistemas de condutas	5 % de perdas por <i>Heat Gain</i> 5 % de perdas por <i>Leakage</i>

Após a definição dos equipamentos de acordo com as características mais adequadas, foi possível criar uma central de aquecimento com recurso a 3 caldeiras e uma central de arrefecimento com 2 *chillers* (figura 22). Esta definição das centrais térmicas de aquecimento e arrefecimento, foi selecionada de acordo com a Especificação Técnica 06/2008 v.2014 da ACSS [24].

Plant	Plant Type
<New default Plant>	
Central Aquecimento	Hot Water Plant
Central de Arrefecimento	Chiller Plant

Figura 22. Lista da centrais térmicas de aquecimento e arrefecimento.

▪ Cargas térmicas

Através das simulações obtidas, foi possível analisar as potências térmicas de arrefecimento e aquecimento.

Considerando que, a carga térmica de aquecimento é a potência máxima que o sistema de aquecimento tem de possuir para garantir o conforto térmico de todos os espaços climatizados da ampliação do CHST (caso não existam ganhos solares nem internos). Esta potência, apenas conta com todas as perdas por condução através da envolvente do edifício e as perdas por renovação do ar. No entanto, as perdas de renovação de ar são desprezadas tal como referido anteriormente, contando apenas para o cálculo as perdas

relacionadas com a envolvente térmica do edifício. Assim, a potência máxima obtida, pelo *software* HAP, foi de 81,3 kW para uma área útil de 2737,5 m², o que equivale a uma potência de aquecimento de 29,7 W/m².

Em relação à carga térmica de arrefecimento associada à potência térmica necessária retirar do espaço, para que a temperatura do interior seja igual e constante estabelecida nas condições de projeto, foi obtido um valor de 189,6 kW. Esta carga térmica está dependente dos ganhos internos (iluminação, equipamentos e ocupação); ganhos associados à ventilação; ganhos solares através dos envidraçados; e ainda, ganhos relativos à condução de calor através dos elementos opacos da envolvente do edifício.

▪ Consumos de energia

Através do *software* HAP da *Carrier*, foi também possível prever os consumos anuais de energia da ampliação das urgências aquando do seu funcionamento.

O gráfico 4 apresenta os consumos de energia dos componentes em percentagem, antes de ocorrer qualquer modificação, ou seja, na situação base pré-Covid-19, e utilizando somente os valores de referência. Em análise, verifica-se que a maior parte de energia consumida (à volta de 65,0 %) pela ampliação do CHST é através dos equipamentos elétricos e iluminação. No entanto, a energia consumida para satisfazer as condições de fornecimento de ar também é significativa, com 20,4 %.

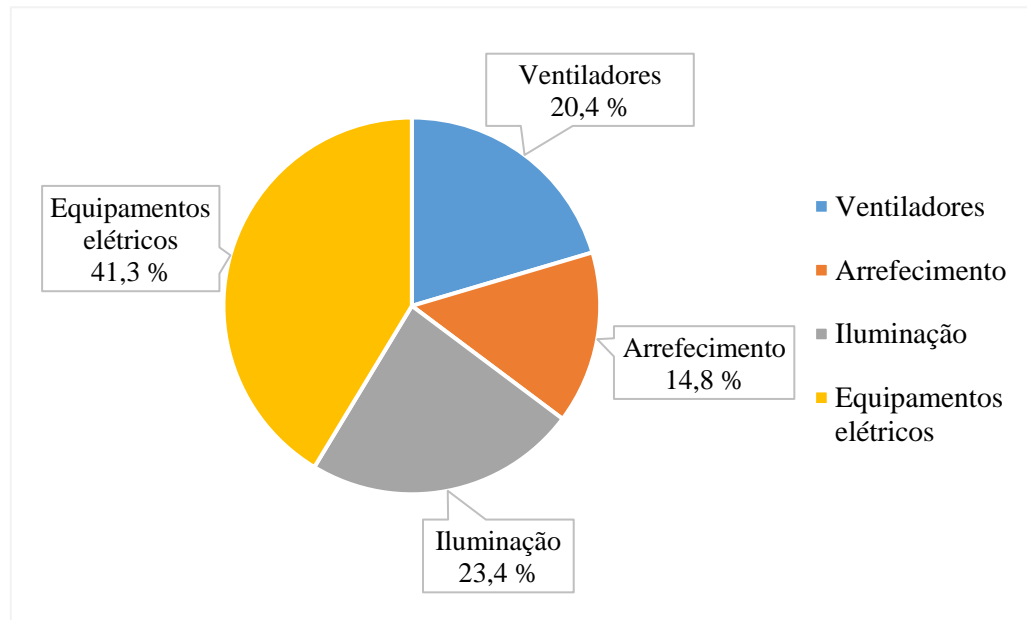


Gráfico 4. Consumos anuais de energia dos componentes, na situação base (por recurso ao *software* *Carrier* HAP).

Na tabela 30 são apresentados os consumos anuais de energia total do edifício em estudo na situação base.

Tabela 30. Consumos anuais de energia total na situação base, pré-Covid-19.

Tipo de Energia	Consumo (kWh/ano)
Eletricidade AVAC	123914,0
Eletricidade não-AVAC	227510,0

Como já referido, foram utilizados os valores de referência impostos na legislação, permitindo aferir o valor 1 para R_{IEE} , pois o valor de IEE_s é exatamente o mesmo que o valor de IEE_{ref} , ou seja, igual a $320,94 \text{ kWh}_{EP}/\text{m}^2 \cdot \text{ano}$. Através dos valores apresentados da tabela 21 das classes energéticas, no subcapítulo 2.4.1, conclui-se que o edifício em estudo, na situação base, apresenta uma classe energética igual a B-.

3.5 Situação Pandémica, Covid-19

Neste subcapítulo serão apresentados os resultados obtidos das simulações energéticas realizadas no *software* HAP da *Carrier* para as recomendações impostas pela DGS, de forma a mitigar a transmissão aérea do vírus Covid-19, nomeadamente:

- Impacto da alteração do caudal de 100 % de ar novo;
- Impacto da desativação das unidades de recuperação de calor;
- Impacto da alteração do nível de filtragem;
- Impacto conjunto.

Impacto da alteração do caudal de 100 % ar novo

Com o aparecimento do Covid-19, foi necessário ajustar os sistemas de climatização dos hospitais, como já referido anteriormente. O caudal de ar novo é um dos parâmetros a ajustar. A Orientação n.º 033/2020 da DGS recomenda o uso de 100 % de ar novo e sem recurso a ventilação de retorno [26].

Primeiramente, calculou-se o caudal de 100 % de ar novo tendo em conta a ocupação de cada espaço. Utilizou-se as potências de aquecimento e arrefecimento de cada sistema e determinou-se o caudal de 100 % de ar novo, com recurso à expressão 12.

$$Q = \dot{m} \cdot c_p \cdot (T_{\text{Verão/Inverno}} - T_{\text{Interior}}) \leftrightarrow \dot{m} = \frac{Q}{c_p} \cdot (T_{\text{Verão/Inverno}} - T_{\text{Interior}}) \quad [12]$$

Onde,

Q – Potência de aquecimento/arrefecimento do edifício na situação base, pré-Covid-19, W;

\dot{m} - Caudal de 100 % de ar novo, m³/h;

c_p – Calor específico de valor igual a 0,34 J/m³.°C;

$T_{\text{Verão/Inverno}}$ – Temperatura de verão ou inverno, dependendo da potência da carga térmica utilizada, °C;

T_{Interior} – Temperatura de interior, de valor igual a 25 °C.

Com este caudal de 100 % de ar novo calculado, foi necessário dividi-lo pelos espaços existentes em cada sistema. Essa divisão teve em conta a ocupação de cada espaço. No anexo B, é apresentado o caudal de 100 % de ar novo para cada sistema considerado e para os respetivos espaços. Por exemplo, na tabela 31 apresenta-se a divisão do caudal do sistema “SalasExames Piso1” que é composto por 12 espaços.

Tabela 31. Divisão do caudal 100 % de ar novo para o sistema "SalasExames Piso1".

SalasExames Piso1	Caudal 100 % de ar novo no sistema (L/s)	Ocupação	Caudal 100 % de ar novo em cada espaço (L/s)
1.1 - Prova de esforço	790,06	2	87,37
1.5 - Pensos		1	57,10
1.6 - Cirurgia		1	70,24
1.9 - Laser		1	42,83
1.10 - Angiografia		1	42,83
1.16 - Eletroterapia		1	42,83
1.17 - Eco cardiologia		1	42,83
1.18 - Ecografia		1	42,83
1.19 - Endoscopia		1	57,10
1.20 - Audiometria		1	32,55
1.28 - Sala de gesso		1	61,96
1.46 - Sala de tratamentos		4	209,62

Calculados todos os caudais de 100 % de ar novo para cada espaço, foi necessário ter em conta quais os espaços que iriam sofrer alterações. Esses espaços foram todos os BO's e recobros, e ainda todos os espaços com mais de 10 m².

Desta forma, foi possível simular o edifício e perceber qual o impacto da mudança do caudal de 100 % de ar novo que terá nas cargas térmicas de aquecimento e arrefecimento e ainda nos consumos energéticos.

- Cargas térmicas

A potência máxima que o sistema de aquecimento tem de possuir para garantir o ambiente agradável em todos os espaços climatizados da ampliação do CHST é de 103,1 kW, para uma área útil de 2737,5 m². Isto caso não existam ganhos solares nem internos, o que equivale a uma carga térmica de aquecimento de 37,7 W/m².

No entanto, a carga térmica de arrefecimento obtida foi de 210,3 kW. Associa-se a esta carga térmica os ganhos internos (iluminação, equipamentos e ocupação), ganhos associados à ventilação, ganhos solares através dos envidraçados e ainda ganhos relacionados com a condução de calor através dos elementos opacos da envolvente do edifício.

- Consumos de energia

Os consumos de energia associados ao impacto da alteração do caudal de 100 % de ar novo são apresentados no gráfico 5. Da análise do gráfico, pode-se verificar que o

consumo de energia por parte dos ventiladores de ar e dos equipamentos de arrefecimento, aumentou ligeiramente em comparação com os consumos de energia na situação base. No entanto, os equipamentos elétricos e iluminação apresentam um consumo de energia muito superior que os restantes componentes, aproximadamente 64,0 % de consumo contra 36,5 %.

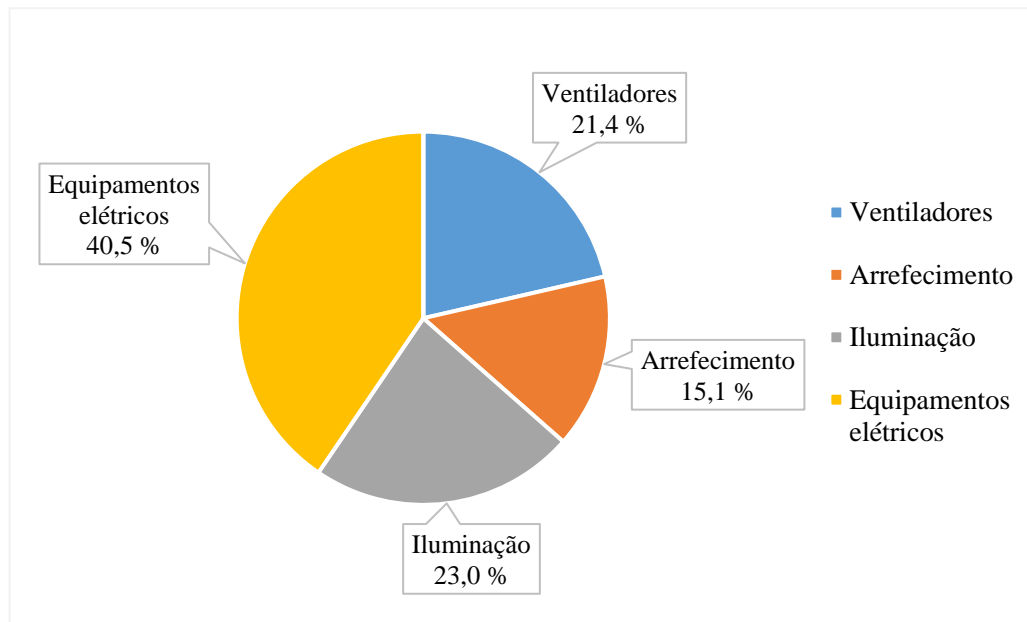


Gráfico 5. Consumos anuais de energia dos componentes para o impacto do caudal de 100 % de ar novo (por recurso ao *software* Carrier HAP).

Impacto da desativação das unidades de recuperação de calor

A Orientação n.º 033/2020 da DGS recomenda a desativação das unidades de recuperação de calor, uma vez que as partículas contaminantes suspensas no ar podem ser transportadas, através das fugas dos recuperadores de calor para o ar de admissão [26]. Desta recomendação, foi necessário perceber qual o impacto que a desativação destas unidades poderá causar nas cargas térmicas de aquecimento e arrefecimento, e ainda nos consumos energéticos anuais do edifício em estudo.

▪ Cargas térmicas

A potência máxima de aquecimento, relacionada com as perdas de calor pela envolvente térmica da ampliação do CHST, tem um valor de 47,4 W/m² para uma área útil de 2737,5 m², o que equivale a uma carga térmica de aquecimento de 129,6 kW.

Já a carga térmica de arrefecimento apresenta um valor superior, de 233,5 kW. Ou seja, é necessário retirar uma potência térmica de 85,3 W/m² para que a temperatura do interior seja igual ou contante às necessidades do projeto.

▪ Consumos de energia

Os consumos de energia anuais de cada componente, para o impacto da desativação das unidades de recuperadores de calor, estão representados no gráfico 6. De notar que os consumos de energia por parte dos equipamentos elétricos e iluminação apresentam a maior parte dos consumos da ampliação do CHST, num total de 67,4 %. No entanto, os equipamentos de arrefecimento apresentam um consumo de 16,5 % e os ventiladores necessários no sistema AVAC do edifício consome 16,0 % da energia total anual.

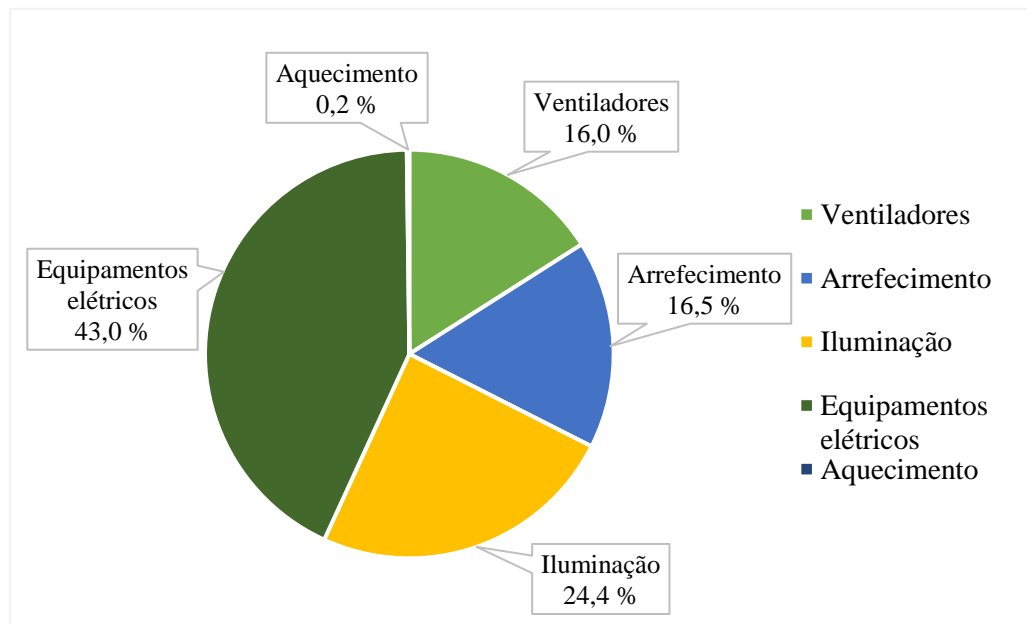


Gráfico 6. Consumos anuais de energia dos componentes para o impacto da desativação dos recuperadores de calor (por recurso ao software Carrier HAP).

Impacto da alteração do nível de filtragem

A alteração do nível de filtragem dos sistemas AVAC é mais uma recomendação da Orientação n.º 033/2020 da DGS, para prevenir o transporte de contaminantes e microrganismos pelo ar.

A DGS recomenda a introdução de um filtro absoluto HEPA no circuito de saída do ar de extração, imediatamente antes do ventilador de extração. Este procedimento deve englobar todos os espaços de pressão negativa onde possam vir a permanecer doentes infetados. No entanto, a instalação destes filtros absolutos provocará uma perda de pressão significativa, o que poderá levar a uma substituição dos ventiladores de extração. Segundo a EN 16798-3:2017, a instalação dos filtros HEPA leva a que o consumo específico do ventilador (P_{SFP}) aumente + 1000 W/(m³/s) [59]. Este incremento irá causar um aumento de consumos de energia, uma vez que será necessário um ventilador de extração com maior potência para suportar as perdas de pressão existentes.

Para além da perda de pressão significativa, há também custos monetários mais elevados para a instalação dos filtros HEPA, visto que são filtros de elevada eficiência.

Impacto conjunto

Após a análise de cada um dos impactos que terão as alterações recomendadas pela DGS, é possível estudar o impacto conjunto (caudal de 100 % de ar novo + desativação dos recuperadores de calor + alteração dos níveis de filtragem) para perceber como o aparecimento do vírus Covid-19 mudou os sistemas AVAC a nível hospitalar.

Deste modo, foi preciso adequar os equipamentos utilizados em cada sistema, retirando os recuperadores de calor e ventiladores de retorno segundo a Orientação n.º 033/2020 da DGS [26]. Também, foi necessário aumentar o consumo específico dos ventiladores devido à alteração do nível de filtragem para filtragem de alta eficiência.

A tabela 32 apresenta todos os equipamentos utilizados e respetivas características, seguindo a Especificação Técnica 06/2008 v.2014 da ACSS [24], para os espaços dos BO's e recobros da ampliação do CHST. De notar que os valores do consumos específico dos ventiladores utilizados foram retirados da Portaria n.º 17-A de 2016 e da EN 16798-3:2017 [22, 59].

Tabela 32. Equipamentos utilizados e suas características para os espaços dos BO's e recobros, tendo em conta o impacto conjunto.

Equipamentos	Características
Ventilador	1 W/(L/s) + 0,75 W/(L/s)
Bateria de pré-aquecimento	Setpoint de 10 °C Utilizado nos meses: janeiro, fevereiro, março, abril, outubro, novembro e dezembro
Humidificador	HR mínima de 40 % Potência de 0,50 kWh/kg
Desumidificador	HR máxima de 60 %
Central de aquecimento	Temperatura de 28 °C
Central de arrefecimento	Temperatura de insuflação de 16 °C Fator de desvio da bateria de arrefecimento = 0,10
Ventilador de insuflação	1,250 W/(L/s)
Sistemas de condutas	5 % de perdas por <i>Heat Gain</i> 5 % de perdas por <i>Leakage</i>

Nos restantes espaços foram utilizados os mesmos equipamentos e respetivas características (tabela 33), tendo em conta as normas da ACSS [24]. De notar apenas com a diferença de não serem necessários os humidificadores e desumidificadores para controlar a humidade do ambiente interior. E que os valores do consumos específico dos ventiladores utilizados foram retirados da Portaria n.º 17-A de 2016 e da EN 16798-3:2017 [22, 59].

Tabela 33. Equipamentos utilizados e suas características para os restantes espaços, tendo em conta o impacto conjunto.

Equipamentos	Características
Ventilador	1 W/(L/s) + 0,75 W/(L/s)
Bateria de pré-aquecimento	Setpoint de 10 °C Utilizado nos meses: janeiro, fevereiro, março, abril, outubro, novembro e dezembro
Central de aquecimento	Temperatura de 28 °C
Central de arrefecimento	Temperatura de insuflação de 16 °C Fator de desvio da bateria de arrefecimento = 0,10
Ventilador de insuflação	1,250 W/(L/s)
Sistemas de condutas	5 % de perdas por <i>Heat Gain</i> 5 % de perdas por <i>Leakage</i>

- Cargas térmicas

Após concluídas as simulações, obtiveram-se as cargas térmicas de aquecimento e arrefecimento do edifício para a situação pandémica, com todas as recomendações da DGS impostas.

Assim, de modo a manter o ambiente interior agradável da ampliação do CHST, a potência máxima a instalar obtida na estação de Inverno foi de 172,2 kW; o que equivale a 62,9 W/m². No entanto, quanto à carga térmica de arrefecimento, associada à potência térmica necessária a remover do edifício para manter a temperatura interior constante, foi de valor igual a 277,6 kW.

- Consumos de energia

Previu-se também, os consumos de energia da ampliação do CHST durante um ano. O gráfico 7 mostra os consumos anuais de energia por parte dos componentes, para o impacto conjunto na situação pandémica, Covid-19.

Os equipamentos elétricos e iluminação consomem a maior parte da energia da ampliação do CHST, como se pode verificar no gráfico 7. O consumo de energia por parte dos sistemas de aquecimento é quase nulo. No entanto, o consumo por parte dos ventiladores aumentou significativamente visto que foi aumentado o consumo específico dos ventiladores segundo a EN 16798-3:2017 [59].

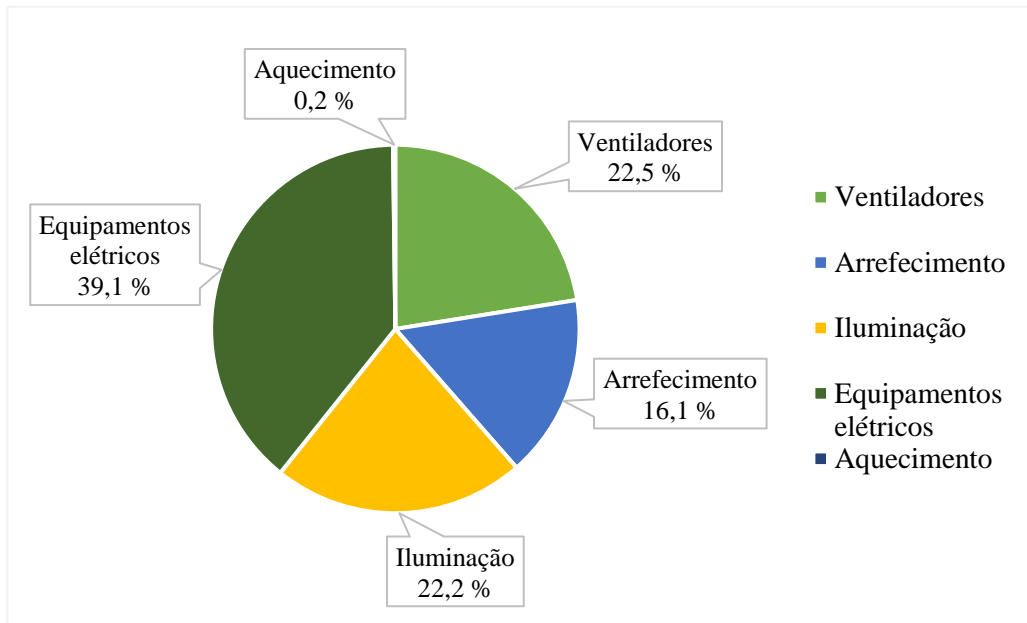


Gráfico 7. Consumos anuais de energia dos componentes, na situação pandémica (por recurso ao software Carrier HAP).

Na tabela 34, são apresentados os valores de energia total consumida por ano durante a situação pandémica, Covid-19.

Tabela 34. Consumos de energia total anuais na situação pandémica, Covid-19.

Tipo de Energia	Consumo (kWh/ano)
Eletricidade AVAC	143218,0
Eletricidade não-AVAC	227510,0
Gás Natural	804,0
<i>Chiller</i>	40919,4

O consumo de energia por parte do *chiller* é associada a energia renovável, o que significa que foi necessário calcular a energia renovável consumida através da expressão 8, com um Q_{usable} de 143218,0 kWh/ano e utilizando um SPF de 1,4 para uma fonte de energia hidrotérmica água-ar associado a bombas de calor térmicas, presente no Despacho n.º 14985/2015 [48]. A equação 13, evidencia a forma de cálculo da energia renovável consumida.

$$\begin{aligned}
 E_{\text{ren}} &= Q_{\text{usable}} \cdot \left(1 - \frac{1}{\text{SPF}}\right) = \\
 &= 143218,0 \cdot \left(1 - \frac{1}{1,4}\right) \\
 &= 40919,4 \text{ kWh/ano}
 \end{aligned}
 \tag{13}$$

Assim, utilizando a equação 7, presente no subcapítulo 2.4.1, foi possível obter um IEE_{ren} de $14,95 \text{ kWh}_{\text{EP}}/\text{m}^2 \cdot \text{ano}$, como calculado abaixo.

$$\begin{aligned}
 \text{IEE}_{\text{ren}} &= \frac{1}{A_p} \sum_i (E_{\text{ren},i} \cdot F_{\text{pu},i}) = \\
 &= \frac{1}{2737,5} \cdot (40919,4 \cdot 1,0) \\
 &= 14,95 \text{ kWh}_{\text{EP}}/\text{m}^2 \cdot \text{ano}
 \end{aligned}
 \tag{14}$$

Todos os outros tipos de energia foram considerados consumos de energia do tipo S, o que equivale a um IEE_S igual a $353,81 \text{ kWh}_{\text{EP}}/\text{m}^2 \cdot \text{ano}$, como se pode constatar pelo cálculo explanado abaixo.

$$\begin{aligned}
 \text{IEE}_S &= \frac{1}{A_p} \sum_i (E_{S,i} \cdot F_{\text{pu},i}) = \\
 &= \frac{1}{2737,5} \cdot (143218,0 \cdot 2,5 + 804,0 \cdot 1,0 + 227510,0 \cdot 2,5 + 40919,4 \cdot 1,0) \\
 &= 353,81 \text{ kWh}_{\text{EP}}/\text{m}^2 \cdot \text{ano}
 \end{aligned}
 \tag{15}$$

Nesta fase, com todos os parâmetros reunidos é possível obter, através da equação 10, um R_{IEE} de 1,06 o que equivale a uma classe energética C, de acordo com a tabela 21.

$$\begin{aligned}
 R_{\text{IEE}} &= \frac{\text{IEE}_S - \text{IEE}_{\text{ren}}}{\text{IEE}_{\text{ref},S}} \\
 &= \frac{353,81 - 14,95}{320,94} \\
 &= 1,06
 \end{aligned}
 \tag{16}$$

3.6 Análise de Resultados

Com o objetivo de perceber quais as mudanças que o vírus Covid-19 impõe nos sistemas AVAC, através dos resultados aferidos das simulações realizadas, nos subcapítulos anteriores (3.4 e 3.5), é possível efetuar uma análise mais completa por comparação dos resultados obtidos das cargas térmicas de aquecimento e arrefecimento e analisar os consumos energéticos anuais da ampliação do CHST.

Cargas térmicas

Em relação às cargas térmicas de aquecimento e arrefecimento do edifício em estudo, verifica-se que há um aumento significativo com o aparecimento do vírus Covid-19. O gráfico 8 mostra esse aumento das cargas térmicas, em comparação com as cargas térmicas de aquecimento e arrefecimento antes do aparecimento do vírus Covid-19.

O impacto da alteração do caudal de 100 % de ar novo aumentou significativamente as cargas de aquecimento e arrefecimento. Este aumento pode ser explicado devido pelo maior esforço por parte dos sistemas de climatização para obter um ambiente interior agradável e sem riscos de transmissão de contaminantes pelo ar. O impacto da desativação das unidades de recuperação de calor levou também, a um aumento das cargas térmicas de aquecimento e arrefecimento mais acentuado comparativamente com o impacto da alteração do caudal de 100 % de ar novo.

O impacto conjunto “Situação pandémica, Covid-19”, verificou-se um aumento das cargas térmicas do edifício em estudo, passando a ter valor de 172,2 kW de aquecimento e 277,6 kW de arrefecimento. Estes resultados podem ser explicados pela maior utilização dos sistemas para que não haja transmissão e contaminação do ar interior do sistema e, também, devido à utilização do caudal de 100 % de ar novo em quase todos os espaços como é orientado pela DGS [26] e ainda ao aumento do consumo específico dos ventiladores devido à alteração do nível de filtragem.

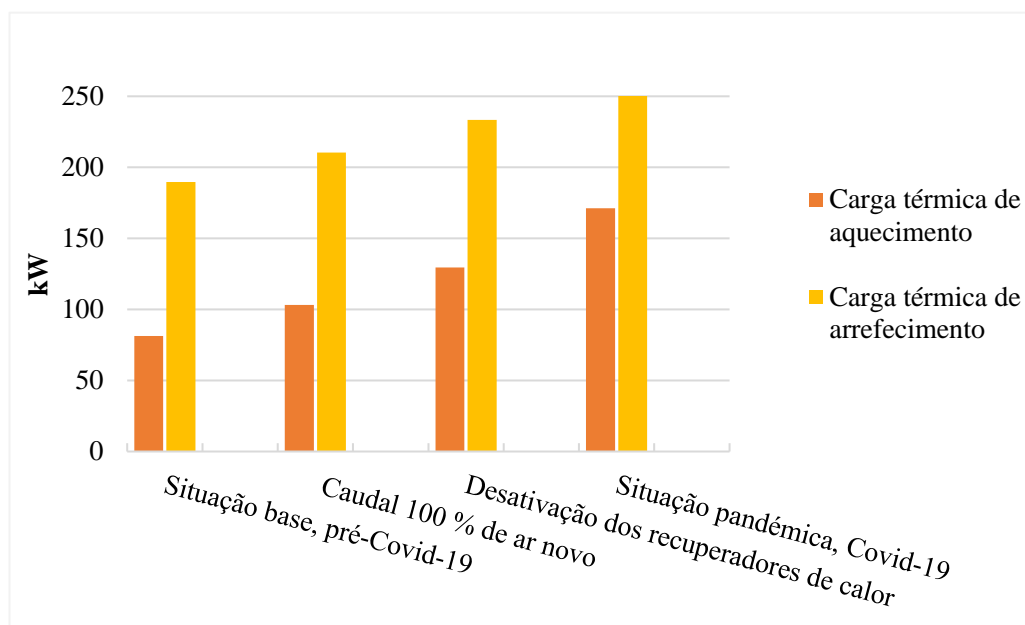


Gráfico 8. Comparação entre as cargas térmicas na situação base e pandémica.

Consumos de energia

Os consumos energéticos anuais para as situações em estudo são apresentados no gráfico 9. O gráfico mostra que o consumo de energia dos equipamentos elétricos e iluminação são iguais para todas as situações.

A alteração do nível de filtragem no sistema de climatização do edifício em estudo provoca um aumento dos consumos de energia, pois será necessário a troca de equipamentos por outros com maior potência para suportar as perdas de pressão associadas às instalações de novos filtros com maior eficiência de filtragem.

O impacto da alteração do caudal de 100 % de ar novo resultou num aumento no consumo energético por parte dos ventiladores de ar comparativamente com o impacto da desativação das unidades de recuperação de calor, o mesmo se verifica nos consumos de energia por parte dos sistemas de arrefecimento.

Os resultados mostram ainda que a diferença nos consumos de ambas as situações é a energia por parte dos sistemas de arrefecimento, tendo um maior consumo na situação pandémica, Covid-19. Uma possível explicação pode estar associada ao aumento da carga térmica de arrefecimento comparativamente com a situação base, pré-Covid-19. No entanto, também se verifica um aumento no consumo por parte dos ventiladores de ar na situação pandémica, devido ao aumento do consumo específico dos ventiladores.

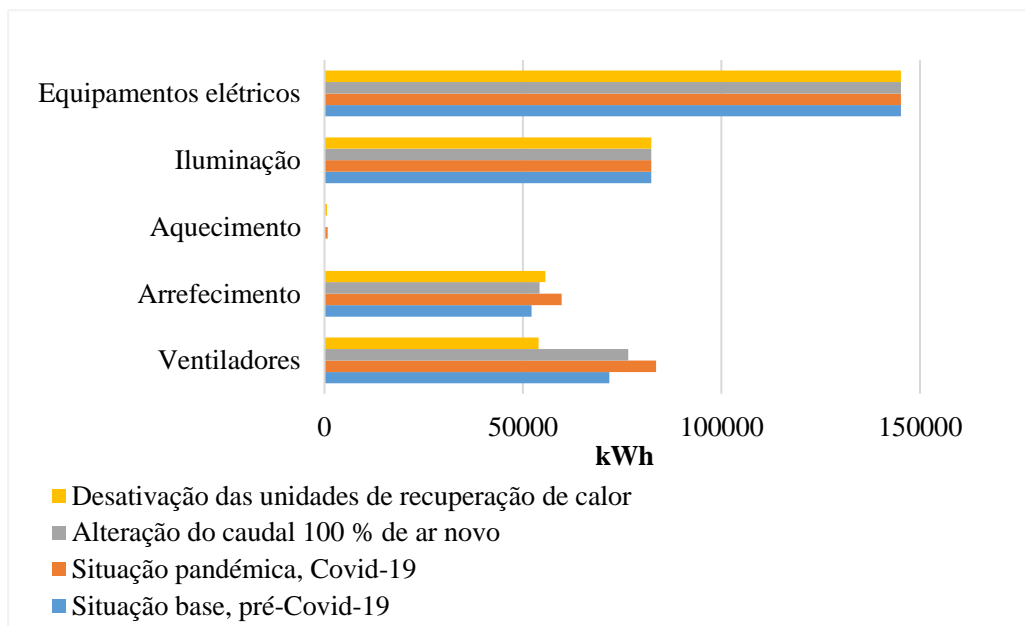


Gráfico 9. Comparação entre os consumos de energia anuais dos componentes na situação base e pandémica.

Em análise das tabelas 29 e 33 dos capítulos 3.4 e 3.5, respetivamente, verifica-se que os valores de consumos de eletricidade pelos sistemas AVAC e não AVAC são praticamente iguais. No entanto, os consumos de energia através do gás natural e dos *chillers* são existentes apenas na situação pandémica, isto acontece devido ao uso de energias renováveis do sistema.

Deste modo, a classe energética do edifício na situação pandémica é inferior à classe energética do edifício na situação base. Isto acontece provavelmente devido ao maior consumo de energia e ao uso de energia do tipo renovável pouco usual, recomendando-se assim um aumento do uso deste tipo de energia; que pode ser implementado, por exemplo, alternando a central de aquecimento para o uso de caldeiras a gás ou aumentando a eficiência dos *chillers* utilizados na central de arrefecimento.

Custos dos consumos de energia

Os custos totais dos consumos de energia dos sistemas das simulações energéticas realizadas foram calculados admitindo que, em Portugal, a energia elétrica e o gás natural têm um preço médio de, respetivamente, 0,14238 €/kWh e 0,05708 €/kWh, no ano de 2021 [60]. A tabela 35 mostra a comparação dos custos totais dos consumos de energia da ampliação do CHST para as simulações realizadas.

Os custos entre a situação “1 – Situação base, pré-Covid-19” e “d – Impacto do conjunto” são diferentes, sendo superior no “d – Impacto do conjunto”. Importa notar que os custos do impacto da alteração do nível de filtragem não foram contabilizados, uma vez que não foi possível saber qual o preço destes filtros e a quantidade de filtros a instalar. Contudo, é expectável que o custo de energia consumida ao longo de um ano seja superior à situação

“1 – Situação base, pré-Covid-19”. No entanto, foi contabilizado os custos associados ao aumento do consumo específico dos ventiladores.

Verifica-se, também, que na situação “b – Impacto da desativação das unidades de recuperação de calor” o preço do consumo total de energia, por cada ano, é menor que todos os outros, visto que foram desativados os recuperadores de calor e consequentemente o consumo de energia elétrica por parte dos sistemas AVAC diminuiu.

Tabela 35. Custos médios da energia elétrica e gás natural utilizada nas simulações realizadas.

Simulação	Energia	kWh/ano	€/kWh	€/ano	
1 – Situação base, pré-Covid-19	Eletricidade AVAC	123914,0	0,14238	17642,9	50035,7
	Eletricidade não AVAC	227510,0	0,14238	32392,9	
	Gás natural	0,0	0,05708	0,0	
2 – Situação pandémica, Covid-19					
a – Impacto da alteração do caudal de 100 % de ar novo	Eletricidade AVAC	130662,0	0,14238	18603,7	50996,5
	Eletricidade não AVAC	227510,0	0,14238	32392,9	
	Gás natural	0,0	0,05708	0,0	
b – Impacto da desativação das unidades de recuperação de calor	Eletricidade AVAC	109551,0	0,14238	15597,9	48026,6
	Eletricidade não AVAC	227510,0	0,14238	32392,9	
	Gás natural	629,0	0,05708	35,9	
c – Impacto do nível de filtragem	-				
d – Impacto do conjunto	Eletricidade AVAC	143218,0	0,14238	20391,4	52830,1
	Eletricidade não AVAC	227510,0	0,14238	32392,9	
	Gás natural	804,0	0,05708	45,9	

CONCLUSÕES

4.1 CONCLUSÕES

4.2 PROPOSTAS PARA TRABALHO FUTURO

4 CONCLUSÕES E PROPOSTAS PARA TRABALHO FUTURO

4.1 Conclusões

A elaboração deste trabalho foi muito desafiante e pretendeu desenvolver a comparação entre situações relativas aos consumos energéticos da ampliação do CHST, com localização em Santo Tirso.

As situações em estudo são: base e pandémica. As simulações individuais de acordo com as recomendações impostas pela DGS, tiveram sempre como base os valores de referência impostos pela legislação. Essas recomendações, para combater a transmissão do vírus por meio aéreo são: impacto da alteração do caudal de 100 % de ar novo; impacto da desativação das unidades de recuperação de calor; impacto da alteração do nível de filtragem; impacto conjunto.

Assim sendo, para além da caracterização em termos de condições de projeto relacionadas com as temperaturas exteriores, interiores e humidades relativas, foi analisado as envolventes exteriores do piso 1 e 2 do edifício, os espaços a climatizar e respetivas áreas, a ocupação pretendida em cada espaço, bem como iluminação, equipamentos e respetivos perfis de utilização. Por fim, foi também importante determinar o caudal de ar novo mínimo para cada espaço e perceber o nível de filtragem utilizado na situação base.

Com todos estes parâmetros definidos, efetuaram-se as simulações energéticas do edifício para as situações em estudo através do *software* HAP da *Carrier*.

Através da análise dos resultados obtidos, foi possível averiguar as cargas térmicas de aquecimento e arrefecimento da ampliação do CHST para as situações base e pandémica. Desta forma, para a situação base, pré-Covid-19, obteve-se uma carga térmica de aquecimento de valor igual a 81,3 kW e uma carga térmica de arrefecimento de 189,6 kW. No entanto, o impacto da alteração do caudal de 100 % de ar novo aumentou significativamente as cargas de aquecimento e arrefecimento, para 103,1 e 210,3 kW, respetivamente. Este aumento pode ser explicado devido ao maior esforço por parte dos sistemas de climatização para obter um ambiente interior agradável e sem riscos de transmissão de contaminantes pelo ar. Já o impacto da desativação das unidades de recuperação de calor, o aumento das cargas térmicas de aquecimento e arrefecimento foi também acentuado (129,6 kW para aquecimento e 233,5 kW para arrefecimento). O impacto conjunto da situação “Situação pandémica, Covid-19”, verificou-se um aumento das cargas térmicas do edifício em estudo, passando a ter valor de 172,2 kW de aquecimento e 277,6 kW de arrefecimento. Este aumento significativo poderá estar associado a uma maior necessidade de utilização dos sistemas de climatização para que não haja transmissão e contaminação pelo ar interior do edifício. Assim, foram selecionados, para as simulações energéticas, 2 *chillers* idênticos para a central de

arrefecimento e 3 caldeiras idênticas para a central de aquecimento definido na Especificação Técnica 06/2008 v.2014 da ACSS.

Após a definição dos equipamentos do sistema AVAC no *software* HAP da *Carrier*, foram determinados os consumos energéticos da ampliação do CHST para ambas as situações. Na situação base, o consumo energético dos equipamentos elétricos foi de 41,3 % e de iluminação de 23,4 %. No entanto, o consumo energético por parte do sistema de arrefecimento foi de 14,8 % e ventiladores de 20,4 %. O impacto da alteração do caudal de 100 % de ar novo fez com que o consumo de energia por parte dos ventiladores aumentasse ligeiramente (21,4 %) relativamente à situação base, e os equipamentos relativos ao arrefecimento do edifício aumentaram o consumo para 15,1 %. O impacto da desativação das unidades de recuperação de calor manteve os consumos dos equipamentos elétricos e iluminação (43,3 % e 24,4 %, respetivamente), no entanto diminui o consumo por parte dos ventiladores (16,0 %). A alteração do nível de filtragem nos sistemas AVAC na situação “depois do aparecimento do vírus Covid-19” provoca um aumento nos consumos de energia, visto que serão instalados filtros de elevada eficiência (filtros HEPA) que aumentam a perda de pressão dos ventiladores de extração. Este aumento, provoca substituições dos ventiladores de extração por ventiladores de maior potência para suportar a perda de carga. Na situação pandémica (impacto conjunto), o consumo energético anual dos equipamentos elétricos e iluminação mantiveram-se iguais, no entanto o consumo de energia associada ao sistema de arrefecimento aumentou para 16,1 % e a energia gasta pelos ventiladores aumentou para 22,5 % uma vez que foi introduzido o aumento do consumo específico dos ventiladores devido à alteração do nível de filtragem. Houve também consumos de energia com fonte em gás natural e energia renovável através dos *chillers* presentes na central de arrefecimento, depois do aparecimento do vírus Covid-19.

Assim, foi possível determinar a classe energética de ambas as situações para o edifício em estudo. Na situação pandémica, o edifício passou a ter uma classe energética C devido ao aumento dos consumos de energia, uma classe inferior comparativamente com a situação base.

Os custos associados ao consumo total de energia da ampliação do CHST são mais elevados na situação pandémica (52830,1 €/ano), gastando energia através de eletricidade e gás natural. O consumo de energia por gás natural tem um custo menor por kWh/ano em relação à energia elétrica. Não foi possível uma comparação profunda entre os custos da situação base e do impacto conjunto (situação pandémica), visto que faltou perceber quais os custos que a instalações do novo nível de filtragem mais eficiente irá causar, pois não foi possível prever a quantidade de filtros a utilizar e o preço dos mesmos. Porém, sabe-se que o custo será elevado, tratando-se de filtros com elevada eficiência e mais dispendiosos comparativamente com os normalmente utilizados na situação base, pré-Covid-19.

Em suma, verificou-se que a situação pandémica trouxe grandes alterações nos sistemas de AVAC dos edifícios, principalmente nos edifícios hospitalares onde os consumos de energia são altos. Posto isto, confirmou-se que os consumos de energia total aumentaram, e para os mesmos diminuir seria expectável recurso a energias renováveis, por exemplo, a utilização de caldeiras a gás na central de aquecimento ou melhorar a

eficiência dos *chillers* utilizados na central de arrefecimento. No entanto, de forma a perceber melhor os reais consumos da ampliação do CHST, seria importante proceder à utilização dos coeficientes de transmissão térmicas reais do edifício.

Os objetivos propostos e descritos no subcapítulo 1.2 foram quase todos atingidos, nomeadamente: a avaliação das alterações impostas aos sistemas AVAC antes e depois do aparecimento do vírus Covid-19; a avaliação dos impactos nos sistemas AVAC, nos consumos de energia e na classificação energética; a perceção dos custos de energia consumida; e atribuição de classe energética. No entanto, é importante notar que durante o estudo não foi possível a realização do objetivo do dimensionamento dos equipamentos, uma vez que o Hospital não deu resposta/validação para a seguimento do projeto. E ainda, é de salientar, por ser um tema atual, a dificuldade em encontrar bibliografia relevante para comparar e fundamentar os resultados obtidos.

4.2 Propostas Para Trabalho Futuro

Como perspetiva de desenvolvimento do presente trabalho sugere-se:

- A realização do dimensionamento dos equipamentos do sistema AVAC do projeto para as duas situações: base e pandémica. E perceber quais as diferenças entre os equipamentos e os consumos reais do edifício;
- A realização do impacto financeiro, envolvendo todos os custos dos equipamentos e filtros, e os custos dos consumos de energia tendo em consideração as recomendações impostas pela DGS;
- A utilização de energias renováveis para melhorar os consumos energéticos e consequentemente a classe energética;
- A visita ao edifício de forma a perceber quais os elementos construtivos utilizados para proceder ao cálculo real do coeficiente de transmissão térmica.

**BIBLIOGRAFIA E OUTRAS
FONTES DE INFORMAÇÃO**

5 BIBLIOGRAFIA E OUTRAS FONTES DE INFORMAÇÃO

- [1] World Health Organization (2020), “Coronavírus disease 2019 (COVID-19)” *Situation Report - 94*, pp 1-12.
- [2] J. Kurnitski, A. Boerstra, and F. Franchimon (2021), “COVID19 HVAC Guidance version 4.1” *REHVA*, pp. 1-41. Disponível em: <https://www.rehva.eu/activities/covid-19-guidance/rehva-covid-19-guidance>.
- [3] A. Correia, A. Rodrigues, C. Dias, D. Antunes, D. Simões, F. Maltez, F. Froes, G. Saldanha, G. Leiras, G. Duarte, J. Magalhães, L. Soares, M. Tavares, M. Albuquerque, M. Duque, M. Arriaga, N. Pereira, R. Guiomar, R. Machado, V. Fonseca, V. Ramos, V. Veríssimo (2020), “Plano Nacional de Preparação e Resposta à Doença por novo coronavírus (COVID-19)”, DGS, pp. 1–80. Disponível em <https://www.dgs.pt/documentos-e-publicacoes/plano-nacional-de-preparacao-e-resposta-para-a-doenca-por-novo-coronavirus-covid-19-pdf.aspx>.
- [4] R. Guenther and J. Karliner (2011), “Uma agenda abrangente de saúde ambiental para hospitais e sistemas de saúde em todo o mundo,” *Heal. Care Without Harm*, pp. 1–48.
- [5] A. Gimelli and M. Muccillo (2013), “Optimization criteria for cogeneration systems: Multi-objective approach and application in an hospital facility,”. doi: 10.1016/j.apenergy.2012.11.076.
- [6] C. E. da S. Oliveira (2012), “Avaliação de Soluções Energéticas em Ambiente Hospitalar – Uma Oportunidade de Negócio ESE Unidade Local de Saúde de Matosinhos, EPE,”. Tese de mestrado. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto.
- [7] C. F. C. Abreu (2010), “O Ambiente Interior e a Saúde dos Ocupantes de Edifícios de Habitação - Capítulo 3: Qualidade do Ar Interior,”. Tese de mestrado. Universidade da Beira Interior, Covilhã.
- [8] A. M. A. T. Magalhães (2009), “Avaliação Do Contributo Na Qualidade Do Ar Interior Hospitalar,”. Tese de mestrado. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto.
- [9] The Government of the Hong Kong Special Administrative Region Indoor Air Quality Management Group (2019), “Guidance Notes for the Management of Indoor Air Quality in Offices and Public Places”, pp. 1–84. Disponível em http://www.iaq.gov.hk/media/23671/gn_eng.pdf.
- [10] Agência Portuguesa do Ambiente Laboratório Referência do Ambiente (2009), “Qualidade do Ar em Espaços Interiores-Um Guia Técnico”, pp. 1–53.
- [11] U. S. Environmental Protection Agency and I. Environments Division (1991), “Indoor Air Facts No. 4 Sick Building Syndrome,” EPA - Air Radiat. (6609J), Res. Dev., pp. 1–4. Disponível em <https://www.epa.gov/sites/production/files/2014->

- 08/documents/sick_building_factsheet.pdf.
- [12] Presidência do Conselho de Ministros (2020). Decreto-Lei n.º 102-A/2020 de 9 de dezembro. Diário da República, 1ª série, N.º 238. Disponível em www.dre.pt
- [13] J. L. de Matos (2014), “Qualidade do Ar Interior em Ambiente Hospitalar: Identificação de Poluentes, Fontes e Estratégias para a Otimização dos Serviços de Saúde,”. Tese de mestrado. Universidade Nova de Lisboa, Lisboa.
- [14] Ministérios do Ambiente, Ordenamento do Território e Energia, da Saúde e da Solidariedade, Emprego e Segurança Social (2013). Portaria n.º 353-A/2013 de 4 de dezembro. Diário da República, 1ª série, N.º 235. Disponível em www.dre.pt
- [15] ASHRAE (2019), “ANSI/ASHRAE Standard 62.1 - 2019: Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality,” Disponível em <https://www.ashrae.org/technical-resources/standards-and-guidelines> (accessed Aug. 26, 2021)
- [16] A. Pinto (2006), “Ventilação mecânica de edifícios de habitação,” 2006. Disponível em https://www.researchgate.net/publication/316279004_Ventilacao_mecanica_de_edificios_de_habitacao
- [17] P. C. Raynor and T. M. Peters (2016), “Chapter 7: Controlling Nanoparticle Exposures - Assessing Nanoparticle Risks to Human Health”, pp. 153-177. Disponível em <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780323353236000074> (accessed Sep. 26, 2021).
- [18] M. G. Wijnenga (2012), “European Air Filter Test Standard EN779:2012,” Disponível em https://www.airah.org.au/Content_Files/Divisionmeetingpresentations/QLD/PPQLD_13-06-2012-GW.pdf (accessed Sep. 26, 2021).
- [19] M. Leung and A. H. S. Chan (2006), “Control and management of hospital indoor air quality,” pp. 1-7. Disponível em <http://www.medscimonit.com/abstract/index/idArt/447117>
- [20] B. Standard (2009), “BS EN 1822-1:2009: High efficiency air filters (EPA, HEPA and ULPA) - Part 1: Classification, performance testing, marking”, pp. 1–24. Disponível em [http://www.gttlaboratory.com/uploads/soft/161025/EN1822-1-2009HighEfficiencyAirFilters\(EPA,HEPAandULPA\)Part1Classification,Performance.pdf](http://www.gttlaboratory.com/uploads/soft/161025/EN1822-1-2009HighEfficiencyAirFilters(EPA,HEPAandULPA)Part1Classification,Performance.pdf).
- [21] ASHRAE (2017), “ANSI/ASHRAE Standard 52.2-2017: Method of Testing General Ventilation Air-Cleaning Devices for Removal Efficiency by Particle Size” Disponível em <https://www.ashrae.org/technical-resources/standards-and-guidelines> (accessed Sep. 26, 2021).
- [22] Trabalho, Solidariedade e Segurança Social e Economia (2016). Portaria n.º 17-A/2016, de 4 de fevereiro. Diário da República, 1ª série, N.º 24. Disponível em www.dre.pt
- [23] World Health Organization (2021), “Roadmap to improve and ensure good indoor ventilation in the context of COVID-19”, pp. 1-38.
- [24] UIE/ACSS (2014), “Especificações Técnicas para Instalações de AVAC (Revisão

- de 2014)” pp. 1–38. Disponível em http://www.acss.min-saude.pt/wp-content/uploads/2016/09/Especificacoes_Tecnicas_06_2008.pdf.
- [25] ASHRAE (2021), “ANSI/ASHRAE Standard 170-2021: Ventilation of Health Care Facilities” Disponível em <https://www.ashrae.org/technical-resources/standards-and-guidelines> (accessed Aug. 26, 2021)
- [26] Direção Geral da Saúde (2020), “Orientação n.º 033/2020”, pp. 1–7.
- [27] E. J. Stewart, R. N. Olmsted, L. J. Schoen, W. Vernon, and W. Conlan (2020), “Documento de Posição da ASHRAE sobre Aerossóis Infecciosos” pp. 1–25.
- [28] F. Shadpour and S. Johnson (2020), “Makeshift negative pressure patient rooms in response to COVID-19” *Journal ASHRAE*, pp. 1–6.
- [29] J. Carpinteiro (2011), *Aquecimento, Ventilação, Ar Condicionado*.
- [30] Daikin (2019), “Catálogo de produtos Unidades de tratamento de ar,” Daikin Europe N.V., pp. 1–16. Disponível em [ECPPT18-810_Catalogo de Produtos - Unidades de Tratamento de Ar.pdf](https://www.daikin.pt/ECPPT18-810_Catalogo_de_Produtos_-_Unidades_de_Tratamento_de_Ar.pdf) (daikin.pt) (accessed Sep. 17, 2021).
- [31] J. Nunes (2017), “Controlo e Monitorização de UTA com sistema de Aquecimento/Arrefecimento integrado”. Tese de mestrado. ISEL, Lisboa.
- [32] Hoval, “Hoval rotary heat exchangers”. Disponível em <https://www.hoval.com.cn/en-cn/products/heat-recovery/rotary-heat-exchangers> (accessed Sep. 17, 2021).
- [33] Hoval, “Hoval Enventus plate heat exchangers”. Disponível em <https://www.hoval.ru/en-ru/products-solutions/products/heat-recovery/plate-heat-exchangers> (accessed Sep. 17, 2021)
- [34] S. K. Wang (2001), *Handbook of Air Conditioning and Refrigeration*, 2nd ed. McGraw-Hill Education.
- [35] Sodeca, “Ventiladores Centrífugos”. Disponível em <https://www.sodeca.pt/productos/cbd-p13?cs=5&fil=50#prod> (accessed Sep. 17, 2021).
- [36] Sodeca, “Ventiladores Axiais”. Disponível em <https://www.sodeca.pt/productos/hep-p90?cs=1&fil=50#prod> (accessed Sep. 17, 2021).
- [37] R. A. dos S. Costa (2018), “Climatização de um Edifício de Serviços – Estágio na Empresa Climacer, Lda.”. Tese de mestrado. ISEC, Coimbra.
- [38] S. Seyam (2018), “Types of HVAC Systems”, pp. 1–18. doi: 10.5772/intechopen.78942.
- [39] W. Grondzik (2007), *Air-Conditioning System Design Manual*, 2nd ed. ASHRAE and ELSEVIER.
- [40] C. Filippín and S. F. Larsen (2009), “Energy efficiency in buildings”, *Energy Effic. Res.*, pp. 153–166. doi: 10.1016/b978-0-12-822989-7.00016-0.
- [41] I. Knight et al. (2010), “HARMONAC - Harmonizing Air Conditioning Inspection and Audit Procedures in the Tertiary Building Sector”. Disponível em

- https://orca.cardiff.ac.uk/7427/1/HARMONAC_FINAL_Report_-_Public_Version.pdf.
- [42] EPTA (2007), “Guidelines for energy efficiency in hospitals”, EMAS Inf. Technol. Hosp., vol. 04, pp. 1–15. Disponível em <http://ec.europa.eu/environment/life/project/Projects/files/book/LIFE04ENVGR114-EE.pdf>.
- [43] Ministério da Economia e da Inovação, Decreto-Lei n.º 78/2006, de 4 de abril. Diário da República, 1ª série-A, N.º 67. Disponível em www.dre.pt
- [44] Ministério das Obras Públicas, Transportes e Comunicações, Decreto-Lei n.º 79/2006, de 4 de abril. Diário da República, 1ª série-A, N.º 67. Disponível em www.dre.pt
- [45] Ministério das Obras Públicas, Transportes e Comunicações, Decreto-Lei n.º 80/2006, de 4 de abril. Diário da República, 1ª série-A, N.º 67. Disponível em www.dre.pt
- [46] Ministério da Economia e do Emprego, “Decreto-Lei n.º 118/2013, de 20 de agosto” Diário da República, 1ª série, N.º 159. Disponível em www.dre.pt
- [47] Ministério do Ambiente, Ordenamento do Território e Energia - Direção-Geral de Energia e Geologia, Despacho (extrato) n.º 15793-H/2013, 3 de dezembro. Diário da República, 2ª série, N.º 234. Disponível em www.dre.pt
- [48] Ministério do Ambiente, Ordenamento do Território e Energia - Direção-Geral de Energia e Geologia, Despacho n.º 14985/2015, de 17 de dezembro. Diário da República, 2ª série, N.º 246. Disponível em www.dre.pt
- [49] Ministério do Ambiente, Ordenamento do Território e Energia - Direção-Geral de Energia e Geologia, Despacho (extrato) n.º 15793-D/2013, de 3 de dezembro. Diário da República, 2ª série, N.º 234. Disponível em www.dre.pt
- [50] Ministério do Ambiente, Ordenamento do Território e Energia - Direção-Geral de Energia e Geologia, Despacho (extrato) n.º 15793-J/2013, de 3 de dezembro. Diário da República, 2ª série, N.º 234. Disponível em www.dre.pt
- [51] Carrier Corporation (2016), "HOURLY ANALYSIS PROGRAM - Quick Reference Guide", 10 th.
- [52] W. Zheng et al. (2021), “COVID-19 Impact on Operation and Energy Consumption of Heating, Ventilation and Air-Conditioning (HVAC) Systems,” Adv. Appl. Energy, vol. 3, pp. 1–25, doi: 10.1016/j.adapen.2021.100040.
- [53] G. Earth (2021), “Google Earth Pro - Centro Hospitalar do Médio Ave”. Disponível em <https://earth.google.com/web/search/centro+hospitalar+de+santo+tirso/@41.34188282,-8.48063085,80.16910534a,190.14595412d,35y,209.39792381h,0t,0r/data=CigiJgokCd-rt1WjXTNAEd-rt1WjXTPAGcCvFaqKxVAITCOxN3xxVfA> (accessed Sep. 17, 2021).
- [54] Laboratório Nacional de Energia e Geologia. (2014). CLIMAS-CSE - Software para o Sistema Nacional de Certificação de Edifícios, versão 1.05

- [55] Mendes, J. C., Guerreiro, M. R., Pina dos Santos, C. A., & Vasconcelos de Paiva, J. A. (1989). *Temperaturas Exteriores de Projeto e Números de Graus-Dias*. Lisboa: Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica/Laboratório Nacional de Engenharia Civil.
- [56] The Commission Internationale de l'Éclairage (2002), "ISO 8995:2002 - Lighting of Indoor Work Places," CIE, pp. 1–28, doi: <http://dx.doi.org/10.3403/02609865>.
- [57] Carrier (2018), "Software Hourly Analysis Program." Carrier.
- [58] Ministério do Ambiente, Ordenamento do Território e Energia - Direção-Geral de Energia e Geologia, Despacho (extrato) n.º 15793-K/2013, de 3 de dezembro" Diário da República, 2ª série, N.º 234. Disponível em www.dre.pt
- [59] CEN (2017), "EN 16798-3:2017 - Energy performance of buildings - Part 3: Ventilation for non-residential buildings - Modules M5-1, M5-4 - Performance requirements for ventilation and room-conditioning systems". Disponível em <https://www.camfil.com/damdocuments/32647/43403/standard-fpren-16798-3-51.pdf>.
- [60] Selectra (2021), "Como calcular o preço kWh da eletricidade e gás natural em Portugal". Disponível em <https://selectra.pt/energia/info/faq/kwh-preco> (accessed Oct. 13, 2021).

ANEXOS

**6.1 ANEXO A - TEMPERATURAS EXTERIORES DE
PROJETO**

**6.2 ANEXO B - CAUDAL DE 100 % DE AR NOVO PARA
CADA SISTEMA E ESPAÇO**

6 ANEXOS

6.1 Anexo A – Temperaturas Exteriores de Projeto

6.1.1 Temperaturas exteriores de projeto de Verão

Quadro II.A - 1
TEMPERATURAS EXTERIORES DE PROJECTO DE VERÃO
(PROBABILIDADES ACUMULADAS DE OCORRÊNCIA DE 90, 95, 97,5 e 99%)
E AMPLITUDE TÉRMICA DIÁRIA NO MÊS MAIS QUENTE

REGIÃO	NUM. DE OROEN	LOCAL	T. TERMOSECO				TW TERMOSECO COINCIDENTE COP F				AMPLITUDE TÉRMICA DIÁRIA				
			99%	97,5%	95%	90%	99%	97,5%	95%	90%					
CONTINENTE	1	MONTALEGRE	28,6	27,3	25,9	24,0	17,4	16,8	16,3	15,6	18,5	17,7	17,0	16,2	12,5
	2	BRAGANÇA	32,8	31,3	29,8	28,0	17,5	17,2	16,7	16,3	18,6	18,0	17,4	16,7	14,3
	3	VIAXA DO CASTELI	32,8	30,8	28,5	26,2	20,5	19,9	19,3	18,5	21,9	20,9	20,0	19,2	8,3
	4	CHAVES	33,8	32,1	30,6	28,4	21,1	20,5	19,8	18,8	22,1	21,3	20,5	19,4	16,6
	5	BRAGA/PEDRO AGRANIO	32,9	31,3	29,6	27,5	22,1	21,1	20,3	19,6	23,5	22,1	21,2	20,2	14,0
	6	PEDRAS SALGADAS	32,1	30,6	29,2	27,2	19,9	19,4	18,8	18,0	21,3	20,3	19,5	18,5	13,8
	7	MIRANDELA	36,0	34,4	33,0	30,9	20,5	20,2	19,7	19,0	22,1	21,1	20,3	19,3	15,9
	8	MIRANDA DO DURO	31,0	31,5	30,1	28,1	19,8	19,3	18,8	17,8	20,6	19,7	18,8	18,0	14,0
	9	SANTO TIRO	35,1	32,0	30,0	27,5	22,8	21,4	20,7	19,7	24,3	22,8	21,7	20,5	13,4
	10	VILA REAL	33,3	31,8	30,7	28,3	19,8	19,7	18,6	17,9	20,7	19,9	19,2	18,4	14,5
	11	PACOS DE FERREIRA	32,8	30,9	29,1	26,7	20,5	19,8	19,2	18,6	21,8	21,0	20,2	19,3	13,2
	12	PONTIÇA/KOBRAS	30,4	28,4	26,4	23,8	20,4	19,8	19,1	18,3	21,6	20,6	19,6	18,8	9,6
	13	REGUA	36,4	34,9	33,3	31,2	22,4	21,9	21,3	20,4	23,2	22,5	21,8	20,9	16,1
	14	PINHADIZ BARBOSA	36,9	35,3	33,4	31,7	22,6	21,8	21,4	20,5	23,8	22,8	22,0	21,1	16,1
	15	PONTIÇA DO PILAR	32,0	29,7	27,5	25,0	20,1	19,7	19,1	18,6	21,6	20,7	20,0	19,2	10,1
	16	BIGORNE	29,1	27,7	26,3	24,4	18,7	17,9	17,5	16,7	22,0	20,2	18,6	17,3	12,4
	17	FIGUEIRA CARDEAL	33,7	32,0	30,6	28,7	20,6	20,1	19,5	18,8	23,1	21,8	20,6	19,4	16,4
	18	SERRA DA MOYA	32,1	30,6	29,3	27,2	20,2	19,7	19,1	18,4	22,6	21,3	20,0	19,0	13,8
	19	VESEU	33,8	32,2	30,7	28,6	20,8	20,2	19,7	18,8	21,9	21,0	20,2	19,3	15,8
	20	S. JACINTO/BALEIA	28,1	25,5	23,4	21,3	19,5	18,8	18,5	18,1	20,7	19,8	19,2	18,6	6,8

Figura 23. Temperaturas exteriores de projeto de Verão (em destaque Santo Tirso) [55].

6.1.2 Temperaturas exteriores de projeto de Inverno

Quadro I.A - 1
 TEMPERATURAS EXTERIORES DE PROJECTO DE INVERNO
 (PROBABILIDADES ACUMULADAS DE OCORRÊNCIA DE 1, 2.5, 5 e 10%)

REGIÃO	NUMERO DE GRUPO	LOCAL	PROB.(%)			
			1.0	2.5	5.0	10.0
	1	MONTALEGRE	-4.8	-3.2	-1.9	-0.6
	2	BRAGANCA	-4.6	-3.2	-2.2	-0.7
	3	VIANA DO CASTELO	-0.3	0.8	2.0	3.6
	4	CHAVES	-5.2	-3.5	-2.3	-0.7
	5	BRAGA	-1.0	0.2	1.3	2.9
	6	PEDRAS SALGADAS	-3.2	-1.8	-0.7	0.7
	7	MIRANDELA	-4.5	-3.1	-2.0	-0.4
	8	MIRANDA DO DOURO	-5.6	-3.8	-2.5	-1.0
	9	SANTO TIRSU	-2.0	-0.8	0.5	2.4
	10	VILA REAL	-2.3	-1.2	0.0	1.3
	11	PACOS DE FERREIRA	-2.2	-1.0	0.1	1.6
	12	PORTO/P. RUBRAS	0.8	1.9	3.0	4.5
	13	REGUA	-1.5	-0.4	0.9	2.4

Figura 24. Temperaturas exteriores de projeto de Inverno (em destaque Santo Tirso) [55].

6.2 Anexo B – Caudal de 100 % de ar novo para cada sistema e espaço

Tabela 36. Caudal de 100 % de ar novo para cada sistema e espaço.

		Caudal 100% ar novo no sistema (L/s)	Ocupação	Caudal 100% ar novo no espaço (L/s)
2.1 Sala1/BlocoOperatório		251,38	4	251,38
2.2 Sala2/BlocoOperatório		251,38	4	251,38
2.3 Sala3/BlocoOperatório		242,40	4	242,40
Recobro15 Piso2		152,63	3	152,63
Recobro19 Piso2		143,65	3	143,65
Recobro25 Piso2		368,10	7	368,10
Recobro28 Piso2		179,56	4	179,56
Recobro81 Piso2		179,56	3	179,56
Adufas/Lavatórios/Transfer P2	2.5 - Lavatório Cirúrgico 1	341,16	1	44,28
	2.6 - Adufa 1		1	44,28
	2.8 - Lavatório Cirúrgico2		1	44,28
	2.9 - Adufa 2 e 3		1	44,28
	2.10 - Lavatório Cirúrgico 3		1	44,28
	2.17 - Transfer.		2	78,96
	2.18 - Transfer.		1	40,79
Armazens Piso1	1.35 - Sujos	116,71	1	16,88
	1.42 - Sujos		1	32,31
	1.51 - Armazém		0	0,00
	1.53 - Armazém		1	33,76
	1.56 - Armazém		0	0,00
	1.58 - Armazém		1	33,76
Armazéns Piso2	2.4 - Sujos	511,74	3	84,09
	2.7 - Armazém		1	28,95
	2.24 - Dep. Material		1	35,03
	2.26 - Sujos e depósitos		1	28,95
	2.32 - Depósito		1	28,95
	2.42 - Armazém		1	16,90
	2.43 - Armazém		1	28,95
	2.48 - Armazém		1	28,95
	2.56 - Armazém		1	28,95
	2.57 - Armazém		1	28,95
	2.73 - Sujos		1	28,95

	2.74 - Armazém		1	28,95
	2.75 - Armazém		1	28,95
	2.78 - Armazém		1	28,95
	2.80 - Armazém		1	28,95
Gab. Médicos Piso1	1.2 - Consultório	1221,00	1	47,32
	1.3 - Consultório		1	48,29
	1.4 - Consultório		1	48,29
	1.7 - Consulta		1	48,29
	1.8 - Consulta		1	48,29
	1.12 - Administrativos		3	144,87
	1.15 - Consultório		1	43,46
	1.21 - Consultório		1	41,05
	1.22 - Consultório		1	47,32
	1.24 - Gab. Polivalente		1	55,05
	1.25 - Gab. Polivalente		1	56,30
	1.26 - Gab. Polivalente		1	63,35
	1.27 - INEM		2	81,08
	1.29 - Gab. médico		1	60,22
	1.30 - Gab. médico		1	40,66
	1.31 - Gab. médico		1	40,71
	1.34 - Gab. Polivalente		1	41,05
	1.38 - Escritório		1	48,29
	1.44 - Gab. médico		1	48,29
	1.45 - Gab. médico		1	48,29
1.48 - Gab. médico	1	29,53		
1.50 - Gab. médico	2	91,02		
Gab. Médicos Piso2	2.11 - Sala de pausa	2307,33	2	96,93
	2.12 - Gab. diretor		1	34,33
	2.16 - Administrativa		1	60,38
	2.20 - Consultório		1	54,32
	2.21 - Consultório		1	58,28
	2.23 - Cirurgia ambulatória		3	192,34
	2.27 - Sala de pausa		1	58,28
	2.38 - Preparação		1	58,28
	2.36 - Consultório		2	122,40
	2.41 - Sala		2	137,55
	2.44 - Sala		2	87,43
	2.45 - Sala		1	77,23
	2.46 - Sala		2	98,38
	2.47 - Sala		1	76,82
	2.49 - Sala		3	146,58
	2.50 - Sala		3	151,54
	2.58 - Consultório		1	58,28

	2.59 - Consultório		2	116,57
	2.60 - Consultório		1	58,28
	2.61 - Consultório		1	64,75
	2.63 - Consultório		1	55,95
	2.64 - Consultório		1	40,68
	2.65 - Consultório		3	165,58
	2.70 - Consultório		2	118,08
	2.71 - Consultório		2	118,08
I.S. Piso1	1.32 - Inst. sanitárias	116,71	1	16,67
	1.36 - Inst. sanitárias		1	16,67
	1.37 - Inst. sanitárias		1	16,67
	1.40 Bastidor		1	16,67
	1.43 - Inst. sanitárias		1	16,67
	1.52 - Inst. sanitárias		1	16,67
	1.55 - Inst. sanitárias		1	16,67
I.S. Piso2	2.13 - Vest. mulheres	682,32	1	58,05
	2.14 - Vest. homens		1	48,41
	2.30 - Vestiário		1	56,92
	2.31 - Inst. sanitárias		1	23,52
	2.33 - Vestiário		1	57,39
	2.34 - Inst. sanitárias		1	25,87
	2.37 - Vestiário		1	33,40
	2.40 - Lavados		1	49,44
	2.51 - Inst. sanitárias		1	47,04
	2.52 - Inst. sanitárias		1	47,04
	2.55 - Inst. sanitárias		1	47,04
	2.62 - Inst. sanitárias		1	47,04
	2.67 - Inst. sanitárias		1	47,04
	2.68 - Inst. sanitárias		0	0,00
	2.69 - Inst. sanitárias		1	47,04
	2.72 - Inst. sanitárias		1	47,04
2.79 - Inst. sanitárias	0	0,00		
Salas Espera/Corredores Piso1	1.11 - Sala de espera	3411,62	1	42,69
	1.23 - Sala de espera		29	1244,88
	1.33 - Sala de espera		1	38,85
	1.39 - Entrada		1	23,99
	1.41 - Sala de espera		2	72,83
	1.49 - Entrada		2	78,38
	1.54 - Entrada		6	254,75
	1.57 - Entrada/corredor		39	1655,24
Salas Espera/Corredores Piso2	2.22 - Corredor	2648,500	8	416,91
	2.29 - Circulação		5	276,47
	2.35 - Sala de espera		2	115,65
	2.39 - Átrio		4	243,43

	2.53 - Sala de espera		2	118,35
	2.54 - Entrada		1	62,84
	2.66 - Corredor		3	169,57
	2.76 - Corredor 1		7	370,87
	2.77 - Corredor 2		3	177,78
	2.82 - Corredor		13	696,63
Salas Exames Piso 1	1.1 - Prova de esforço	790,06	2	87,37
	1.5 - Pensos		1	57,10
	1.6 - Cirurgia		1	70,24
	1.9 - Laser		1	42,83
	1.10 - Angiografia		1	42,83
	1.16 - Eletroterapia		1	42,83
	1.17 - Ecocardiologia		1	42,83
	1.18 - Ecografia		1	42,83
	1.19 - Endoscopia		1	57,10
	1.20 - Audiometria		1	32,55
	1.28 - Sala de gesso		1	61,96
	1.46 - Sala de tratamentos		4	209,62