



# ANÁLISE ENERGÉTICA E ECONÓMICA DE SISTEMAS DE AVAC PARA UM EDIFÍCIO DE SERVIÇOS ? CASO DE ESTUDO: UNIDADE DE SAÚDE FAMILIAR

MÁRCIA MARIA PINTO DA ROCHA

julho de 2023

# ANÁLISE ENERGÉTICA E ECONÓMICA DE SISTEMAS DE AVAC PARA UM EDIFÍCIO DE SERVIÇOS, CASO DE ESTUDO: UNIDADE DE SAÚDE FAMILIAR

Márcia Maria Pinto da Rocha

**2022/2023**

Instituto Superior de Engenharia do Porto

Departamento de Engenharia Mecânica

isen

P.PORTO

# **ANÁLISE ENERGÉTICA E ECONÓMICA DE SISTEMAS DE AVAC PARA UM EDÍFICO DE SERVIÇOS, CASO DE ESTUDO: UNIDADE DE SAÚDE FAMILIAR**

Márcia Maria Pinto da Rocha

1150760

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 do Professor Doutor Rui Filipe Neves Araújo Rego e coorientação do Mestre Joaquim Fernandes Monteiro

2023

Instituto Superior de Engenharia do Porto

Departamento de Engenharia Mecânica

isen

P.PORTO

## **AGRADECIMENTOS**

A realização desta dissertação só foi possível com o apoio e colaboração das pessoas e entidades que me acompanharam em todas as fases e às quais queria expressar o meu reconhecimento.

O meu orientador, Professor Doutor Rui Rego, por desde logo ter aceitado orientar-me, pela disponibilidade total, principalmente em alturas cruciais que nem sempre terão sido as mais convenientes, pelas críticas e sugestões.

O meu coorientador, Eng.º Joaquim Monteiro, por nunca ter hesitado em partilhar conhecimento, pelo imenso tempo dispensado e por ter melhorado o meu espírito crítico ao longo de todas as conversas.

A empresa JM Project, que aceitou imediatamente a minha proposta de desenvolver um caso de estudo.

Os colaboradores, Eng.º Jorge Nunes e Eng.º Ricardo Leal, pela constante partilha de conhecimento, pelas horas despendidas, pela confiança, pela paciência constante e por me mostrarem todos os dias o verdadeiro significado de ser Engenheiro.

O meu namorado, Carlos Silva, por ter sido a pessoa que esteve sempre presente, por ter celebrado comigo as pequenas conquistas, mas principalmente por me ter apoiado nos momentos mais difíceis e por ter acreditado sempre.

página propositadamente em branco

## RESUMO

No projeto de AVAC (Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado), a vertente financeira é uma preocupação constante. Independentemente do orçamento, o projetista é desafiado para esquematizar a solução mais eficiente ao menor preço. Em tempos recentes, um novo paradigma ambiental levou o Homem, em diferentes setores de atividade, a uma encruzilhada: era tempo de inovar e proteger ou de sofrer as consequências. Esse desejo de reverter (ou pelo menos estancar) a degradação ambiental redundou numa maior preocupação com a ecologia no projeto de AVAC, seja em novos empreendimentos ou em meras renovações. Sendo o orçamento e a sustentabilidade duas faces da mesma moeda, torna-se cada vez mais importante para o projetista reinventar-se, passando de uma perspetiva meramente capitalista para uma ecológico-capitalista (já que, por ter sempre de respeitar os pedidos e necessidades do cliente, é habitual o projetista trabalhar sobre as algemas de um orçamento apertado). É aqui que se tornam úteis os softwares de simulação dinâmica, uma ferramenta laboriosa, mas cujos dividendos são palpáveis. Nesses softwares, não só é possível estudar a solução mais ecológica para um edifício, mas também calcular os seus custos. Contudo, um argumento é não raras vezes utilizado para dispensar esses programas: a falta de tempo. É indubitável a necessidade de rapidez no trabalho do projetista, o qual raramente executa um projeto de cada vez. Mas, como sucede com todas as ferramentas informáticas, a prática conduz ao conhecimento e esse, com tempo e paciência, originará peritos cada vez mais expeditos. Balançando ambas as vertentes atrás assinaladas, este trabalho busca, através da utilização de simulação dinâmica, explorar diversas soluções de AVAC para um mesmo edifício de forma a concluir qual é a menos dispendiosa e mais sustentável para o ambiente. Num edifício de serviços, designadamente numa unidade de saúde familiar, estudaram-se quatro sistemas de climatização para se comparar o impacto na eficiência e avaliar a viabilidade financeira dos mesmos. O sistema VRV com recuperação de calor mostrou-se o mais eficiente com o RIEE de 0,26, que corresponde a classe energética A.

### PALAVRAS-CHAVE

AVAC (Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado); SDE (Simulação dinâmica de Edifícios); Análise Económica.

página propositadamente em branco

## ABSTRACT

When designing HVAC (Heating, Ventilation and Air Conditioning), the economic side is always one of the most important parts. Regardless the budget, the designer as to constantly schematize the most efficient solution, at the smallest price. In recent times, a new environmental paradigm as taken mankind, in different sectors, to a crossroad: it was time to innovate and protect or to suffer the consequences. That desire to reverse (or at least stagnate) the environmental degradation resulted in a greater concern with ecology when designing HVAC, be it in new enterprises or in mere renovations. Since budget and sustainability are two faces of the same coin, it becomes ever more important for the designer to reinvent himself/herself, going from a merely capitalist perspective to one ecological capitalist (whereas, for always having to respect the demands and necessities of the client, it is usual for the designer to work with the handcuffs of a tight budget). It is here where the dynamic simulation modelling (DSM) software's become useful, a laborious tool, but whose dividends are palpable. In these software's, it is not only possible to study the most ecological solution to a building, but also to calculate its costs. Nevertheless, an argument is not infrequently used to dismiss these programs: the lack of time. It is unquestionable the necessity of speed in the designer's work, which rarely works on one project at a time. But, as it is with any informatic tool, practice leads to knowledge which, with time and patience, will create experts ever quicker. Balancing both aspects referred, this work aims to, through de use of dynamic simulation modeling software, explore different HVAC solutions for one building to conclude which is less expensive and more sustainable for the environment. In a services building, namely a family healthcare unity, it was studied four different climatization systems to compare the impact caused in efficiency and to evaluate the financial viability of said systems. The VRF system with heat recovery proved to be the most efficient with an RIEE of 0,26, which corresponds to the energy class A.

## KEYWORDS

HVAC (*Heating, Ventilation and Air Conditioning*); DSM (*Dynamic Simulation Modelling*); Economic Analysis.

página propositadamente em branco

# ÍNDICE

ÍNDICE DE FIGURAS .....	IX
ÍNDICE DE TABELAS .....	XIII
LISTAS DE SIGLAS E SÍMBOLOS.....	XV
1. INTRODUÇÃO .....	1
1.1. Contextualização .....	1
1.2. Objetivos .....	4
1.3. Metodologia .....	4
1.4. Apresentação da empresa.....	5
1.5. Estrutura.....	5
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	6
2.1. Enquadramento legal .....	6
2.2. Panorama energético nacional.....	7
2.2.1. Indicadores <i>per capita</i> .....	8
2.2.2. Balanço energético nacional sintético .....	8
2.2.3. Consumo no setor de serviços.....	10
2.2.4. Preços médios de eletricidade: banda DC em Portugal.....	10
2.2.5. Sistema de certificação energética dos edifícios .....	11
2.2.5.1. Comércio e serviços.....	12
2.3. Sistemas de AVAC.....	13
2.3.1. Sistemas de expansão direta.....	13
2.3.1.1. Sistemas <i>Split</i> e <i>Multisplit</i> .....	13
2.3.1.2. Sistemas VRV .....	14
2.3.2. Sistemas tudo-água.....	15
2.3.2.1. Sistemas a dois tubos .....	15
2.3.2.2. Sistemas a três tubos .....	16
2.3.2.3. Sistemas a quatro tubos.....	16
2.3.3. Sistemas tudo-ar .....	16
2.3.3.1. Sistemas de volume de ar constante .....	17
2.3.3.2. Sistemas de ar variável .....	18
2.3.4. Sistemas ar-água .....	18
2.4. Programas informáticos de SDE.....	19
2.4.1. Importância da simulação dinâmica .....	19
2.4.2. Advertências.....	20
2.4.3. <i>Softwares de Simulação Dinâmica de Edifícios</i> .....	21
2.4.4. Softwares de trabalho.....	22
3. CASO DE ESTUDO .....	25
3.1. Caracterização do edifício/Zonamento climático .....	25

3.2. Soluções construtivas.....	26
3.2.1. Envolvente opaca.....	26
3.2.2. Envolvente envidraçada.....	29
3.2.3. Pontes Térmicas.....	30
3.2.4. Marcação da envolvente.....	30
3.3. Inércia Térmica.....	31
3.4. Coeficiente de redução de perdas para locais não climatizados.....	32
3.5. Verificação dos requisitos mínimos da envolvente.....	32
3.6. Condições exteriores de projeto.....	33
3.7. Condições interiores de projeto.....	33
3.8. Ganhos internos.....	34
3.9. Elevadores.....	34
3.10. Ventilação.....	35
3.11. Necessidades de AQS.....	36
3.12. Energia Renovável – Sistema Solar Fotovoltaico.....	36
3.13. Simulação térmica dinâmica.....	37
3.13.1. Modelo geométrico do Edifício.....	37
3.13.2. Envolvente.....	38
3.13.3. Ganhos Internos.....	40
3.13.4. Cargas Térmicas.....	42
3.13.5. Sistemas de AVAC.....	43
3.13.6. Tratamento dos resultados obtidos.....	54
3.14. Classe Energética.....	55
3.15. Análise Económica.....	58
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	61
4.1. Consumos constantes a todas as simulações.....	61
4.2. Sistema 1 – VRV 2 tubos (sem recuperação de calor).....	61
4.3. Sistema 2 – VRV 3 tubos (com recuperação de calor).....	63
4.4. Sistema 3 – <i>Chiller</i> /Bomba de Calor 2 tubos (sem recuperação de calor).....	65
4.5. Sistema 4 – <i>Chiller</i> /Bomba de Calor 4 tubos (com recuperação de calor).....	66
4.6. Comparação entre sistemas.....	67
4.7. Avaliação económica.....	69
5. CONCLUSÃO.....	71
5.1. Conclusões finais.....	71
5.2. Limitações e trabalhos futuros.....	72
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	73
APÊNDICE A – Dados climáticos.....	75
APÊNDICE B – Envolvente: constituição e coeficientes.....	76
APÊNDICE C – Marcação da envolvente.....	81

---

APÊNDICE D – Cálculo da inércia térmica .....	87
APÊNDICE E – Cálculo do $b_{ztu}$ .....	88
APÊNDICE F – Dados gerais do edifício (áreas, ocupação, iluminação e perfis) .....	89
APÊNDICE G – caudais mínimos de ar novo / caudais de projeto.....	100
APÊNDICE H – Caudais mínimos de extração de ar.....	104
APÊNDICE I – Simulações do contributo fotovoltaico – SCE,ER .....	106
APÊNDICE J – Cargas térmicas.....	110
APÊNDICE K – Sistema 1: resumo dos cálculos para determinação da classe energética .....	113
APÊNDICE L – Sistema 2: resumo dos cálculos para determinação da classe energética .....	114
APÊNDICE M – Sistema 3: resumo dos cálculos para determinação da classe energética.....	115
APÊNDICE N – Sistema 4: resumos dos cálculos para determinação da classe energética .....	116
ANEXO A – Peças desenhadas do projeto de AVAC .....	117

página propositadamente em branco

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Evolução da temperatura do mar a nível global, 1880-2021 [1].....	1
Figura 2 - Extensão do gelo do polo Norte em janeiro de 1980 [2] .....	2
Figura 3 - Extensão do gelo do polo Norte em janeiro de 2021 [2] .....	2
Figura 4 - Emissões de gases com efeito de estufa a nível global [5] .....	3
Figura 5 - Emissões de gases com efeito de estufa no setor de energia a nível mundial [5].....	3
Figura 6 - Alterações na legislação desde 2002 até 2020 [22] .....	7
Figura 7 - Evolução da dependência energética de Portugal [23] .....	8
Figura 8 – Evolução do saldo importador de energia [23] .....	9
Figura 9 – Evolução da produção doméstica de energia [23] .....	9
Figura 10 – Consumo total de energia primária, em 2000 e 2020 [23] .....	10
Figura 11 – Consumo no setor dos serviços [23] .....	10
Figura 12 – Evolução de preços de eletricidade dos consumidores não-domésticos por banda de consumo entre 2017 e 2021 [24]......	11
Figura 13 – Certificados energéticos emitidos por tipologia (comércio e serviços entre 2014 e 2021) [23] .....	12
Figura 14 – Classe energética do parque de comércio e serviços (entre 2014 e 2021) [23] .....	12
Figura 15 – Medidas de melhoria por âmbito de intervenção em 2020 (comércio e serviços) [23].....	12
Figura 16 – Esquematização de sistemas <i>split</i> e <i>multisplit</i> [26] .....	14
Figura 17 – Esquematização-exemplo de um sistema VRV [27] .....	15
Figura 18 – Esquema de princípio de sistema tudo-água .....	15
Figura 19 – Esquematização de sistema VAC tipo multizona [25] .....	17
Figura 20 – Esquematização de sistema ar-água [25] .....	19
Figura 21 – Flutuações no potencial de sustentabilidade ao longo das várias etapas de um projeto [30] .....	20
Figura 22 - Estrutura geral do EnergyPlus [34].....	23
Figura 23 - Softwares de Trabalho .....	23
Figura 24 - Modelo Geométrico do caso de estudo no SketchUp .....	25
Figura 25 - Tramas de pavimento e cobertura, respetivamente [20] .....	31
Figura 26 - Distância máxima de viagem do elevador [20] .....	35
Figura 27 - Tipos de superfícies do edifício no SketchUp.....	38
Figura 28 - Tipos de condição fronteira do edifício no SketchUp (vista em corte).....	38
Figura 29 - Introdução de dados climáticos .....	39
Figura 30 - Criação de material - Gesso cartonado .....	39
Figura 31 - Criação de construção - CBE 1.....	39
Figura 32 - Criação de envolvente envidraçada - VE 1 .....	40
Figura 33 - Definição de luminária interior .....	40
Figura 34 – Definição da iluminação exterior .....	40
Figura 35 - Definição do ocupante típico .....	41
Figura 36 - Definição de Schedule para contabilização do calor ganho devido à ocupação .....	41
Figura 37 – Definição da carga de equipamentos elétricos .....	41
Figura 38 - Atribuição das cargas ao espaço 1 .....	42
Figura 39 - Introdução de sistema split no bastidor .....	44

Figura 40 - <i>Air Loop</i> tipo para modelação de UVRC .....	45
Figura 41 - Exemplo inserção de dados em air loop: a) Ventilador b) Recuperador de calor c) Difusor .....	45
Figura 42 - Introdução de ventiladores de extração .....	46
Figura 43 - Exemplo de measure para balanço de caudais .....	47
Figura 44 – Sistema 1: Modelação Sistemas VRV .....	48
Figura 45 - Sistema 1: Exemplo de inserção dos dados de arrefecimento a) e aquecimento b) em unidade exterior VRV .....	49
Figura 46 -Sistema 1: Exemplo de inserção dos dados de arrefecimento a) e aquecimento b) em unidade interior VRV.....	49
Figura 47 - Sistema 2: Indicação de recuperação de calor no sistema VRV.....	50
Figura 48 - Exemplo de <i>Schedule</i> de disponibilidade de AVAC .....	50
Figura 49 - Sistema 2: <i>Plant Loop</i> - Água Arrefecida .....	51
Figura 50 - Sistema 2: <i>Plant Loop</i> - Água Aquecida.....	52
Figura 51 - Sistema 2: Dados <i>Chiller</i> a)/Bomba de Calor b) .....	52
Figura 52 - Sistema 4: Exemplo de inserção dos dados de arrefecimento a) e aquecimento b) e associação da bateria de aquecimento à central de água aquecida c) em ventiloconvetor .....	53
Figura 53 - Exemplo de visualização de variáveis no Dview.....	55
Figura 54 - Consumos a considerar do tipo S e do tipo T [20] .....	56
Figura 55 - Intervalos de valor de $R_{IEE}$ para edifícios de comércio e serviços [20] .....	57
Figura 56 - Consumos anuais de energia final constantes a todas as simulações .....	61
Figura 57 - Sistema 1: Consumos anuais de energia final .....	62
Figura 58 - Sistema 2: Consumos anuais de energia final.....	63
Figura 59 - Sistema 3: Consumos anuais de energia final .....	65
Figura 60 - Sistema 4: Consumos anuais de energia final .....	66
Figura 61 - Comparação de consumos anuais do sistema de climatização .....	67
Figura 62 - Comparação de consumos anuais do sistema de climatização desagregados por tipo de uso.....	68
Figura 63 - Custos acumulados ao longo de 30 anos .....	69

página propositadamente em branco



## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 – Comparação de softwares de SDE .....	21
Tabela 2 – Dados Climáticos do edifício.....	26
Tabela 3 - Resistências térmica superficiais [20].....	27
Tabela 4 - Coeficientes de transmissão térmica (U).....	29
Tabela 5 - Coeficientes globais de transmissão térmica .....	30
Tabela 6 - Coeficiente de transferência térmica PTP 1 .....	30
Tabela 7 - Cores da Envolvente [20].....	31
Tabela 8 - Classes de inércia térmica [20] .....	32
Tabela 9 - Coeficientes de redução ( $b_{ztu}$ ) [20] .....	32
Tabela 10 - Requisitos da envolvente - Zona Climática I1.....	32
Tabela 11 - Caudais mínimos de extração de ar [20] .....	36
Tabela 12 - Unidades de Produção de Energia - Splits.....	43
Tabela 13 - Unidades de ventilação com recuperação de calor .....	44
Tabela 14 - Ventiladores de extração.....	46
Tabela 15 - Sistema 1: Unidades Exteriores .....	47
Tabela 16 - Sistema 1: Unidades Interiores .....	48
Tabela 17 - Sistema 2: Unidades Exteriores .....	49
Tabela 18 - Sistema 3: <i>Chiller</i> /Bomba de Calor .....	51
Tabela 19 - Sistema 3: Ventiloinvetores.....	51
Tabela 20 - Sistema 4: <i>Chiller</i> /Bomba de Calor.....	53
Tabela 21 - Sistema 4: Ventiloinvetores.....	53
Tabela 22 - Pressupostos para criação dos edifícios de referência [20] .....	57
Tabela 23 - Coeficientes de transmissão térmica e fator solar do edifício de referência.....	58
Tabela 24 - Sistema 1: Emissões de CO <sub>2</sub> .....	62
Tabela 25 - Sistema 1: indicadores de eficiência energética e classe energética .....	63
Tabela 26 - Sistema 2: Emissões de CO <sub>2</sub> .....	64
Tabela 27 - Sistema 2: indicadores de eficiência energética e classe energética .....	64
Tabela 28 - Sistema 3: Emissões de CO <sub>2</sub> .....	65
Tabela 29 - Sistema 3: indicadores de eficiência energética e classe energética .....	66
Tabela 30 - Sistema 4: Emissões de CO <sub>2</sub> .....	67
Tabela 31 - Sistema 4: indicadores de eficiência energética e classe energética .....	67
Tabela 32 - Rácios de classe energética .....	68
Tabela 33 - Custos de investimento, em funcionamento e de manutenção dos sistemas.....	69

página propositadamente em branco

## LISTAS DE SIGLAS E SÍMBOLOS

### Lista de Siglas

AQ	Água Quente
AQS	Água Quente Sanitária
ASHRAE	<i>American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers</i>
AVAC	Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado
BIM	<i>Building Information Modeling</i>
CAD	<i>Computer Aided Design</i>
CEF	Consumo de Energia Final
CEP	Consumo de Energia Primária
CFD	<i>Computational Fluid Dynamics</i>
CIBSE	<i>Chartered Institution of Building Services Engineers</i>
DEE	Desempenho Energético dos Edifícios
DGEG	Direção-Geral de Energia e Geologia
DGIES	Direção-Geral das Instalações e Equipamentos da Saúde
DSM	<i>Dynamic Simulation Modelling</i>
EES	<i>Engineering Equation Solver</i>
GES	Grande Edifício de Serviços
HAP	<i>Hourly Analysis Program</i>
HVAC	<i>Heating, Ventilation and Air Conditioning</i>
IEE	Índice de Eficiência Energética
IES	<i>Integrated Environmental Solutions</i>
INMG	Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica
ITED	Infraestruturas de Telecomunicações de Edifícios
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
ITUR	Infraestruturas de Telecomunicações em Loteamentos, Urbanizações e Conjuntos de Edifícios
LNEC	Laboratório Nacional de Engenharia Civil
MATLAB	<i>MATrix LABoratory</i>
PDEE	Plano de Melhoria do Desempenho Energético dos Edifícios
PTL	Pontes Térmicas Lineares
PTP	Pontes Térmicas Planas
QAI	Qualidade de Ar Interior
SCE	Sistema de Certificação de Edifícios
SCIE	Segurança contra Incêndio em Edifícios
SDE	Simulação Dinâmica de Edifícios
TRNSYS	<i>Transient System Simulation Tool</i>
USF	Unidade de Saúde Familiar

UTA	Unidade de Tratamento de Ar
VAC	Volume de Ar Constante
VAV	Volume de Ar Variável
VBA	<i>Visual Basic for Applications</i>
VRF	<i>Variable Refrigerant Flow</i>

### Lista de Símbolos

$A_i$	somatório das áreas dos elementos dos espaços úteis	$m^2$
$A_p$	área interior útil de pavimento	$m^2$
$A_{p,solo}$	área interior útil de pavimento em contacto com o solo	$m^2$
$A_{tot}$	área total de pavimento	$m^2$
$A_u$	somatório das áreas dos elementos dos espaços não úteis	$m^2$
$B'$	dimensão característica do pavimento em contacto com o solo	m
$b_{ztu}$	coeficiente de redução	
$C_{AQS}$	consumo anual de AQS	l/ano
$COP$	eficiência nominal para aquecimento (eletricidade)	
$cp_{ar}$	calor específico do ar	$kJ/(kg \cdot ^\circ C)$
$CT_{vent}$	carga térmica de ventilação	kW
$D$	largura ou profundidade do isolamento	m
$d_{a,asc}$	número de dias de funcionamento do elevador por ano	dias/ano
$d_j$	espessura da camada j	m
$E_{a,asc}$	consumo de energia anual do elevador	kWh/ano
$E_{d,asc}$	consumo de energia diário do elevador	kWh/dia
$EER$	eficiência nominal para arrefecimento (eletricidade)	
$E_{ren,i}$	energia produzida a partir de fontes de origem renovável destinada a autoconsumo nos usos regulados do edifício por fonte de energia i	kWh/ano
$E_{S,f}$	consumos de energia dos usos tipo S por fonte de energia fóssil f	kWh/ano
$E_{S,i}$	consumo de energia dos usos tipo S por fonte de energia i	kWh/ano
$E_{T,i}$	Consumo de energia dos usos tipo T por fonte de energia i	kWh/ano
$F_{pu,f}$	fator de conversão de energia final para energia primária para a fonte de energia f	$kWh_{EP}/kWh$
$F_{pu,i}$	fator de conversão de energia final para energia primária para a fonte de energia i	$kWh_{EP}/kWh$
$g_{L,vi}$	fator solar da área transparente para uma incidência da radiação perpendicular ao vão envidraçado	
$g_{tot}$	fator solar total	
$g_{tot ref}$	fator solar total do edifício de referência	

$G_{tot,vc}$	fator solar do vão envidraçado com vidro corrente e um dispositivo de proteção solar i totalmente ativado	
$IEE_{fóssil,S}$	indicador de eficiência energética fóssil do tipo S	kWh <sub>EP</sub> /(m <sup>2</sup> .ano)
$IEE_{pr}$	indicador de eficiência energética previsto	kWh <sub>EP</sub> /(m <sup>2</sup> .ano)
$IEE_{pr,S}$	indicador de eficiência energética previsto do tipo S	kWh <sub>EP</sub> /(m <sup>2</sup> .ano)
$IEE_{pr,T}$	indicador de eficiência energética previsto do tipo T	kWh <sub>EP</sub> /(m <sup>2</sup> .ano)
$IEE_{pr,ren}$	indicador de eficiência energética previsto renovável	kWh <sub>EP</sub> /(m <sup>2</sup> .ano)
$IEE_{ref,S}$	indicador de eficiência energética de referência do tipo S	kWh <sub>EP</sub> /(m <sup>2</sup> .ano)
$I_m$	distância máxima de viagem	m
$I_t$	massa superficial útil por metro quadrado de área interior útil de pavimento	kg/m <sup>2</sup>
$\dot{m}_{ar\ novo}$	caudal mássico de ar novo	kg/s
$M_{si}$	massa superficial do elemento i	kg/m <sup>2</sup>
$n_a$	número de viagens por dia	
$p$	rácio entre a distância média e a distância máxima de viagem	%
$P$	perímetro exposto	m
$p_{atm}$	pressão atmosférica	Pa
$Q_{AN}$	caudal de ar novo	m <sup>3</sup> /h
$Q_{AN,min}$	caudal de ar novo mínimo	m <sup>3</sup> /h
$Q_{AN,Mmet}$	caudal de ar novo por ocupante	m <sup>3</sup> /(h.ocupante)
$Q_{AQS}$	necessidades nominais anuais de energia útil para preparação de AQS em edifícios de comércio e serviços	kWh/ano
$Q_{asc}$	carga nominal	kg
$Q_{ext\ min}$	caudal de extração mínimo	m <sup>3</sup> /h
$Q_{usable}$	total de calor utilizável estimado produzido por bombas de calor	kWh/ano
$R_{ar}$	constante de gás para o ar	J/(kg. °K)
$r_i$	fator de redução da massa superficial útil do elemento i	
$R_{IEE}$	rácio de classe energética em edifícios de comércio e serviços	
$R_j$	resistência térmica da camada j	(m <sup>2</sup> . °C)/W
$R_{se}$	resistência térmica superficial exterior	(m <sup>2</sup> . °C)/W
$R_{si}$	resistência térmica superficial interior	(m <sup>2</sup> . °C)/W
$R_{tot}$	resistência térmica total	(m <sup>2</sup> . °C)/W
$SCOP$	eficiência sazonal para aquecimento (eletricidade)	
$SEER$	eficiência sazonal para arrefecimento (eletricidade)	
$S_i$	área da superfície interior do elemento i	m <sup>2</sup>
$S_m$	distância média de viagem	m
$T$	temperatura	K ou °C
$TER$	eficiência nominal para aquecimento e arrefecimento em simultâneo	

---

$U$	coeficiente de transmissão térmica	$W/(m^2 \cdot ^\circ C)$
$U_{ref}$	coeficiente de transmissão térmica do edifício de referência	$W/(m^2 \cdot ^\circ C)$
$V_{enu}$	Volume do espaço interior não útil	$m^3$
$z_{solo}$	profundidade média da parede ou do pavimento em contacto com o solo	m
$\Delta h$	variação de entalpia	$kJ/kg$
$\Delta T$	aumento de temperatura necessário para a preparação das AQS ou variação de temperatura	$^\circ C$
$\varepsilon_v$	eficácia de remoção de poluentes	
$\lambda_j$	condutibilidade térmica da camada j	$W/(m \cdot ^\circ C)$
$\rho_{ar}$	massa volúmica do ar	$kg/m^3$

---

página propositadamente em branco



# 1. INTRODUÇÃO

Neste capítulo introdutório apresentam-se informações relativas à contextualização onde esta dissertação obtém a sua utilidade. Além disso, descrevem-se os objetivos, a metodologia para os alcançar, faz-se uma indispensável apresentação da empresa onde a dissertação foi efetuada e remata-se com a descrição da estrutura deste labor.

## 1.1. Contextualização

A atual crise climática e energética torna crucial encontrar caminhos para a neutralidade carbónica e para a substituição da produção de energia fóssil por energia renovável. O alarme não é para menos, uma vez que se está perante efeitos sem precedentes. O aquecimento global causado pela atividade humana resultou num aumento das temperaturas do mar que ocorre desde dezembro de 1976 [1], como se pode observar na Figura 1.

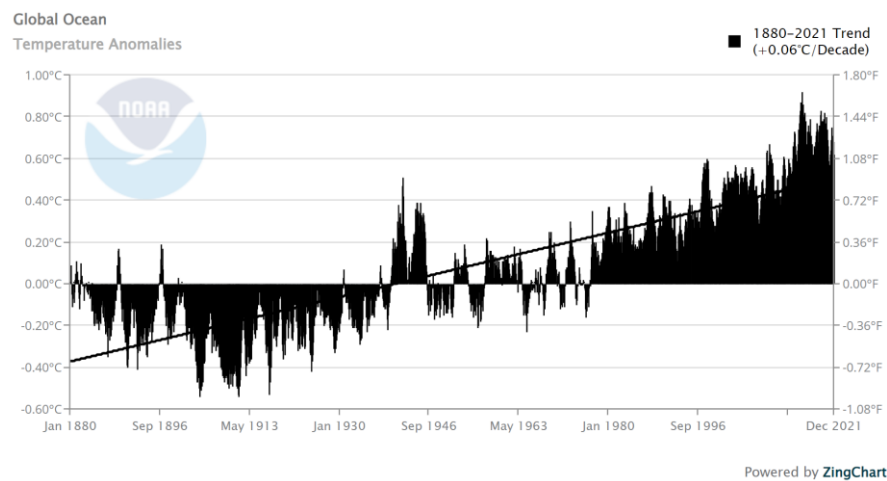


Figura 1 - Evolução da temperatura do mar a nível global, 1880-2021 [1]

Não só isso, mas esse incremento na temperatura leva ao colapso e derretimento do gelo nos polos do planeta que, por sua vez, conduz a um alarmante aumento do nível da água do mar, comprovado pelas Figura 2 e Figura 3.

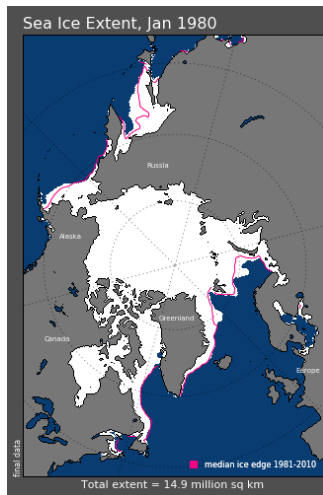


Figura 2 - Extensão do gelo do polo Norte em janeiro de 1980 [2]

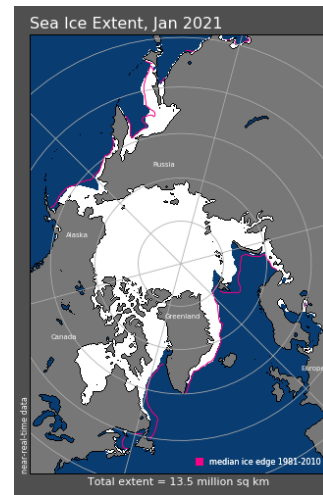


Figura 3 - Extensão do gelo do polo Norte em janeiro de 2021 [2]

Os efeitos destrutivos continuam já que tal incremento no nível da água coloca em risco várias habitações, ameaçando, mais cedo do que se pensa, várias cidades junto à orla marítima [3].

Mas os impactos não se encerram aqui. O aquecimento global e o degelo originam ainda dois eventos climáticos antónimos que se tornam cada vez mais comuns: calor extremo e frio polar (sem nunca esquecer o aumento elevadíssimo na probabilidade de ocorrerem fenómenos climáticos extremos como furacões, tufões e cheias). Além destes ameaçarem transformar climas mediterrânicos em tropicais, destroem produções agrícolas (as quais são ainda afetadas pelo aumento do risco de pragas), reduzindo a quantidade de cereais disponíveis, causando quebras no fornecimento seja à humanidade para produção de diversos produtos derivados, seja para o gado que, ultimamente, tem uma igual função alimentícia. Tais alterações climáticas afetam ainda os ecossistemas, colocando em risco de extinção várias espécies de fauna e flora, por falta de habitat ou de alimento, e, como é sabido, uma rutura num dos elos da cadeia alimentar redundando numa eventual destruição da mesma. Nesta tempestade perfeita existe uma outra componente, a da desflorestação. Usada para alargar as fronteiras das cidades ou simplesmente como matéria-prima para produção de energia ou de outros produtos, a área florestal global continua a ser reduzida, em média, por 4,7 milhões de hectares por ano [4].

Todos os problemas ambientais elencados têm a mesma origem, a atividade humana, a qual é igualmente a solução. É necessário aceitar as responsabilidades e executar ações que permitam inverter o paradigma destrutivo em todos os setores com impacto humano no meio ambiente. O setor da energia é aquele que, a nível mundial, mais gases com efeito de estufa liberta para o ambiente como é possível observar na Figura 4.

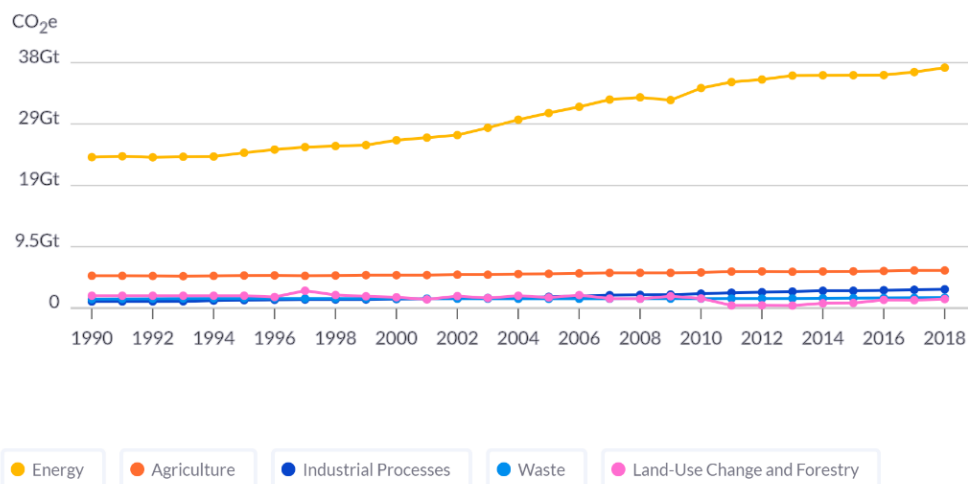


Figura 4 - Emissões de gases com efeito de estufa a nível global [5]

Já a Figura 5 demonstra como a energia usada para aquecimento e eletricidade é a que ocupa o primeiro lugar entre as mais poluentes.

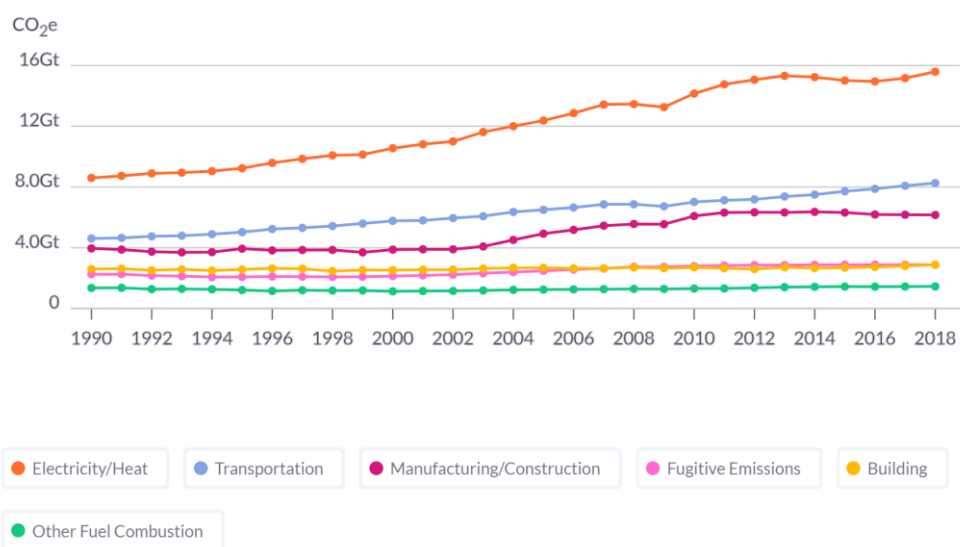


Figura 5 - Emissões de gases com efeito de estufa no setor de energia a nível mundial [5]

Um problema, principalmente um tão complicado como este, não se resolve com uma só solução, são necessárias várias frentes de ataque, por isso, não basta definir uma envolvente com qualidade ou selecionar equipamentos com uma certificação energética elevada, é necessária uma junção de vários fatores. No que concerne ao escopo do trabalho realizado nesta dissertação, o projetista pode contribuir para o aumento da sustentabilidade e a redução da pegada ecológica através da criação de projetos direcionados para tal. Cada edifício é diferente, não só na sua envolvente, mas também na localização, nas tipologias, nos sistemas (de AVAC e de todas as outras especialidades já que, a título do exemplo, um sistema de eletricidade com pouca qualidade energética resultará num aumento dos ganhos internos e numa redução da eficiência do edifício), em suma, em tudo.

Por esse motivo, uma solução não serve a todos e, então, torna-se crucial encontrar uma ferramenta que possibilite realizar testes para descobrir qual a melhor resposta a dar aos desafios impostos por um dado edifício já que, obviamente, não é viável testar em obra várias opções. É neste espaço que operam os softwares de simulação dinâmica, programas informáticos que dão ao projetista a possibilidade de experimentar diferentes soluções para um mesmo edifício.

Sendo a neutralidade carbónica um dos objetivos aceites por grande parte dos países mundiais, a simulação dinâmica é o presente e o futuro que possibilita ao projetista realizar escolhas ambientalmente conscientes pois só com esta ferramenta se torna exequível experimentar diferentes sistemas de AVAC para concluir qual deles deve ser aplicado num determinado edifício atendendo às características do mesmo e às especificações do(s) cliente(s).

Avançar para um caminho de consciencialização ambiental necessita de uma compreensão dos custos imediatos. A maior parte das soluções mais ecológicas comportam um custo inicial algo elevado que acaba por afugentar muitos clientes, porém, os seus retornos a longo prazo tornam o investimento primordial rentável. No entanto, o setor onde opera o projetista é sempre condicionado pela vertente financeira, daí que este trabalho coloque em foco tanto esta componente como a ecológica.

## 1.2. Objetivos

Neste capítulo são apresentados os objetivos deste trabalho. Após a modelação da arquitetura de um edifício de serviços, mais precisamente uma unidade de saúde familiar, executa-se a modelação dinâmica de diversas soluções de sistemas AVAC com o intuito de analisar a sua viabilidade energética e financeira.

Tal objetivo necessita da criação de um modelo arquitetónico do edifício através de *SketchUp*, programa que se utilizou conjuntamente com o *OpenStudio*, o qual é uma interface gráfica do *EnergyPlus*, para proceder à simulação dinâmica.

O pressuposto definidor desta dissertação é o de selecionar soluções que sejam exequíveis para o edifício em estudo e que resultem em diminuições no consumo energético do edifício e das suas emissões de gases com efeito de estufa para a atmosfera.

Após a modelação de várias soluções, realizou-se a comparação das mesmas focando as vertentes energética e económica. Esse estudo de viabilidade pretende, além de avaliar as tecnologias mais favoráveis, refletir sobre as necessidades de investimento requeridas por cada uma delas.

Por fim, mas não menos importante, é ambição desta dissertação realizar um estudo aprofundado com o intuito de aprender a realizar uma correta simulação dinâmica para ulterior implementação do uso do *OpenStudio* na empresa onde este trabalho foi executado em regime de estágio.

## 1.3. Metodologia

Para explorar variadas soluções para o edifício escolhido, recorreu-se a simulação dinâmica. Utilizar estes programas informáticos para simular diferentes sistemas de AVAC permite aos projetistas comparar, posteriormente, os resultados e este, adotando um posicionamento perante os mesmos, pode tomar decisões conscientes e racionalmente justificáveis. Assim, as conclusões desta dissertação poderiam alterar-se radicalmente se a postura escolhida também o fosse: um estudo

meramente económico resultaria numa escolha de um sistema completamente díspar de um somente ecológico ou estético. Por esse motivo, teve de ser escolhido um posicionamento, escolha essa que se deveu tanto ao panorama atual do mundo como à realidade encontrada no trabalho prático em empresa dos projetistas, daí o foco no binómio ambiente-economia.

Uma aposta neste tipo de análises não só auxilia o projetista na justificação das suas opções, como também pode encaminhá-lo a selecionar sistemas mais sustentáveis que além de auxiliar com a crise climática, significa redução de custos futuros, quanto mais um sistema é autossustentável, menos peso comportará no futuro, seja monetariamente ou energeticamente.

#### **1.4. Apresentação da empresa**

A JM Project – Projetos de Engenharia, fundada em 2017 e sediada em Vila Nova de Gaia, é uma empresa que oferece serviços de engenharia na área de projeto e certificação energética.

Possui corpo técnico capaz de desenvolver projetos de instalações mecânicas (AVAC, gases medicinais e ar comprimido), de gás, instalações de telecomunicações (ITED, ITUR), instalações eletromecânicas (transporte de cargas e pessoas), instalações hidráulicas, estudo de comportamento térmico em edifícios, acústica de edifícios, estruturas e segurança contra incêndio em edifícios (SCIE).

A missão da JM Project é fornecer serviços de engenharia, orientada para a eficiência dos recursos e a otimização de investimento, aplicados à indústria, edifícios de serviços e residenciais [6].

#### **1.5. Estrutura**

Neste capítulo introdutório, realizou-se um enquadramento do tema a desenvolver, os seus principais objetivos e uma breve apresentação da empresa de acolhimento.

No segundo capítulo elabora-se uma revisão bibliográfica relativa ao enquadramento legal, panorama energético nacional, sistemas de AVAC e programas informáticos de SDE.

No terceiro capítulo apresenta-se o caso de estudo, caracterizando o seu zonamento climático, as soluções construtivas e verificação das mesmas, a inércia térmica, os ganhos internos e os consumos que foram determinados fora do *software* de simulação dinâmica nomeadamente os elevadores, sistema de AQS e o contributo do sistema solar fotovoltaico. Expõe-se o procedimento para a determinação de caudais de ar novo e de extração mínimos. Neste capítulo explica-se ainda todo o procedimento e considerações para a modelação dos diversos sistemas no *OpenStudio*, bem como se mostra a determinação de consumos e classes energéticas e a análise económica.

No quarto capítulo apresentam-se os resultados obtidos relativamente aos consumos anuais de energia final, emissões de CO<sub>2</sub> e classe energética. Faz-se igualmente a comparação entre os diferentes sistemas estudados e análise de custos de investimento, manutenção e em funcionamento.

No capítulo cinco indicam-se as principais conclusões.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo abordam-se questões basilares para o cumprimento deste trabalho. Sem regras nenhuma ciência pode funcionar, assim, resume-se o enquadramento legal necessário. Em seguida discorre-se acerca do panorama energético nacional, provando que nos terrenos do AVAC existe manobra de melhoria. Após isso, estudam-se as diferentes soluções em termos de sistemas de AVAC para compreender a sua correta utilização. Por fim, reflete-se sobre os programas informáticos de SDE, apresentando uma tabela com as vantagens e desvantagens de alguns desses *softwares*.

### 2.1. Enquadramento legal

A **Diretiva 2018/844/UE** altera a Diretiva 2010/31/UE relativa ao desempenho energético dos edifícios e a Diretiva 2012/27/UE sobre a eficiência energética com vista a acelerar a renovação de edifícios existentes até 2050, apoiar a modernização de todos os edifícios com tecnologias inteligentes e promover uma relação mais evidente com a mobilidade limpa [7].

O **Decreto-Lei n.º 102/2021** estabelece os requisitos de acesso e de exercício da atividade dos técnicos do Sistema de Certificação Energética dos Edifícios (SCE) e procede à primeira alteração ao Decreto-Lei n.º 101 -D/2020, de 7 de dezembro, que estabelece os requisitos aplicáveis a edifícios para a melhoria do seu desempenho energético e regula o SCE, transpondo a Diretiva (UE) 2018/844 e parcialmente a Diretiva (UE) 2019/944 [8].

O **Decreto-Lei n.º 101-D/2020** estabelece os requisitos aplicáveis a edifícios para a melhoria do seu desempenho energético e regula o Sistema de Certificação Energética de Edifícios, transpondo a Diretiva (UE) 2018/844 e parcialmente a Diretiva (UE) 2019/944 [9].

A **Portaria n.º 138-G/2021** estabelece os requisitos para a avaliação da qualidade do ar interior nos edifícios de comércio e serviços, incluindo os limiares de proteção, condições de referência e critérios de conformidade, e a respetiva metodologia para a medição dos poluentes e para a fiscalização do cumprimento das normas aprovadas [10].

A **Portaria n.º 138-H/2021** regulamenta as atividades dos técnicos e as competências da entidade gestora do SCE e fixa os valores do registo dos certificados energéticos [11].

A **Portaria n.º 138-I/2021** regulamenta os requisitos mínimos de desempenho energético relativos à envolvente dos edifícios e aos sistemas técnicos e a respetiva aplicação em função do tipo de utilização e específicas características técnicas [12].

O **Despacho n.º 9017/2021** altera o Despacho n.º 6476-A/2021, que determina o restante conteúdo obrigatório dos certificados energéticos, nos termos do disposto no n.º 4 do artigo 20.º do Decreto-Lei n.º 101-D/2020, de 7 de dezembro [13].

O **Despacho n.º 9067/2021** altera o Despacho n.º 6476-B/2021 que aprova os critérios de seleção e as metodologias aplicáveis aos processos de verificação da qualidade da informação produzida no âmbito do SCE [14].

O **Despacho n.º 6476-C/2021** aprova as condições referentes à manutenção dos sistemas técnicos instalados em edifícios, a periodicidade e as condições de realização da inspeção periódica dos sistemas técnicos e o modelo do relatório [15].

A **Retificação n.º 611/2021** surge relativa ao Despacho n.º 6476-C/2021, de 29 de junho, publicado no Diário da República, 2.ª série, n.º 126, de 1 de julho de 2021 [16].

O **Despacho n.º 6476-D/2021** aprova os requisitos para a elaboração do Plano de Melhoria do Desempenho Energético dos Edifícios (PDEE) [17].

O **Despacho n.º 6476-E/2021** aprova os requisitos mínimos de conforto térmico e de desempenho energético aplicáveis à conceção e renovação dos edifícios [18].

O **Despacho n.º 9216/2021** altera o Despacho n.º 6476-H/2021, que aprova o Manual do SCE que estabelece a metodologia de cálculo para efeitos da avaliação do desempenho energético dos edifícios (DEE) abrangidos pelo sistema de certificação energética dos edifícios (SCE), sendo revisto de dois em dois anos ou sempre que alterações de natureza técnica ou regulamentar o justifique [19] [20].

A **Portaria n.º 310/2021** fixa o valor médio de construção por metro quadrado, para efeitos do artigo 39.º do Código do Imposto Municipal sobre Imóveis, a vigorar no ano de 2022 [21].

A Figura 6 representa pictoricamente as alterações na legislação desde 2002 até 2020.

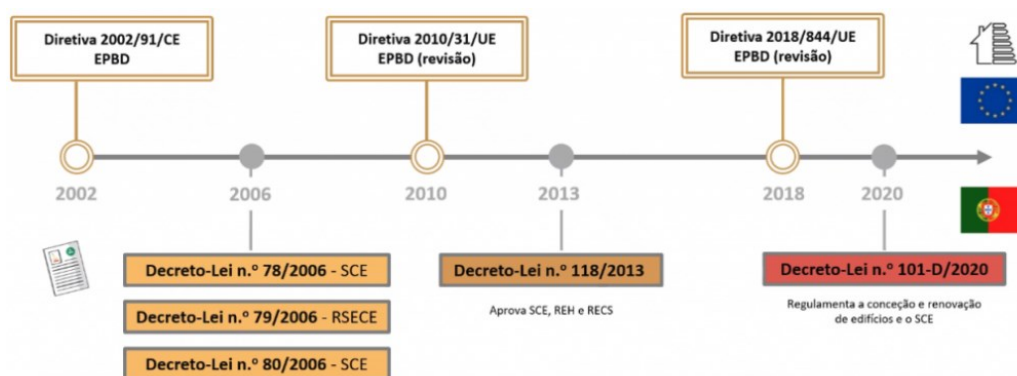


Figura 6 - Alterações na legislação desde 2002 até 2020 [22]

## 2.2. Panorama energético nacional

A política energética de Portugal busca, principalmente, reduzir a dependência do país em relação a energia estrangeira. Até 2030 pretende-se baixar esse valor para 65%. Em 2020 atingiu-se o valor recorde de 65,8%. Esta diminuição explica-se por uma redução no consumo causado pela pandemia COVID-19, devido à não importação de carvão para produção de eletricidade e, por fim, por causa de um aumento na produção doméstica de energia através de fontes de energia renovável [23]. No gráfico da Figura 7 pode-se observar a evolução da dependência energética de Portugal.



Figura 7 - Evolução da dependência energética de Portugal [23]

### 2.2.1. Indicadores *per capita*

No ano de 2020, ocorreu em Portugal um consumo de 2 tep/habitante de energia primária o que corresponde a uma diminuição de 9,1% em relação ao ano anterior. Já na energia final e também na eletricidade, observou-se um consumo de 1,5 tep/habitante e de 4,6 MWh/habitante respetivamente, números esses que denotam uma diminuição de 6,3% na energia final e uma diminuição de 2,1% na eletricidade face ao ano de 2019 [23].

### 2.2.2. Balanço energético nacional sintético

A importação de energia em Portugal no ano de 2020 teve uma redução 21,6% em relação ao ano imediatamente anterior tendo sido alcançada através da quase anulação da importação de carvão. A importação de petróleo e gás natural também reduziu – 18,7% e 2,8% respetivamente – principalmente por causa da diminuição dos consumos de transportes públicos causada pela pandemia COVID-19. Assim, o saldo importador de energia no ano de 2020 atingiu os 14 471 ktep [23]. A Figura 8 demonstra a evolução do saldo importador desde 2000 até 2020.

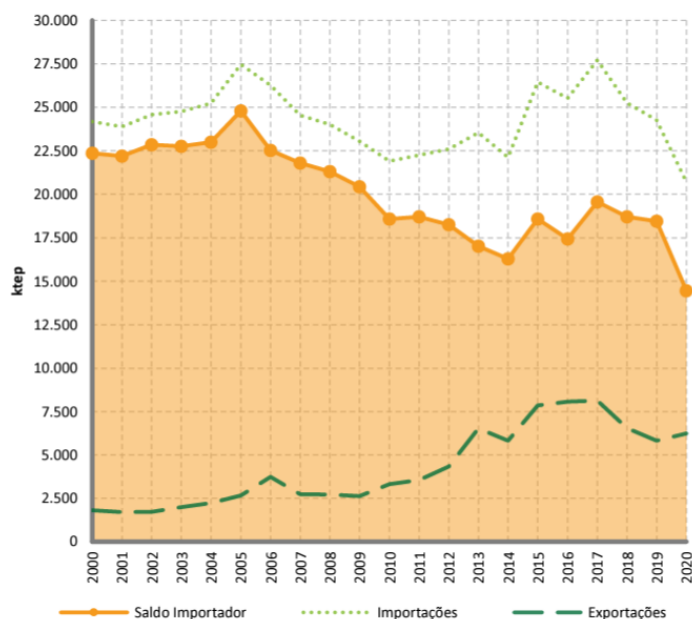


Figura 8 – Evolução do saldo importador de energia [23]

A produção de energia doméstica atingiu os 6657 ktep em 2020 o que representa um aumento de 2,6% em relação ao ano anterior. As fontes principais para a obtenção deste resultado foram a biomassa (cerca de 50%) e a eletricidade de origem hídrica e eólica (em conjunto representaram 33%). Assim, a produção de energia doméstica representou 32% do consumo total de energia primária [23]. Na Figura 9 demonstram-se essas evoluções.

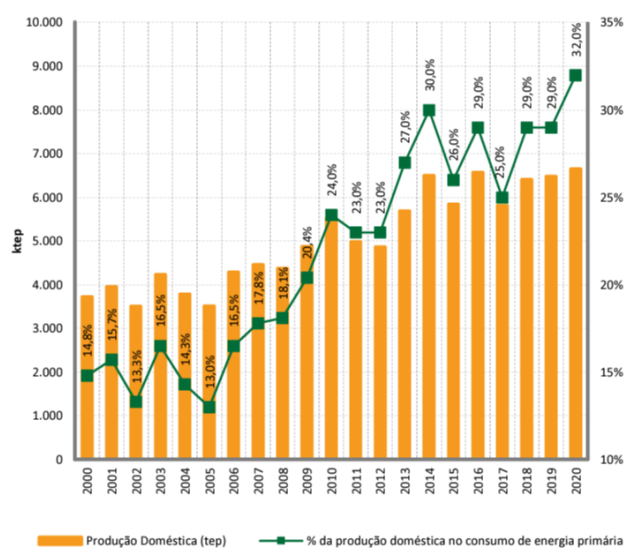


Figura 9 – Evolução da produção doméstica de energia [23]

No ano de 2020, o consumo total de energia primária (CEP) em Portugal atingiu os 20 791 ktep, uma diminuição de 7,5% face ao ano anterior.

Mesmo detendo o lugar de proeminência na produção de energia em Portugal, pode-se observar na Figura 10, comparando os anos de 2000 e de 2020, que o país tem realizado esforços no sentido de diminuir o peso do petróleo, substituindo-o por energia renovável e pelo gás natural [23].

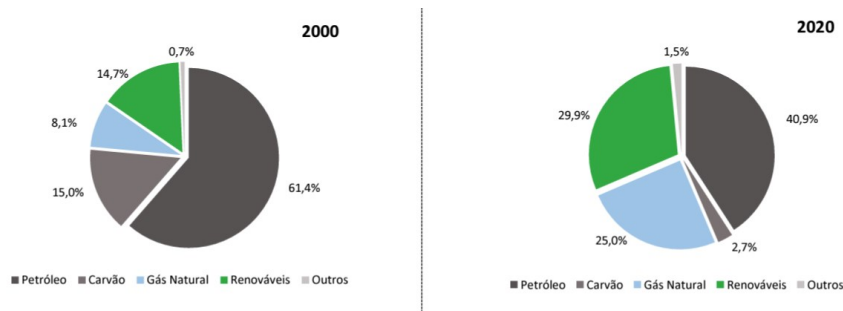


Figura 10 – Consumo total de energia primária, em 2000 e 2020 [23]

O consumo de energia final (CEF) em Portugal no ano de 2020, demonstrou uma redução de 7,2% em comparação com 2019, atingindo os 15 446 ktep.

Dentre o CEF e tal como sucedeu com o CEP, o petróleo, apesar de a sua utilização estar em clara redução, foi a principal fonte de energia representando 43,8%. Em seguida surgem a eletricidade (25,8%), as renováveis sem eletricidade (11,3%), o gás natural (11,1%) e o calor proveniente de cogeração (7,3%).

No que concerne ao consumo de energia final por parte dos setores de atividade, os transportes mantiveram a posição principal (32,6%) ao qual se seguiu os setores da indústria (31,2%), doméstico (19,5%), serviços (13,4%) e agricultura e pescas (3,3%) [23].

### 2.2.3. Consumo no setor de serviços

Se por causa do contributo das bombas de calor o consumo energético do setor de serviços havia aumentado 6,1%, em 2020 ocorreu uma diminuição de 11,3% causada pela diminuição da atividade devido à pandemia COVID-19.

O consumo de petróleo, de gás natural e de eletricidade reduziu em 2020 quando comparado com 2019: 14,4%, 17,7% e 8,7% respetivamente [23]. A Figura 11 representa o consumo no setor de serviços.

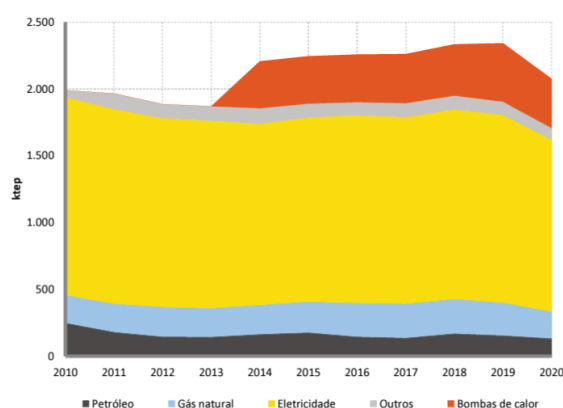


Figura 11 – Consumo no setor dos serviços [23]

### 2.2.4. Preços médios de eletricidade: banda DC em Portugal

Os preços de eletricidade em Portugal durante o ano de 2021 mostraram uma subida mais elevada no 2º semestre, causada pela flutuação dos mercados europeus de eletricidade nesse mesmo ano.

Assim, no 2º semestre de 2021, ocorreu uma subida de 7,7% em relação ao mesmo período de 2020 nos preços da banda IB em Portugal. A banda IB diz respeito a consumidores não domésticos com consumo anual entre 20 MWh a 500 MWh [24].

Na

Figura 12 é possível observar a evolução de preços de eletricidade dos consumidores não-domésticos.

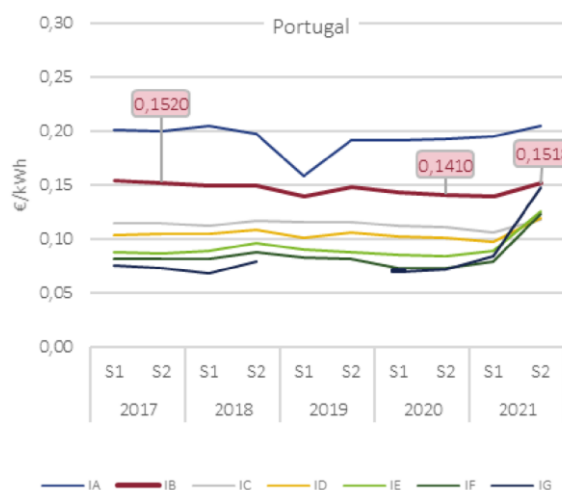


Figura 12 – Evolução de preços de eletricidade dos consumidores não-domésticos por banda de consumo entre 2017 e 2021 [24].

### 2.2.5. Sistema de certificação energética dos edifícios

O Sistema de Certificação de Edifícios (SCE) foi atualizado com o Decreto-Lei n.º 118/2013 de 20 de agosto que, além de ter tido o objetivo de rever a legislação anterior de Portugal, garantiu a transposição da Diretiva 2017/31/UE do Parlamento Europeu e do Conselho de 19 de maio de 2010 para o contexto legal português.

Em 2020 foi publicado o Decreto-Lei nº101-D/2020 de 7 de dezembro cujos objetivos foram indicar os requisitos necessários para a melhoria do desempenho energético dos edifícios e regular o Sistema de Certificação Energética de Edifícios.

Um certificado energético serve para descrever a situação efetiva de desempenho energético de um imóvel. Nele, são calculados os consumos anuais de energia previstos para um edifício ou fração autónoma, através dos quais se classifica esse imóvel numa escala de 8 classes (de F a A+).

Após a data de 1 de janeiro de 2009, passou a ser necessário que um edifício, seja ele novo ou existente, possua um certificado válido que tem de ser obrigatoriamente apresentado sempre que se realizar um contrato de compra, locação ou arrendamento. Além disso, a partir de 1 de dezembro de 2013, tornou-se também obrigatório a indicação da classificação energética de um imóvel sempre que este for colocado num anúncio para venda, locação ou arrendamento.

Devido à possibilidade de ser emitido em várias fases do projeto do edifício, o certificado energético é dotado de três tipologias: projeto (pré-certificado), novo (edifício novo), existente (edifício existente) [23].

### 2.2.5.1. Comércio e serviços

Entre 2008 e 2021, o parque certificado de edifícios de comércio e serviços elencou um total de 245,6 mil edifícios.

Na Figura 13 e Figura 14 é possível observar a percentagem de certificados emitidos por tipologia e por classificação.

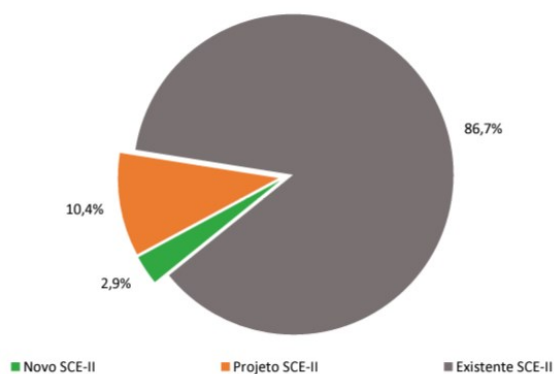


Figura 13 – Certificados energéticos emitidos por tipologia (comércio e serviços entre 2014 e 2021) [23]

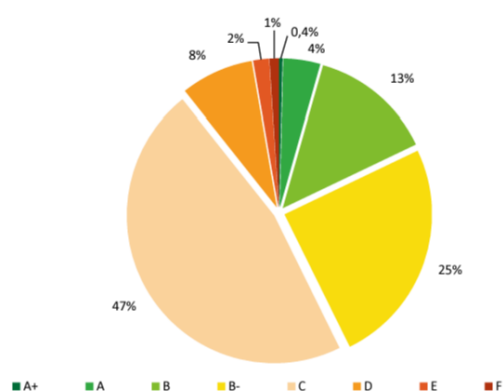


Figura 14 – Classe energética do parque de comércio e serviços (entre 2014 e 2021) [23]

No setor do comércio e serviços, realizaram-se 222 mil propostas de medidas de melhoria, perfazendo uma média de 1,2 medidas por certificado energético. As áreas de maior intervenção neste setor ocorreram na iluminação e nos equipamentos de AVAC e corresponderam a 66,2% do total das medidas propostas, como observado na Figura 15.

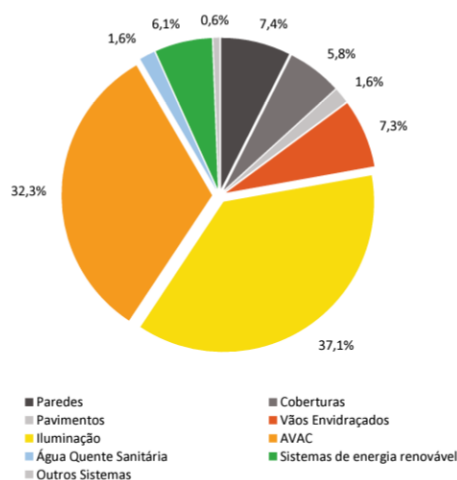


Figura 15 – Medidas de melhoria por âmbito de intervenção em 2020 (comércio e serviços) [23]

O consumo de energia primária do parque certificado de comércio e serviços em 2021 foi de 1 210 GWh. Se todas as medidas tivessem sido aplicadas, ter-se-ia dado uma redução no consumo de 104 GWh, ou seja, uma poupança de 9%. No ano de 2021, um investimento médio de 10 200 € poderia ter garantido poupanças nominais de cerca de 1 365 €/ano com um *payback* médio de 7,53 anos [23].

## 2.3. Sistemas de AVAC

O AVAC tem a função de criar as condições que permitam atingir o conforto ambiental em edifícios ou em meios de transporte. As suas principais funções são o aquecimento, a ventilação e o ar condicionado, as quais são usadas para se obter tanto o conforto térmico como a qualidade do ar interior [25].

### 2.3.1. Sistemas de expansão direta

Os sistemas de expansão direta servem-se do fluido primário nos locais a climatizar para absorver ou libertar as cargas térmicas. Para tal, compõem-se de unidades de produção própria.

A sua utilização circunscreve-se a pequenas ou grandes residências em zonas únicas ou separadas e ainda a escritórios ou comércio.

A marca distintiva destes sistemas encontra-se na forma como as unidades interiores estão unidas às exteriores e pela utilização do fluido secundário como meio de condensação (ar ou água).

No mercado, existem diferentes tipos de máquinas com este sistema: “janela”; consolas; equipamentos divididos; *split/multisplit*; equipamentos portáteis e sistemas de Volume de fluido Frigorígeno Variável, designados por VRF. É habitual os fabricantes distinguirem os *splits* dos outros tipos, mesmo sendo todos eles autónomos em termos de produção [25].

#### 2.3.1.1. Sistemas *Split* e *Multisplit*

Estes constituem-se por uma unidade interior onde se localiza o evaporador e uma unidade exterior onde se encerra o compressor e o condensador. Para se ligar as duas unidades ente si, faz-se uso de tubos de líquido e de vapor, de cablagem elétrica e de um sistema de proteção elétrico.

No caso específico dos *multisplits*, a unidade exterior conecta-se a não uma, mas a várias unidades de interior que podem ser murais, cassetes ou de condutas.

Estas máquinas funcionam através da compressão mecânica de vapor, na qual o fluido evaporado no permutador interior absorve a carga térmica ao espaço a arrefecer a um nível baixo de temperatura de evaporação (entre 4 e 6 °C), sendo depois condensado num permutador exterior a um nível mais alto de temperatura de condensação (cerca de 45 °C com condensação a ar).

O aumento da pressão entre aqueles dois níveis de temperatura resulta de um compressor e a redução de um dispositivo de expansão (capilar ou válvula de expansão do tipo termostático) [25]. Na Figura 16 mostra-se pictoricamente uma esquematização de sistema *split* e *multisplit*.

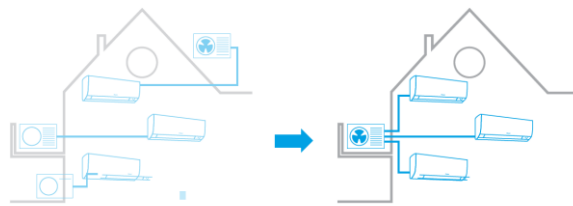


Figura 16 – Esquemática de sistemas *split* e *multisplit* [26]

### 2.3.1.2. Sistemas VRV

Os sistemas VRV são aqueles que possibilitam regular o funcionamento da instalação em harmonia com as necessidades térmicas de cada espaço. Assim, é garantido um aquecimento ou arrefecimento diferenciado dependendo das necessidades do espaço, possibilitando um ajuste da capacidade de carga para a remoção de calor pontual de forma pouco dispendiosa. A Figura 17 demonstra um exemplo de um sistema VRV.

Compõem-se através de unidades exteriores e unidades interiores conectadas através de vários tubos de fluido refrigerante (existem duas redes de tubos, uma de fluido líquido, outra de vapor), assemelhando-se não só fisicamente aos *multisplits*, mas também em termos de funcionamento.

Outra das semelhanças com aquele sistema é o funcionamento: o fluido refrigerante condensa a alta pressão na unidade exterior, libertando as cargas térmicas, sendo distribuído pelas unidades interiores nas quais se evapora a baixa pressão e baixa temperatura, absorvendo, assim, o calor do espaço.

As unidades de exterior são dotadas de um sistema de controlo do tipo *inverter* ou de variador de frequência cuja função é a de adaptar a potência frigorífica produzida às unidades interiores. Um dos compressores funciona de forma tudo nada, ou seja, ou trabalha à potência máxima ou encontra-se parado, enquanto o outro varia a velocidade de rotação para assim adaptar o caudal de fluido refrigerante às necessidades térmicas.

Os dispositivos de expansão são normalmente do tipo válvula eletrónica pois possibilita a constante regulação do caudal de fluido ao evaporador para corresponder às necessidades térmicas.

Se o sistema não for dotado de recuperação de calor, os tubos reúnem-se em conjuntos de dois. Já se existir recuperação de calor, esse número aumenta para três e usa-se uma caixa de recuperação térmica cuja função é permitir, simultaneamente, o aquecimento e o arrefecimento, definindo também o modo das unidades interiores localizadas abaixo da caixa.

Existem vários tipos de unidades de interior (mural, cassete, conduta e chão). A soma da potência destas pode ser superior à capacidade da unidade de exterior pois tal situação está condicionada a fatores de simultaneidade [25].

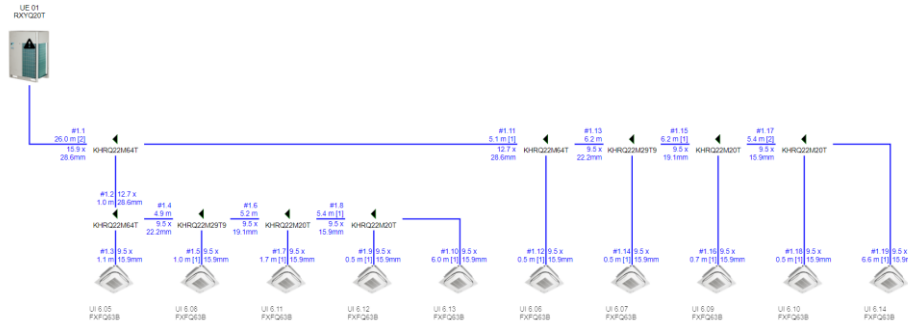


Figura 17 – Esquemática-exemplo de um sistema VRV [27]

### 2.3.2. Sistemas tudo-água

Estes sistemas caracterizam-se por transportarem para o interior de um espaço uma corrente de água fria ou quente que absorve ou liberta as cargas térmicas, sendo, a seguir aos sistemas de expansão direta, os mais populares. O seu uso é adequado para zonas perimetrais de edifícios onde existe uma forte variação de carga térmica.

A composição destes sistemas é a seguinte: unidades centralizadas para a produção térmica (*chiller*, bomba de calor, caldeira); ventiloconvetores como unidades terminais; uma rede de tubos que transporta a água entre os equipamentos centralizados e os terminais.

Quando se trata de um edifício onde é necessária uma instalação de grandes dimensões, aplica-se um circuito centralizado (chamado primário) cuja missão é transportar a água entre a máquina de produção térmica e os coletores de distribuição, e um outro circuito (o secundário) que transporta a água para os equipamentos terminais localizados nos espaços a climatizar. Os circuitos secundários são classificados de acordo com o número de tubos de ida e de retorno (dois, três e quatro tubos) [25]. Através da Figura 18 exemplifica-se o princípio de funcionamento de um sistema tudo-água com circuito primários e diversos circuitos secundários, realizado pela JM Project.

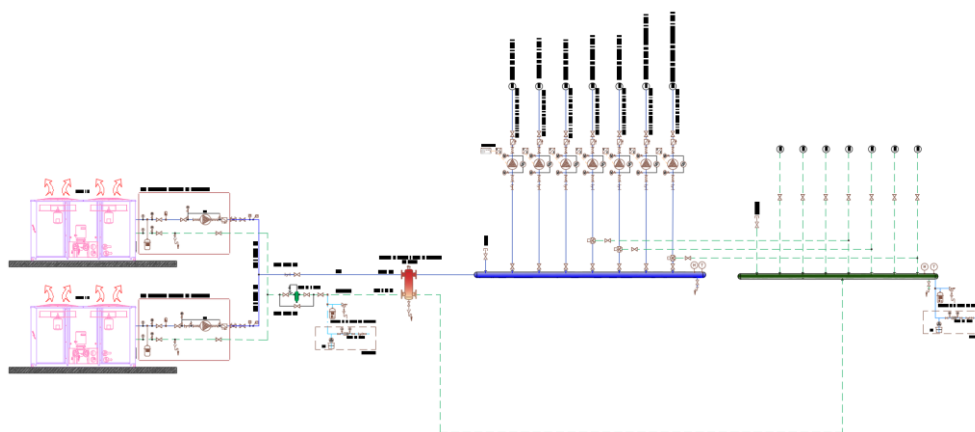


Figura 18 – Esquema de princípio de sistema tudo-água

#### 2.3.2.1. Sistemas a dois tubos

Nestes sistemas, uma tubagem assegura a ida da água gelada ou quente do equipamento produtor para os equipamentos terminais, enquanto uma outra assegura o retorno. Desta forma, a instalação

apenas pode funcionar em um modo pois, a cada serpentina, apenas chega água fria ou água quente.

Válvulas de equilíbrio são utilizadas nestes sistemas para assegurar, como o nome indica, o equilíbrio da instalação em casos onde o comprimento do percurso da água é diferente a cada unidade.

O mais usual são instalações com retorno invertido onde o comprimento do trajeto de água entre o equipamento central (*chiller* ou caldeira), o equipamento terminal e o retorno são o mesmo. Nestas, existe equilíbrio nas perdas de carga, logo, uma semelhança de caudais [25].

### **2.3.2.2. Sistemas a três tubos**

Os sistemas a três tubos são compostos por um tubo de alimentação que se acopla a cada ventiloinvetor, onde é transportada água quente, por um outro tubo que transporta água fria, e por um terceiro que realiza o retorno e que é comum aos dois anteriores. Devido a tais características, estes sistemas podem funcionar em modo misto, ou seja, é possível arrefecer alguns espaços e aquecer outros em simultâneo.

Para o funcionamento destes sistemas, cada unidade terminal utiliza uma válvula de três vias com uma entrada conectada ao tubo de água fria, a outra ligada ao tubo de água quente, e a última, a saída, acoplada à serpentina da bateria de ventiloinvetor. Funcionando normalmente, aquela válvula permite a entrada de água quente ou fria em quantidades variáveis, mas não permite a mistura de ambas.

Para grandes custos de operação no arrefecimento e no aquecimento e uma mistura excessiva serem evitados, separa-se as linhas de retorno para que todas as unidades que usam água mais fria descarreguem-na no retorno mais frio, levando essa água a entrar na máquina produtora de água gelada e a água mais quente à caldeira ou permutador de calor [25].

### **2.3.2.3. Sistemas a quatro tubos**

Os sistemas a quatro tubos adquirem a sua nomenclatura do facto de terem um circuito de dois tubos para a água quente e um outro de dois tubos para a água fria, com um dos tubos a assegurar a ida e o outro o retorno. Tal como os sistemas a três tubos, também estes podem funcionar em modo misto [25].

### **2.3.3. Sistemas tudo-ar**

Estes sistemas servem-se de uma corrente de ar frio ou de ar quente como fluído a injetar nos espaços a climatizar, sendo ela quem absorve ou liberta as cargas térmicas nesse espaço. São sistemas centralizados pois compõem-se de um conjunto de unidades centralizadas, localizadas num espaço técnico, cuja função é tratar o ar que é enviado para os espaços (arrefecendo-o ou aquecendo-o, desumidificando-o ou humidificando-o e limpando-o). Existem três soluções de maquinaria centralizada:

1. Caldeira para aquecer a água e *chiller* para a arrefecer; esta é a mais convencional e nela a água circula pela unidade de tratamento de ar (UTA);

2. bomba de calor com modo de aquecimento e de arrefecimento, água-água ligada a uma UTA;
3. bomba de calor com modo de aquecimento e de arrefecimento com ligação direta do fluido frigorigéneo à UTA.

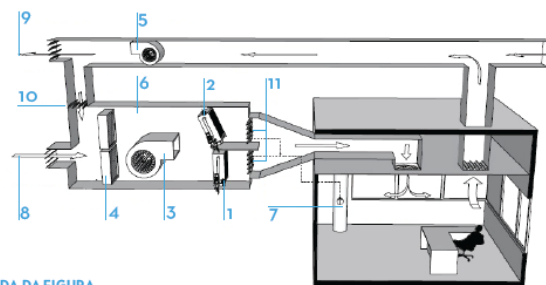
As unidades terminais destes sistemas são elementos de difusão de ar (difusores, grelhas, etc.) e, quando necessário, unidades de controlo de qualidade do ar como comportas.

Classificam-se como elementos intermédios as condutas e os seus acessórios auxiliares.

As UTAs podem funcionar sob dois princípios [25]:

1. Volume de ar constante e temperatura de insuflação variável;
2. Volume de ar variável e temperatura de insuflação constante

A Figura 19 exemplifica um sistema volume de ar constante (VAC).



LEGENDA DA FIGURA

- |                             |                          |                             |
|-----------------------------|--------------------------|-----------------------------|
| 1. Bateria fria             | 5. Ventilador de retorno | 9. Ar de exaustão           |
| 2. Bateria quente           | 6. Filtro                | 10. Registo de recirculação |
| 3. Ventilador de insuflação | 7. Termostato            | 11. Registo de zona         |
| 4. Filtro                   | 8. Ar exterior           |                             |

Figura 19 – Esquematização de sistema VAC tipo multizona [25]

### 2.3.3.1. Sistemas de volume de ar constante

Nestes sistemas, como indica o nome, o caudal de ar insuflado nos espaços permanece constante ao longo do tempo e a temperatura varia de acordo com as necessidades térmicas, ou seja, a variação da carga térmica no espaço possibilita ao controlo variar a temperatura mantendo o conforto.

A UTA ou UTAN (Unidade de Tratamento de Ar Novo) filtra e aquece ou arrefece o ar, injetando-o na rede de condutas com um caudal constante e a bateria de reaquecimento fornece calor ao ar das zonas com menor necessidade de arrefecimento, o que conduz a um alto custo energético.

Num sistema do tipo multizona a UTA é composta por uma secção de tomada de ar exterior com registros para controlo de ar, por uma secção de ventilador de ar de impulsão localizado antes das baterias e depois da secção de mistura de ar, e por uma secção de baterias de água quente e fria em paralelo onde se gera uma corrente de ar frio e outra de ar quente. Os registros de mistura das correntes de ar frio e de ar quente são controlados por termostatos ambientes [25].

### 2.3.3.2. Sistemas de ar variável

Nestes sistemas, a temperatura de insuflação mantém-se em valores a rondar os 12 °C em modo de arrefecimento, e a variação da carga térmica de um espaço é controlada pelo caudal.

Tal solução é aplicada em edifícios onde, no período de funcionamento, ocorre uma ampla variação de carga térmica interna.

As UTAs centralizadas filtram e aquecem ou arrefecem o ar antes da sua entrada nas condutas.

Existem vários equipamentos com a missão de regular a quantidade de ar adicionada a cada espaço, os quais podem ser registos ou difusores. Também os ventiladores podem regular a quantidade de ar de insuflação e de retorno [25].

### 2.3.4. Sistemas ar-água

Os sistemas ar-água fazem uso simultâneo de um caudal de água e outro de ar para climatizar um espaço, sendo ambos responsáveis pela remoção das cargas térmicas e pela higienização do ar do espaço, na Figura 20 encontra-se esquematizado um sistema deste género.

São também compostos por um conjunto de unidades centralizadas para arrefecimento e aquecimento da água e do ar, e por unidades terminais para injetar o ar climatizado no espaço.

Nestes sistemas, os equipamentos centralizados são igualmente *chillers*, caldeiras, bombas de calor e UTAs. As UTANs têm a responsabilidade de tratar o ar novo (ar primário) que se introduz mecanicamente nos espaços a climatizar e de assegurar as necessidades mínimas de ventilação e de controlo de humidade.

Já as unidades terminais são ventilosconvetores que recebem o ar primário para o interior de um *plenum*, injetando-o para a câmara de distribuição através de tubeiras, o que produz um efeito de indução obrigando o ar do espaço a entrar na unidade e a circular primeiro pelas baterias, sendo depois misturado com o ar primário.

Os elementos intermédios destes sistemas são as condutas e as tubagens e todos os acessórios de ambas.

O ar novo de que o espaço necessita permite ventilar, neutralizar as cargas por transmissão e controlar a humidade, podendo ser insuflado no espaço por grelhas ou difusores ou canalizado para as unidades terminais onde se mistura com o ar de recirculação.

O fluído líquido tem a função de levar o calor dos ventilosconvetores para as unidades centralizadas [25].

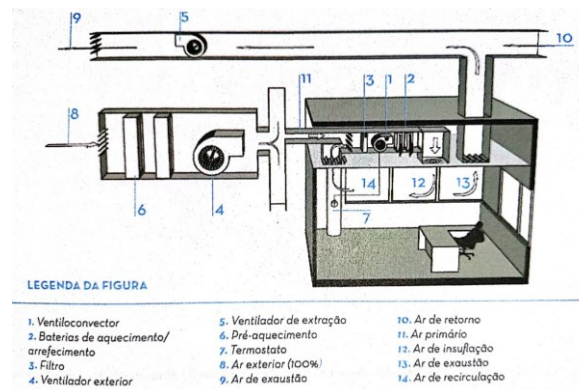


Figura 20 – Esquematização de sistema ar-água [25]

## 2.4. Programas informáticos de SDE

As raízes da simulação dinâmica de edifícios encontram-se em 1960. Com os avanços no mundo da computação, havia-se tornado possível solucionar numericamente equações diferenciais ordinárias e parciais que representavam a transferência de calor interior e exterior em edifícios.

Foi o serviço de correios dos Estados Unidos da América uma das primeiras agências federais que fez um investimento significativo no desenvolvimento de software capaz de avaliar o desempenho térmico em edifícios [28].

A partir de 1970 começaram a ser usados programas de simulação em AVAC seja para estudos universitários, seja para aplicação em ambiente laboral, os quais foram desenvolvidos e comercializados por fabricantes ou mesmo em contexto de programas levados a cabo por instituições públicas e universidades [29].

### 2.4.1. Importância da simulação dinâmica

A indústria da construção, ao contrário de outras, não beneficia de uma escala económica, ou seja, quando se cria um edifício, apenas um é criado, logo, não importa descobrir diferentes formas de melhorar a produção de um mesmo edifício ao contrário do que sucede, por exemplo, em produções em série como a indústria dos automóveis. Na sua produção participam vários *stakeholders* (arquitetos, empresas de engenharia, empresas de construção, donos, ocupantes, etc.), não sendo possível que nenhum deles recupere o investimento realizado na utilização dos programas de simulação dinâmica durante a construção do edifício. Tal deve-se à natureza dos softwares de modelação: a sua janela de retorno do investimento é de longo termo. Dessa forma, nem todos os envolvidos no projeto de um novo edifício terão o desejo de procurar obter um modelo, apesar dos benefícios que estas ferramentas possibilitam.

As aplicações de simulação dinâmica contêm as equações de transferência de calor e massa associadas a um conjunto de algoritmos e dados de base, os quais possibilitam obter resultados através da especificação das características físicas do edifício (materiais, arquitetura, envolvente exterior, orientação geográfica, iluminação, aparelhos e equipamentos e a ocupação). Permitem ainda calcular os consumos de energia inerentes a um sistema de um edifício e até o consumo global de toda a construção. Além da simulação dos sistemas de AVAC, existem ferramentas para simular o sistema de controlo, o sistema de segurança contra incêndios, a iluminação, as sombras

e exposição solar (efeitos visuais), etc., as quais partilham o facto de utilizarem um modelo virtual do edifício real. Assim, integrar todos esses sistemas em um só modelo virtual permite economizar tempo, garantir uma maior consistência dos dados e uma maior facilidade de conjugar todas as especialidades, uma vez que existem pormenores que apenas são tidos em conta uma vez que todos os sistemas se interligam [29].

Um projeto ecológico apenas pode suceder se os vários *stakeholders* estiverem incluídos no processo. Todos devem operar coordenadamente próximos desde as etapas embrionárias e com uma direção clara cujo objetivo seja alcançar os objetivos e critérios do dono, os quais devem estar cristalinaamente definidos. Na construção de novos edifícios está a tornar-se cada vez menos habitual incorporar os engenheiros mecânicos, elétricos e de hidráulica apenas após a concretização do projeto arquitetónico o que é um passo decisivo na possibilidade de melhorar a sustentabilidade do novo parque já que essa etapa do projeto é demasiado tardia para a interação entre as diferentes especialidades para criar um projeto mais ecológico [30].

Atualmente é necessário usar a simulação dinâmica multizona, (a não ser que o edifício seja apenas uma zona térmica), é obrigatória para determinar as necessidades e consumos de energia do edifício para posterior determinação da classe energética [9].

A Figura 21 demonstra o impacto que a partilha de soluções sustentáveis pode ter dependendo da fase do projeto onde elas são apresentadas. A curva sólida demonstra como é muito mais simples conseguir um forte impacto na melhoria da performance de um edifício (cortando nos gastos energéticos, aumentando a eficiência da água, reduzindo custos de manutenção, etc.) se todos os *stakeholders* iniciarem tais reflexões nas fases iniciais do projeto. Com o desenvolvimento desse, torna-se cada vez mais difícil, por isso, necessita-se de um maior grau de esforço para implementar essas melhorias.

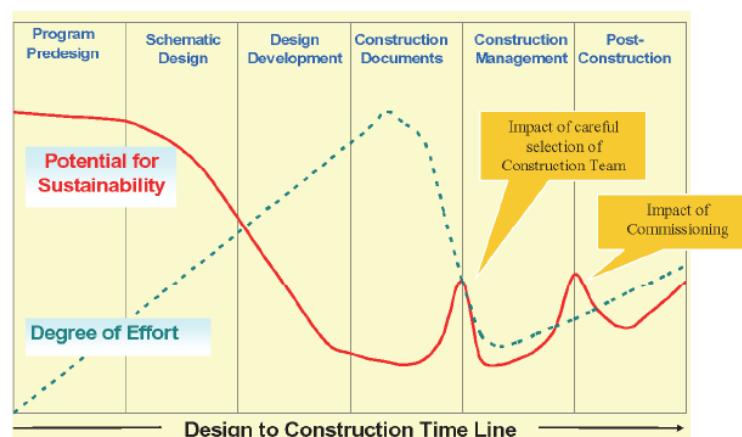


Figura 21 – Flutuações no potencial de sustentabilidade ao longo das várias etapas de um projeto [30]

## 2.4.2. Advertências

A simulação dinâmica não significa apenas aprender a utilizar um determinado *software*, é necessário ter atenção a certas variáveis. As condições de ambiente exterior são aquelas que mais influenciam os resultados de uma simulação. No caso de Portugal continental, a temperatura exterior é o fator com maior importância no cálculo das cargas térmicas e, nas regiões autónomas, esse lugar cabe à radiação solar. Por causa da importância destas condições, torna-se necessário

recorrer a dados climáticos atualizados e adequados à localização do edifício já que este é um dos fatores da percentagem de erro usado nos programas de simulação. Essa será maior ou menor tendo em conta a disparidade entre os dados utilizados no programa e os da localização real do edifício.

Existem locais com características climáticas específicas e que, por isso, necessitam de que seja tida em conta a variável da humidade. Tal deve-se ao facto de, no caso de elevados valores de humidade, tornar-se previsível a existência de uma carga térmica de calor latente extra. Apesar de ser raro em Portugal, no acontecimento de temperaturas altas com humidade relativa elevada, é importante acautelar essa possibilidade aquando da análise dos resultados obtidos na simulação.

Após a escolha do ficheiro de dados climáticos adequado à localização do edifício real, o utilizador deve definir imediatamente: os fatores climáticos especiais a ter em conta, o período de simulação, os dados das várias tipologias de envolvente (dando privilégio à definição das várias camadas de envolvente em detrimento de um coeficiente global), a orientação do edifício, os sombreamentos, os horários de ocupação e as respetivas densidades, as ventilações e infiltrações de ar, as cargas térmicas internas, os sistemas de climatização e ventilação e as curvas de funcionamento dos equipamentos principais.

Os resultados obtidos nos variados programas de SDE não são dispares entre si, existindo apenas diferenças no detalhe da informação fornecida e na forma como ela é passada ao utilizador. A única diferença pode advir dos critérios do utilizador (diferentes interpretações de uma arquitetura ou simplificações de vetores base numa simulação podem criar resultados inesperados). Se estes implementarem o mesmo conjunto de preocupações típicas na definição das variáveis físicas do modelo, farão com que o problema se uniformize, a imprecisão dos resultados da simulação diminua, torne-se possível testar facilmente variações de pequenos detalhes (espessuras de vidros ou coeficiente de transmissão térmica de uma componente da envolvente) através da estruturação do código de programação e seja mais célere e trivial a análise do modelo por outros intervenientes num projeto, seja por curiosidade científica ou até em casos de auditorias energéticas comparativas [29].

### 2.4.3. *Softwares de Simulação Dinâmica de Edifícios*

Vários são os programas de simulação dinâmica do comportamento térmico e de sistemas de edifícios, dos quais se apresentam, em seguida, alguns exemplos. As informações compiladas na Tabela 1 foram obtidas através da consulta de artigos [31] [32] [33], da experiência pessoal com os *softwares* e do contacto profissional com outros engenheiros.

As limitações e capacidades dos programas alteram-se com as atualizações que cada um recebe, sendo que as fraquezas mais habituais se encontram normalmente na definição de geometrias complexas e dos respetivos sombreamentos, bem como na implementação para simulação de sistemas de ar condicionado menos habituais [29].

Tabela 1 – Comparação de softwares de SDE

	Vantagens	Desvantagens
<i>IES</i>	- Possibilidade de modelar ventilação híbrida (natural + mecânica);	- Não permite análise do trajeto solar, nem contabiliza ganhos solares; - Não permite modelar ventilação natural;

	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Possibilita a mudança entre ISO, ASHRAE e CIBSE para inserção de dados;</li> <li>- Dimensionamento e seleção de sistemas de AVAC;</li> <li>- Incorporável com outras plataformas de CAD/BIM.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Não permite controlar a abertura de janelas;</li> <li>- Não permite modelar sistemas a hidrogénio nem a energia eólica;</li> <li>- Sistemas/equipamentos elétricos pouco desenvolvidos;</li> <li>- Apesar de ser OpenSource, apenas permite utilizar Python.</li> </ul>
<i>TRNSYS</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Permite modelar o controlo de CO<sub>2</sub>;</li> <li>- Permite analisar o trajeto solar e contabiliza os ganhos solares;</li> <li>- Permite a visualização 3D do modelo (a partir da versão 17);</li> <li>- Permite conjugar outras ferramentas (como MATLAB, ferramentas CFD, EES, VBA);</li> <li>- Permite adicionar modelos matemáticos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Dificuldade em modelar polígonos com muitas faces;</li> <li>- Não permite importar/exportar modelos de simulação;</li> <li>- Não possui controlo de luz natural.</li> </ul>
<i>HAP 4.22</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Necessita de pouca experiência em modelação;</li> <li>- Disponibilização, no site da Carrier, de tutoriais em vídeo.</li> <li>- Gratuito</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- É necessária formação;</li> </ul>
<i>Trace 700</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Permite comparar até quatro diferentes alternativas num só projeto;</li> <li>- Permite importação de modelos do Revit e de outros programas BIM.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- É dos softwares mais caros;</li> <li>- É necessária formação;</li> <li>- Apenas inclui um sistema de AVAC por zona.</li> </ul>
<i>EnergyPlus</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- É dos softwares mais rápidos em comparação com o TRNSYS;</li> <li>- Software OpenSource;</li> <li>- Permite integração com diversas aplicações tais como o <i>OpenStudio</i>, este utiliza várias linguagens (Ruby, Python, C# e JavaScript), tornando-o extensivamente personalizável</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Não é possível modelar ventilação natural</li> <li>- Não permite modelar o controlo de CO<sub>2</sub></li> <li>- Não tem uma visualização 3D do modelo (necessita de programas secundários como o <i>Openstudio+SketchUp</i>).</li> <li>- Por ter uma interface complexa, necessita de atenção especial na fase de parametrização. A criação do <i>OpenStudio</i> procurou simplificar o uso do <i>EnergyPlus</i>.</li> </ul>

#### 2.4.4. Softwares de trabalho

A escolha recaiu sobre o *EnergyPlus*, utilizado através da interface *OpenStudio*, devido às vantagens apresentadas no capítulo 2.4.3. O *EnergyPlus* é uma aplicação acreditada pela Norma ASHRAE 140, uma obrigatoriedade na legislação portuguesa para se determinar consumos energéticos no âmbito da certificação energética. O *OpenStudio* permite ser integrado no *SketchUp*, o qual possibilita modelar o edifício em 3D.

O *EnergyPlus* apresenta três componentes principais [34]:

- 1) Gestor de simulações: Responsável por gerir o processo de simulação;
- 2) Módulo de simulação do balanço de calor e massa: este módulo faz a simulação do balanço térmico do edifício, tendo em conta fatores como a transferência de calor por condução, transferência de calor por convecção e infiltrações.

- 3) Módulo de simulação dos sistemas do edifício: realiza a simulação dos sistemas de AVAC e de outros sistemas energéticos.

Esta estrutura e respetiva interligação pode ser observada na Figura 22.

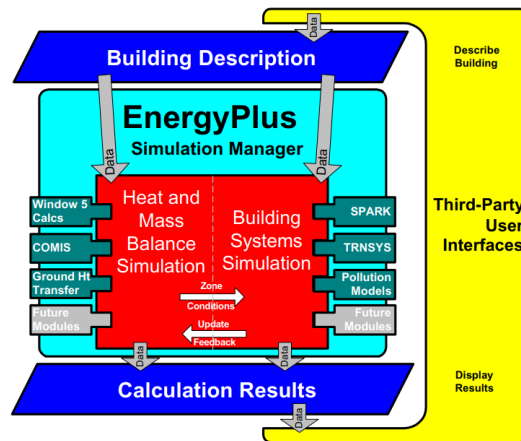


Figura 22 - Estrutura geral do EnergyPlus [34]

Para facilitar o desenvolvimento da geometria do edifício utilizou-se o *SketchUp* onde é possível construir em 3D a arquitetura do edifício.

Por fim, para visualização de dados, utilizaram-se ainda softwares como o *Dview* e o *Timestep*.

Na Figura 23 pode ver-se a sequência de utilização dos diversos softwares utilizados.

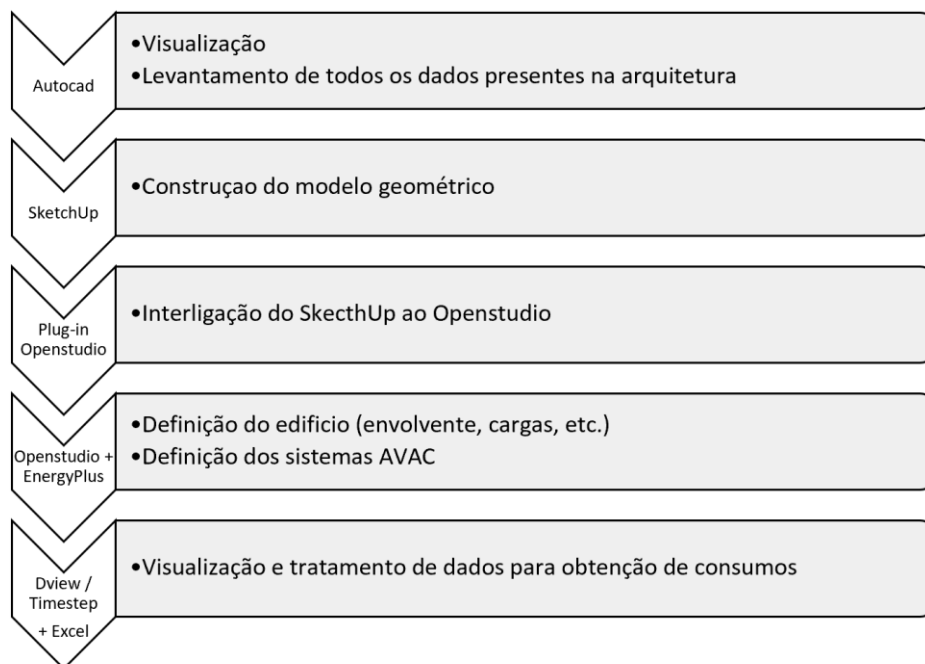


Figura 23 - Softwares de Trabalho



### 3. CASO DE ESTUDO

Este capítulo aborda todas as questões relacionadas com o caso de estudo: a caracterização do edifício e o zonamento climático, as soluções construtivas e sua verificação, a inércia térmica, os ganhos internos e os consumos que foram determinados fora do software de simulação dinâmica, nomeadamente os elevadores, que foram determinados em Excel de acordo com a legislação, o consumo do sistema de AQS igualmente determinado em Excel seguindo a legislação, e o contributo do sistema solar fotovoltaico, determinado na folha de cálculo da DGEG. Expõem-se ainda todas as considerações e os passos seguidos para a modelação dos diversos sistemas no OpenStudio.

#### 3.1. Caracterização do edifício/Zonamento climático

O edifício em estudo localiza-se em Lisboa, zona climática (I1-V3), a uma altitude de 9 m e a uma distância da costa marítima superior a 5 Km. É constituído por áreas de apoio ao funcionamento das unidades de saúde, resíduos contaminados, arquivo, áreas de vestiários para os profissionais, sala de reuniões e pausa, gabinetes de consulta, salas de tratamento, receção e atendimento do utente, bem como as respetivas salas de espera.

O levantamento dimensional do edifício foi feito através do projeto de arquitetura no *AutoCAD* e foi utilizado para o cálculo da inércia térmica e coeficientes de redução ( $b_{zti}$ ) e para construir o modelo geométrico do edifício no *software SketchUp* ilustrado na Figura 24.

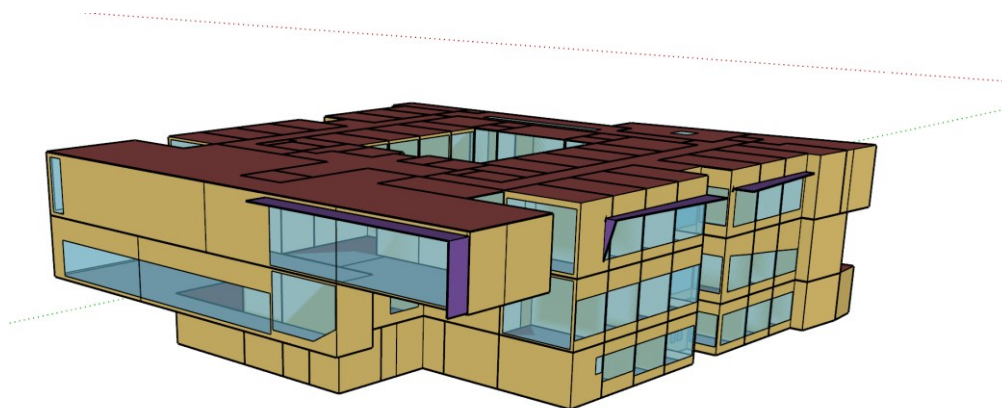


Figura 24 - Modelo Geométrico do caso de estudo no SketchUp

Na totalidade, a fração possui uma área de pavimento igual a 2412,09 m<sup>2</sup> e área térmica de 2200,55 m<sup>2</sup>. O pé direito médio é de 3,8 m, a sua fachada principal é orientada a Sul, possuindo uma tipologia dominante de unidades de saúde sem internamento.

Para iniciar a análise do comportamento energético da fração e verificação do cumprimento dos requisitos de qualidade térmica da envolvente, é necessário conhecer as zonas climáticas para o edifício em estudo.

O país é dividido em três zonas climáticas de Inverno,  $I_1$ ,  $I_2$  e  $I_3$ , e três zonas climáticas de verão,  $V_1$ ,  $V_2$  e  $V_3$ . A zona climática de inverno é definida a partir do número de graus-dias (GD) na estação de aquecimento, enquanto a de verão é definida a partir da temperatura média exterior na estação convencional de arrefecimento.

Para edifícios de comércio e serviços o DEE é avaliado num método horário e, para isso, obtém-se o ficheiro climático através da folha SCE.CLIMA\_V1.0, fornecida pela Direção-Geral de Energia e Geologia (DGEG) que permite parametrização da altitude e do concelho. Tendo em conta as especificidades do edifício em estudo, obteve-se o resultado NUTS 3: Grande Lisboa. Na Tabela 2, especificam-se os dados climático do edifício.

Tabela 2 – Dados Climáticos do edifício

	Referência	Local
Zona climática de Inverno:	I1	
Duração da estação de aquecimento	5,3 meses	5 meses
Temperatura média:	10,8 °C	11,2 °C
Número de graus – dias – GD	1071°C	901°C
Zona climática de Verão:	V3	
Temperatura média:	21,7 °C	22,7 °C

O ficheiro climático usado nas simulações foi obtido da mesma folha (SCE.CLIMA\_V1.0) e os resultados obtidos podem ser consultados no apêndice A.

## 3.2. Soluções construtivas

Primeiramente, analisou-se a envolvente física do edifício, esboçando a sua fronteira e a sua caracterização térmica, processo que envolve a determinação de valores, tais como a resistência térmica ( $R$ ) [ $m^2 \cdot ^\circ C/W$ ], o coeficiente de transmissão térmica ( $U$ ) [ $W/m^2 \cdot ^\circ C$ ], a massa superficial útil ( $M_{si}$ ) [ $kg/m^2$ ] e a massa superficial útil por metro quadrado de área interior útil de pavimento ( $I_t$ ) [ $kg/m^2$ ].

### 3.2.1. Envolvente opaca

No cálculo dos coeficientes de transmissão térmica das diversas soluções construtivas, não foram contabilizadas as resistências térmicas relativas a acabamentos (pinturas, e outros revestimentos), entendendo-se que, deste modo, a verificação do regulamento será mais exigente no que respeita ao cálculo das necessidades nominais de energia útil por estação de aquecimento e de arrefecimento.

Para determinar os coeficientes de transmissão térmica ( $U$ ), foi necessário calcular primeiro a resistência térmica total ( $R_{tot}$ ), conforme a equação (1) .

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

onde  $R_{tot}$  corresponde à resistência térmica total em  $[(m^2 \cdot ^\circ C)/W]$ ,  $R_{si}$  e  $R_{se}$  correspondem às resistências térmicas interior e exterior, respetivamente.  $R_j$  é a resistência térmica de cada camada  $j$ .

A resistência de um material homogéneo – entenda-se material de espessura constante e propriedades térmicas uniformes – é obtida através da relação entre a espessura da camada  $j$  ( $d_j$ ) e condutibilidade térmica ( $\lambda_j$ ), conforme demonstra a equação (2).

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

As resistências térmicas superficiais variam com o sentido do fluxo de calor e a sua posição conforme a Tabela 3:

Tabela 3 - Resistências térmica superficiais [20]

Sentido do fluxo de calor	Resistência térmica superficial $[(m^2 \cdot ^\circ C)/W]$	
	Interior ( $R_{si}$ )	Exterior ( $R_{se}$ )
Horizontal (inclinação entre $0^\circ C$ e $\pm 30^\circ C$ )	0,13	0,04
Ascendente	0,10	
Descendente	0,17	

A resistência térmica de um espaço de ar é obtida em função da sua espessura, do sentido do fluxo e do grau de ventilação para o exterior. Neste edifício, aplicou-se o caso de uma solução construtiva com espaço de ar não ventilado e com espessura de 20 cm. Em fluxo ascendente a sua resistência é de 0,16 e em fluxo descendente de 0,22 [20].

Obtido o valor de todas as resistências é possível calcular o coeficiente de transmissão térmica ( $U$ ), o qual traduz a transmissão de calor que ocorre através de um elemento construtivo, em regime permanente [20]. Este cálculo é realizado através da equação (3):

$$U = \frac{1}{R_{tot}} \quad (3)$$

Para a determinação do coeficiente de transmissão térmica dos elementos em contacto com o solo, foi necessário, além de calcular as resistências, analisar a largura/profundidade do isolamento ( $D$ ), a profundidade média da parede/pavimento ( $Z_{solo}$ ) e a dimensão característica do pavimento em contacto com o solo ( $B'$ ), que diz respeito à relação entre a área interior útil de pavimento em contacto com o solo ( $A_{p,solo}$ ) e o perímetro exposto medido pelo interior ( $P$ ), conforme a equação (4):

$$B' = \frac{A_{p,solo}}{0,5 \cdot P} \quad (4)$$

Apresenta-se as descrições das soluções construtivas do edifício.

PE1: Parede exterior em alvenaria simples de 0,3 m de espessura, com isolamento térmico pelo exterior constituída (do exterior para o interior) por: ISODUR, com espessura de 0,08 m e coeficiente de condutibilidade térmica de 0,05 W/(m.°C); Betão, com espessura de 0,2 m e

coeficiente de condutibilidade térmica de  $2 \text{ W}/(\text{m}\cdot^{\circ}\text{C})$ ; Estuque projectado, com espessura de  $0,02 \text{ m}$  e coeficiente de condutibilidade térmica de  $0,3 \text{ W}/(\text{m}\cdot^{\circ}\text{C})$ ;

CBE1: Cobertura exterior, com isolamento térmico pelo exterior constituída (do exterior para o interior) por: Lajeta térmica, com espessura de  $0,08 \text{ m}$  e coeficiente de condutibilidade térmica de  $0,035 \text{ W}/(\text{m}\cdot^{\circ}\text{C})$ ; Betonilha de regularização, com espessura de  $0,05 \text{ m}$  e coeficiente de condutibilidade térmica de  $0,33 \text{ W}/(\text{m}\cdot^{\circ}\text{C})$ ; Betão, com espessura de  $0,25 \text{ m}$  e coeficiente de condutibilidade térmica de  $2 \text{ W}/(\text{m}\cdot^{\circ}\text{C})$ ; Caixa de ar, com espessura de  $0,2 \text{ m}$  e resistência térmica de  $0,16 \text{ (m}^2\cdot^{\circ}\text{C)/W}$ ; Gesso cartonado, com espessura de  $0,013 \text{ m}$  e coeficiente de condutibilidade térmica de  $0,25 \text{ W}/(\text{m}\cdot^{\circ}\text{C})$ ;

PVE1: Pavimento exterior, com isolamento térmico pelo interior constituída (do interior para o exterior) por: Revestimento de piso, com espessura de  $0,02 \text{ m}$  e coeficiente de condutibilidade térmica de  $1,3 \text{ W}/(\text{m}\cdot^{\circ}\text{C})$ ; Betonilha de regularização, com espessura de  $0,05 \text{ m}$  e coeficiente de condutibilidade térmica de  $0,33 \text{ W}/(\text{m}\cdot^{\circ}\text{C})$ ; Betão, com espessura de  $0,25 \text{ m}$  e coeficiente de condutibilidade térmica de  $2 \text{ W}/(\text{m}\cdot^{\circ}\text{C})$ ; ISODUR, com espessura de  $0,08 \text{ m}$  e coeficiente de condutibilidade térmica de  $0,05 \text{ W}/(\text{m}\cdot^{\circ}\text{C})$ ;

PI1: Parede interior em alvenaria simples de  $0,15 \text{ m}$  de espessura, sem isolamento térmico constituída (do interior para o ENU) por: Estuque projetado, com espessura de  $0,02 \text{ m}$  e coeficiente de condutibilidade térmica de  $0,3 \text{ W}/(\text{m}\cdot^{\circ}\text{C})$ ; Tijolo, com espessura de  $0,11 \text{ m}$  e resistência térmica de  $0,27 \text{ (m}^2\cdot^{\circ}\text{C)/W}$ ; Estuque projetado, com espessura de  $0,02 \text{ m}$  e coeficiente de condutibilidade térmica de  $0,3 \text{ W}/(\text{m}\cdot^{\circ}\text{C})$ ;

PI2: Parede interior em alvenaria simples de  $0,24 \text{ m}$  de espessura, sem isolamento térmico constituída (do interior para o ENU) por: Estuque projetado, com espessura de  $0,02 \text{ m}$  e coeficiente de condutibilidade térmica de  $0,3 \text{ W}/(\text{m}\cdot^{\circ}\text{C})$ ; Betão, com espessura de  $0,2 \text{ m}$  e coeficiente de condutibilidade térmica de  $2 \text{ W}/(\text{m}\cdot^{\circ}\text{C})$ ; Estuque projetado, com espessura de  $0,02 \text{ m}$  e coeficiente de condutibilidade térmica de  $0,3 \text{ W}/(\text{m}\cdot^{\circ}\text{C})$ ;

PI3: Parede interior em contacto com o solo em alvenaria simples de  $0,26 \text{ m}$  de espessura, com isolamento térmico pelo exterior constituída (do interior para o exterior) por: Poliestireno expandido extrudido, com espessura de  $0,04 \text{ m}$  e coeficiente de condutibilidade térmica de  $0,037 \text{ W}/(\text{m}\cdot^{\circ}\text{C})$ ; Betão, com espessura de  $0,2 \text{ m}$  e coeficiente de condutibilidade térmica de  $2 \text{ W}/(\text{m}\cdot^{\circ}\text{C})$ ; Estuque projetado, com espessura de  $0,02 \text{ m}$  e coeficiente de condutibilidade térmica de  $0,3 \text{ W}/(\text{m}\cdot^{\circ}\text{C})$ ;

PI4: Parede interior em contacto com espaços complementares, com isolamento térmico pelo exterior constituído (do exterior para o interior) por: Placa de gesso cartonado, com espessura de  $0,013 \text{ m}$  e coeficiente de condutibilidade térmica de  $0,25 \text{ W}/(\text{m}\cdot^{\circ}\text{C})$ ; Lã de rocha, com espessura de  $0,04 \text{ m}$  e coeficiente de condutibilidade térmica de  $0,04 \text{ W}/(\text{m}\cdot^{\circ}\text{C})$ ; Tijolo, com espessura de  $0,11 \text{ m}$  e resistência térmica de  $0,27 \text{ (m}^2\cdot^{\circ}\text{C)/W}$ ; Reboco, com espessura de  $0,02 \text{ m}$  e coeficiente de condutibilidade térmica de  $1,3 \text{ W}/(\text{m}\cdot^{\circ}\text{C})$ ;

PVI1: Pavimento interior, sem isolamento térmico, constituído (do interior para o ENU) por: Revestimento de piso, com espessura de  $0,02 \text{ m}$  e coeficiente de condutibilidade térmica de  $1,3 \text{ W}/(\text{m}\cdot^{\circ}\text{C})$ ; Betonilha de regularização, com espessura de  $0,05 \text{ m}$  e coeficiente de condutibilidade térmica de  $0,33 \text{ W}/(\text{m}\cdot^{\circ}\text{C})$ ; Betão, com espessura de  $0,25 \text{ m}$  e coeficiente de condutibilidade térmica de  $2 \text{ W}/(\text{m}\cdot^{\circ}\text{C})$ ; Caixa de ar, com espessura de  $0,2 \text{ m}$  e resistência térmica de  $0,22 \text{ (m}^2\cdot^{\circ}\text{C)/W}$ ; Gesso cartonado, com espessura de  $0,013 \text{ m}$  e coeficiente de condutibilidade térmica de  $0,25 \text{ W}/(\text{m}\cdot^{\circ}\text{C})$ ;

CBI1: Cobertura interior, sem isolamento térmico, constituída (do ENU para o interior) por: Revestimento de piso, com espessura de 0,02 m e coeficiente de condutibilidade térmica de 1,3 W/(m.°C); Betonilha de regularização, com espessura de 0,05 m e coeficiente de condutibilidade térmica de 0,33 W/(m.°C); Betão, com espessura de 0,25 m e coeficiente de condutibilidade térmica de 2 W/(m.°C); Caixa de ar, com espessura de 0,2 m e resistência térmica de 0,16 (m<sup>2</sup>.°C)/W; Gesso cartonado, com espessura de 0,013 m e coeficiente de condutibilidade térmica de 0,25 W/(m.°C);

PVT1: Pavimento térreo, com isolamento térmico constituído (do interior para o solo) por: Revestimento de piso, com espessura de 0,02 m e coeficiente de condutibilidade térmica de 1,3 W/(m.°C); Betonilha de regularização, com espessura de 0,05 m e coeficiente de condutibilidade térmica de 0,33 W/(m.°C); Poliestireno extrudido expandido, com espessura de 0,04 m e coeficiente de condutibilidade térmica de 0,037 W/(m.°C); Laje Betão, com espessura de 0,3 m e coeficiente de condutibilidade térmica de 2 W/(m.°C);

O cálculo do coeficiente de transmissão pode ser consultado no apêndice B. Apresenta-se de seguida, na Tabela 4, o valor obtido para os coeficientes globais de transmissão térmica (U).

Tabela 4 - Coeficientes de transmissão térmica (U)

Elemento	U (W/m <sup>2</sup> °C)
Parede Exterior - PE 1	0,52
Cobertura Exterior - CBE 1	0,34
Pavimento Exterior - PVE 1	0,48
Parede Interior do tipo 1 - PI 1	1,51
Parede Interior do tipo 2 - PI 2	2,03
Parede Enterrada - PI 3	0,80
Parede Interior do tipo 4 - PI 4	0,63
Pavimento Interior - PVI 1	1,11
Cobertura Interior - CBI 1	1,42
Pavimento Térreo - PVT 1	0,72

### 3.2.2. Envoltente envidraçada

Para a envoltente envidraçada foi considerado o coeficiente de transmissão térmica e fator solar do vidro indicado nas fichas técnicas das soluções pretendidas pela arquitetura. O fator solar total ( $g_{tot}$ ) do envidraçado 01, que possuirá proteção interior em cortinas ligeiramente transparentes de cor clara, determinou-se de acordo com a equação (5).

$$g_{tot} = g_{\perp, vi} \prod_i \frac{g_{tot,vc}^i}{0,75} \quad (5)$$

Foram considerados os seguintes tipos de envidraçados:

Envidraçado 01: caixilharia metálica com corte térmico, constituída por vidro duplo Guardian 10mm T-HST SunGuard HP 50/32 + Caixa de Ar 16mm + Laminado 6+6 HT SR. Proteção solar interior em cortinas ligeiramente transparentes de cor clara.

Envidraçado 02: Fachada cortina constituída por Pentagonal Fitechnic em aço inox com vidro laminado Critemp Temperado Silver grey 32 de 10mm PVB SG41 solar + Vanceva SG e Temperado Baixo emissivo pirolítico 10mm, suspenso por cabos de aço. Sem equipamentos de proteção solar.

Envidraçado 03: caixilharia metálica com corte térmico, constituída por vidro duplo Guardian SunGuard HD Silver 20 Laminado 10+10 HT + Caixa de Ar 16mm + Climaguard Premium 2 LamiGlass 5+5. Sem equipamentos de proteção solar.

A descrição completa de cada elemento da envolvente envidraçada encontra-se no apêndice B.

Apresenta-se na Tabela 5 um resumo com o valor do coeficiente global de transmissão térmica:

Tabela 5 - Coeficientes globais de transmissão térmica

Elemento	$U$ (W/m <sup>2</sup> °C)
Envidraçado Exterior do Tipo 1 – ENV 01	1,5
Envidraçado Exterior do Tipo 2 – ENV 02	3,3
Envidraçado Exterior do Tipo 3 – ENV 03	2,25

### 3.2.3. Pontes Térmicas

As pontes térmicas planas (PTP) dizem respeito às heterogeneidades inseridas na zona corrente da envolvente, designadamente vigas, pilares, caleiras ou caixas de estore.

As pontes térmicas lineares (PTL) correspondem à concentração de fluxo de calor que ocorre nas ligações entre elementos construtivos com diferente geometria ou diferentes propriedades térmicas, sendo a diminuição do seu impacto relevante para evitar a ocorrência de condensações superficiais e o aparecimento de patologias no interior dos edifícios [12].

No que diz respeito às pontes térmicas lineares, não existindo desenhos suficientes de pormenores construtivos que permitissem quantificar as PTL, e conforme previsto no Manual de SCE, considerou-se um acréscimo de 5% nas necessidades energéticas de aquecimento.

No caso em estudo, foram identificadas pontes térmicas planas associadas a pilares. Na Tabela 6 apresenta-se o valor do coeficiente de transferência térmica.






Tabela 6 - Coeficiente de transferência térmica PTP 1

Elemento	$U$ (W/m <sup>2</sup> °C)
Ponte Térmica Plana 1 (Pilar) – PTP 1	0,52

### 3.2.4. Marcação da envolvente

A marcação da envolvente varia consoante as condições de fronteira do espaço útil, que pode estar em contacto com o exterior, com espaços interiores não úteis, com o solo e ainda em contacto com edifícios adjacentes ou frações vizinhas. Para efeitos de DEE, as cores associadas encontram-se na Tabela 7, onde bztu diz respeito ao coeficiente de redução de perdas para locais não climatizados, que se encontra descrito no capítulo 3.4.

Tabela 7 - Cores da Envolvente [20]

Código de Cores (RGB)		Condição Fronteira
Vermelho (255,0,0)		Exterior
Amarelo (255,255,0)		Interior com $b_{ztu} > 0,7$
Azul (0,0,255)		Interior com $b_{ztu} < 0,7$
Verde (0,255,0)		Sem trocas térmicas
Ciano (0,255,255)		Solo

Para pavimentos e coberturas estão ainda definidas duas tramas diferentes, conforme a Figura 25.

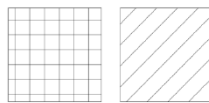


Figura 25 - Tramas de pavimento e cobertura, respetivamente [20]

No apêndice C encontram-se as plantas de piso e corte com marcação da envolvente.

### 3.3. Inércia Térmica

A inércia térmica é a capacidade de armazenamento de calor dos elementos construtivos. O seu valor varia em função da massa superficial útil por metro quadrado de área interior útil de pavimento ( $I_t$ ), conforme a equação (6).

$$I_t = \frac{\sum_i M_{si} \cdot r_i \cdot S_i}{A_p} \quad (6)$$

Em que  $M_{si}$  diz respeito à massa superficial útil do elemento  $i$ ,  $S_i$  corresponde à área da superfície interior do elemento  $i$  e  $A_p$  é a área de pavimento.

Outro fator que aparece na equação é o de redução da massa superficial útil de um elemento,  $r_i$ , que permite avaliar de que forma o tipo de revestimento influencia a capacidade de absorção de calor dos materiais que compõem esse elemento. Assim, o  $r_i$  depende das características do material aplicado como revestimento, nomeadamente da sua resistência térmica. Quanto maior a resistência térmica do material de revestimento, maior a resistência à transmissão térmica e, consequentemente, menor a capacidade de armazenamento e restituição de calor do elemento. Já  $S_i$  corresponde à área da superfície interior do elemento  $i$ .

Conforme cada tipo de elemento, há regras e valores limites de  $M_{si}$  de 150 kg/m<sup>2</sup> para EL1 e EL2 e 300 kg/m<sup>2</sup> para EL3. EL1 diz respeito a elementos da envolvente com condição fronteira exterior, interior e sem trocas térmicas, EL2 corresponde a elementos em que a condição fronteira é o solo e EL3 diz respeito aos elementos de compartimentação interior.

Em função da massa superficial útil por metro quadrado de área interior útil de pavimento, são definidas três classes de inércia conforme a Tabela 8.

Tabela 8 - Classes de inércia térmica [20]

Classe de Inércia Térmica	$I_t$ [kg/m <sup>2</sup> ]
Fraca	$I_t < 150$
Média	$150 \leq I_t \leq 400$
Forte	$I_t > 400$

No caso de estudo, o valor de  $I_t$  é de 488,97 kg/m<sup>2</sup> correspondendo, por isso, a Inércia Forte. O cálculo detalhado pode ser consultado no apêndice D.

### 3.4. Coeficiente de redução de perdas para locais não climatizados

As perdas térmicas através da envolvente, a qual separa o espaço útil do espaço não útil, calculam-se com o valor da transferência de calor por um elemento construtivo com condição fronteira interior, o  $b_{ztu}$ .

Este depende da relação do somatório das áreas dos elementos dos espaços úteis ( $A_i$ ) e não úteis ( $A_u$ ), do volume do espaço não útil ( $V_{enu}$ ) e do tipo de ventilação (f – fracamente ventilado ou F – Fortemente ventilado), conforme a Tabela 9.

Tabela 9 - Coeficientes de redução ( $b_{ztu}$ ) [20]

$B_{ztu}$	$V_{enu} \leq 50 \text{ m}^3$		$50 \text{ m}^3 < V_{enu} \leq 200 \text{ m}^3$		$V_{enu} > 200 \text{ m}^3$	
	f	F	f	F	f	F
$A_i/A_u < 0,5$	1					
$0,5 \leq A_i/A_u < 1,0$	0,7	0,9	0,8	1,0	0,9	1,0
$1,0 \leq A_i/A_u < 2,0$	0,6	0,8	0,7	0,9	0,8	1,0
$2,0 \leq A_i/A_u < 4,0$	0,4	0,7	0,5	0,9	0,6	0,9
$A_i/A_u \geq 4,0$	0,3	0,5	0,4	0,8	0,4	0,8

No apêndice E apresenta-se o cálculo do  $b_{ztu}$  que foi usado para marcação da envolvente.

### 3.5. Verificação dos requisitos mínimos da envolvente

Na Tabela 10, apresentam-se os requisitos mínimos e os valores dos coeficientes de transmissão térmica de cada elemento da envolvente, de acordo com os valores máximos do coeficiente de transmissão térmica impostos pela portaria n.º 138-I/2021.

Tabela 10 - Requisitos da envolvente - Zona Climática I1

Elemento	$U$ [W/m <sup>2</sup> .°C]	U MÁX. (W/m <sup>2</sup> .°C)	Verificação
Parede Exterior PE1	0,52	0,70	Cumpre
Parede Interior PI1	1,51	Sem requisitos	-
Parede Interior PI2	2,03	Sem requisitos	-
Parede Interior PI3	0,80	Sem requisitos	-
Parede Interior PI4	0,63	0,70	Cumpre
Cobertura Exterior CBE1	0,34	0,50	Cumpre

Elemento	$U$ [W/m <sup>2</sup> .°C]	U MÁX. (W/m <sup>2</sup> .°C)	Verificação
Pavimento Exterior PVE1	0,48	0,50	Cumpre
Pavimento Interior PVI1	1,11	Sem requisitos	-
Cobertura Interior CBI1	1,42	Sem requisitos	-
Pavimento Térreo PVT1	0,72	Sem requisitos	-
Ponte Térmica Plana – PTP 1	0,52	0,90	Cumpre
Envidraçado 01	1,50	3,30	Cumpre
Envidraçado 02	3,30	3,30	Cumpre
Envidraçado 03	2,25	3,30	Cumpre

### 3.6. Condições exteriores de projeto

As condições exteriores de projeto têm de ser definidas para que seja possível calcular a carga térmica de um espaço. Tal como sucede no zonamento climático, é preciso distinguir dois períodos: o de inverno (aquecimento) e o de verão (arrefecimento). É a leitura da publicação do INMG/LNEC intitulada “Temperaturas Exteriores de Projeto Números de Graus-Dias” que permite analisar as temperaturas exteriores de projeto.

No inverno, determina-se o balanço térmico sem ter em conta os ganhos solares e internos. Assim, quanto menor for a probabilidade de ocorrência, mais exigentes serão as condições exteriores consideradas. No presente caso, visto que se trata de um edifício de “comércio e serviços”, considerou-se a probabilidade acumulada de 2,5 %.

As condições exteriores de referência para o projeto consideradas são:

Inverno:

Temperatura de Bolbo Seco	4,4 °C
Humidade Relativa correspondente	90%

Verão

Temperatura de Bolbo Seco:	31,4 °C
Temperatura de Bolbo Húmido:	21,2 °C
Humidade Relativa correspondente	40,3%

Estes valores serviram apenas como uma primeira referência para consulta das potências térmicas de equipamentos de AVAC, para simulação foi utilizado o ficheiro DDD (*Design Conditions Design Day Data*) de Lisboa.

### 3.7. Condições interiores de projeto

A temperatura de bolbo seco a manter nos espaços poderá variar consoante as exigências dos utilizadores. Para efeitos de dimensionamento dos sistemas considerou-se uma temperatura de bolbo seco de 20 °C para o Inverno e 25 °C para o Verão e humidade relativa de 50%.

### 3.8. Ganhos internos

Os ganhos internos dizem respeito à ocupação, iluminação e equipamentos elétricos. Quanto à ocupação, o número de ocupantes por espaço foi retirado do projeto de arquitetura. A taxa de metabolismo para atividade sedentária (escritórios/gabinetes) é de 1,2 met, e para atividade de descanso (sala de espera) é de 1 met, sendo que 1 met corresponde a 58,15 W/m<sup>2</sup> [20].

Para ganhos de iluminação, foi consultado o estudo luminotécnico, contabilizando e identificando as luminárias a considerar na simulação.

Para ganhos relativos a equipamentos, na ausência de melhor informação, considerou-se 10 W/m<sup>2</sup> nos espaços ocupados que pudessem ter equipamentos elétricos tais como gabinetes, salas de espera, recepção, sala de pessoal. Essa consideração foi realizada tendo em conta as diretrizes do Manual SCE [20].

Os perfis de ocupação, iluminação e equipamentos considerados foram os presentes no Decreto-Lei n.º 79/2006, de 4 de abril para estabelecimentos de saúde sem internamento.

Todos os dados necessários para simulação relativos a ocupação e iluminação (número de ocupantes por espaço, potência das luminárias, perfis) encontram-se no apêndice F.

### 3.9. Elevadores

Os elevadores representam parte do consumo anual de um edifício e, no caso em estudo, existem três elevadores. O consumo anual de cada elevador ( $E_{a,asc}$ ) foi determinado através do produto do consumo de energia diário ( $E_{d,asc}$ ) pelo número de dias de funcionamento por ano ( $d_{a,asc}$ ) como demonstrado na equação (7).

$$E_{a,asc} = \frac{E_{d,asc} \cdot d_{a,asc}}{1000} \quad (7)$$

A quantificação de  $E_{d,asc}$  foi efetuada em função da classe energética, obtida da ficha técnica como sendo A, sendo a equação (8) a que se adequa a esta classe.

$$E_{d,asc} = 0,72 \cdot Q_{asc} \cdot n_a \cdot \frac{S_m}{1000} + 50 \cdot t_{ist} \quad (8)$$

onde  $n_a$  corresponde ao número de viagens por dia, que, por se tratar de um estabelecimento de saúde sem internamento e GES (Grande Edifício de Serviços) – categoria de uso 4; corresponde a 750 viagens por dia.  $Q_{asc}$  corresponde a carga nominal que para todos os elevadores trata-se de uma carga de 675 kg.  $S_m$  é a distância média de viagem, obtida de acordo com a equação (9).

$$s_m = \frac{p}{100} \cdot l_m \quad (9)$$

O rácio entre a distância média e a distância máxima ( $p$ ) é 67% para o caso de estudo que, para além de ser de categoria de uso 4, tem 3 pisos a serem servidos.

$l_m$  é a distância máxima de viagem, as cotas para determinar este valor devem ter como ponto de referência o piso, conforme se pode observar na Figura 26.

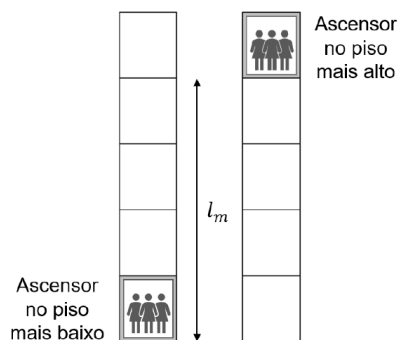


Figura 26 - Distância máxima de viagem do elevador [20]

O consumo de cada elevador será de 1087,443 kWh/ano, totalizando um total de 3262,329 kWh/ano. Este cálculo foi necessário para ser incluído nos consumos totais, de forma a determinar a classe energética do edifício.

### 3.10. Ventilação

Para a obtenção de uma adequada qualidade de ar interior (QAI), os edifícios necessitam de requisitos mínimos de ar novo. Para os de comércio e serviços, o caudal de ar novo ( $Q_{AN}$ ) tem de ser igual ao superior ao caudal de ar novo mínimo ( $Q_{AN,min}$ ), o qual é determinado em função de dois critérios: o de ocupação e o do edifício. É considerado o valor mínimo o critério que for superior, o qual é posteriormente corrigido pela eficácia de remoção de poluentes ( $\varepsilon_v$ ). Então o caudal de ar novo mínimo em espaços dotados de ventilação mecânica ( $Q_{ANF}$ ) é determinado de acordo com a equação (10).

$$Q_{ANF} = \frac{Q_{AN,min}}{\varepsilon_v} \quad (10)$$

$\varepsilon_v$  depende da configuração da distribuição de ar na zona. No edifício em estudo, o ar insuflou-se pelo teto, pelo menos 8 °C acima da temperatura local. Da mesma forma, a extração foi realizada pelo teto, correspondendo a uma eficácia de 0,8 [20].

Para verificar o caudal de ar novo necessário pelo critério de ocupação, optou-se pelo método prescritivo, no qual se multiplica o número de ocupantes ( $n$ ) do espaço pelo caudal de ar novo por ocupante ( $Q_{AN,Mmet}$ ).

O  $Q_{AN,Mmet}$  para escritórios/gabinetes corresponde a 24 m<sup>3</sup>/(h.ocupante) e, para salas de espera, corresponde a 20 m<sup>3</sup>/(h.ocupante) [20].

Para verificar o caudal de ar novo necessário pelo critério do edifício, é preciso saber a área do espaço e multiplicar pelo caudal mínimo por m<sup>2</sup>. Sendo o edifício em estudo um sem atividades que envolvam a emissão de poluentes específicos, este valor corresponde a 3 m<sup>3</sup>/(h.m<sup>2</sup>).

Devido ao facto de o caso de estudo ser uma unidade de saúde familiar (USF), seguiu-se ainda as "Orientações para instalações e equipamentos para Unidades de Saúde Familiar" da Direção-Geral das Instalações e Equipamentos da Saúde (DGIES), onde é indicado um mínimo de 30 m<sup>3</sup>/(h. pessoa) e um mínimo de 1 RPH.

Em suma, pelo Decreto-Lei 101/2020 foi verificado qual critério (o de ocupação ou do edifício) implicava o maior caudal de ar novo, afetando o valor pela eficácia de remoção de poluentes.

Calculou-se o valor indicado pelo Ministério da Saúde e, sempre que este fosse superior ao calculado pelo Decreto-lei 101/2020, considerou-se como o mínimo necessário, sendo o caudal de projeto sempre ligeiramente superior. O cálculo detalhado pode ser observado no apêndice G.

As instalações sanitárias em edifícios de comércio e serviços também estão sujeitas ao cumprimento de caudais mínimos de extração ( $Q_{ext\ min}$ ), de acordo com Tabela 11.

Tabela 11 - Caudais mínimos de extração de ar [20]

Tipo de Espaço	Sistema de Extração	$Q_{ext\ min}$ (m <sup>3</sup> /h)
Instalação sanitária Privada (1)	Com funcionamento contínuo (3)	Máx (45; 10 x A <sub>espaço</sub> )
	Sem funcionamento contínuo	Máx (90; 10 x A <sub>espaço</sub> )
Instalação sanitária Pública (2)	Funcionamento normal (4)	Máx (90 x (n <sup>o</sup> urinóis+n <sup>o</sup> sanitas+n <sup>o</sup> duches);10 x A <sub>espaço</sub> )
	Funcionamento intensivo (5)	Máx (125 x (n <sup>o</sup> urinóis+n <sup>o</sup> sanitas+n <sup>o</sup> duches);10 x A <sub>espaço</sub> )

(1) Espaço ocupado apenas por uma pessoa em cada utilização

(2) Espaço ocupado por várias pessoas em simultâneo, incluindo balneários e similares

(3) O sistema de ventilação com um horário de funcionamento, no mínimo, igual ao do espaço que a instalação sanitária serve

(4) O sistema afeto a espaços que não se caracterizam por um funcionamento intensivo

(5) O sistema afeto a espaços com probabilidade de elevada taxa de ocupação, designadamente, instalações sanitárias ou balneários em teatros, cinemas, escolas, instalações desportivas ou similares.

As “Orientações para instalações e equipamentos para Unidades de Saúde Familiar”, já mencionadas, também indicam que instalações sanitárias e salas de sujos devem ter um mínimo de 10 RPH. No apêndice H encontra-se o cálculo do caudal mínimo de extração e indica-se o caudal de projeto.

### 3.11. Necessidades de AQS

As necessidades nominais anuais de energia para preparação de Água Quente Sanitária (AQS) ( $Q_{AQS}$ ) calculam-se em função do consumo anual de AQS ( $C_{AQS}$ ) e do aumento de temperatura necessário face à temperatura da água da rede ( $\Delta T$ ) como mostrado na equação (11).

$$Q_{AQS} = (C_{AQS} \cdot 4,187 \cdot \Delta T) / 3600 \quad (11)$$

O edifício possui uma bomba de calor para AQS, por isso, estimou-se que haveria 10 banhos por dia com um consumo de 50 litros por banho, ou seja um consumo anual total ( $C_{AQS}$ ) de 182500 litros, considerando um  $\Delta T = 45^\circ\text{C}$ , chegando ao valor de  $Q_{AQS} = 9552\text{ kWh}$ .

### 3.12. Energia Renovável – Sistema Solar Fotovoltaico

Para o edifício está previsto a instalação de 100 painéis fotovoltaicos do modelo LONGI LR6-72HPH-375M, com potência individual de 375 W. Apesar de o *OpenStudio* permitir a simulação de sistemas fotovoltaicos, é necessário utilizar a folha de cálculo SCE.ER da DGEG para emissão de PCE e, para

obter a eficiência energética do edifício para os diversos sistemas de AVAC, utilizou-se a folha já mencionada. Os parâmetros do painel foram retirados da ficha técnica, ajustando o consumo conforme cada sistema de AVAC. No apêndice I apresenta-se os resultados obtidos para as várias soluções de AVAC.

### 3.13. Simulação térmica dinâmica

Antes de começar a simular no *OpenStudio*, foi necessário determinar áreas e pé-direito no *AutoCAD*, isto porque o *EnergyPlus* (que está por detrás do *OpenStudio*) não atribui espessura aos elementos da envolvente. Apesar de esses dados serem introduzidos, são apenas usados para o cálculo do coeficiente de transmissão térmica, então, torna-se importante saber a área real do edifício, a qual é de 2412,09 m<sup>2</sup>. A área do modelo simulado é de 2551,33 m<sup>2</sup>, o que equivale a um erro de 5,77 %. Considerou-se este valor um erro aceitável por se tratar de um edifício de grande dimensão e por se ter em conta que a geometria é sempre alvo de simplificações que não afetam o consumo final do edifício.

Além daquilo, outros pressupostos tiveram de ser tomados. Os equipamentos e até as cargas internas necessitam de perfis (de ocupação, iluminação e equipamentos) e horários de funcionamento, os quais foram considerados, como referido no capítulo 3.8, pelos presentes no Decreto-Lei n.º 79/2006, de 4 de abril para estabelecimentos de saúde sem internamento. Quanto à questão horária, ao fim de semana, o edifício apenas terá em funcionamento as unidades de expansão direta associadas a espaços como o bastidor e material farmacêutico, os ventiladores de extração e a iluminação exterior. Neste caso e durante a noite foi considerada uma ligeira infiltração de 0,1 RPH, uma vez que os sistemas de ar novo não estariam em funcionamento. À semana, sempre que haja ocupação, de acordo com o perfil já mencionado, o sistema completo de AVAC estará em funcionamento.

#### 3.13.1. Modelo geométrico do Edifício

Com as plantas, procedeu-se à construção do modelo geométrico 3D no *SketchUp*, *software* que interliga com o *OpenStudio* através de um plug-in deste, ou seja, transforma meros objetos geométricos em material que o *OpenStudio* consegue ler e interpretar como um edifício. É ainda possível no *SketchUp* definir condições fronteira, indicar em cada elemento se está em contacto com o interior, exterior ou solo.

No *SketchUp* é possível observar o edifício com diferentes tipos de filtro, por exemplo, por tipo de superfície (Parede, Cobertura, Vidro, Sombreamento), como se pode observar na Figura 27, ou por tipo de condição fronteira (em contacto com o exterior, com o interior, com o solo) como mostrado na Figura 28.

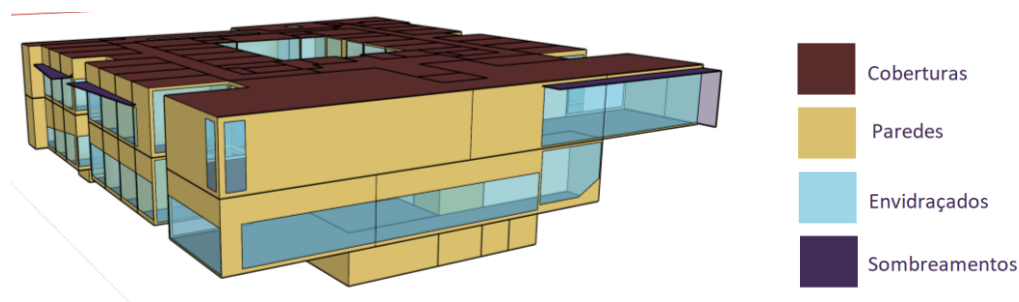


Figura 27 - Tipos de superfícies do edifício no SketchUp

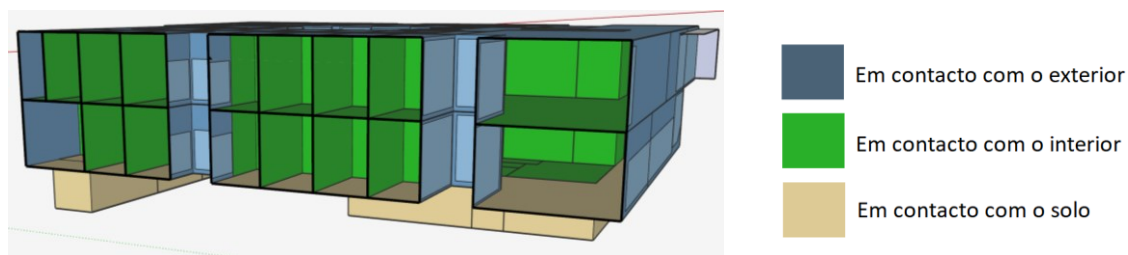


Figura 28 - Tipos de condição fronteira do edifício no SketchUp (vista em corte)

Este tipo de análise mostrou-se bastante útil para verificação da correta definição de condições fronteira e tipos de superfície.

Foram ainda definidas no *SketchUp* as zonas térmicas, as quais diferem dos espaços. Um espaço é meramente um volume do edifício que tem uma fronteira física. Por seu turno, uma zona térmica é um volume do edifício que é caracterizado pela envolvente, cargas e horários. Com efeito um espaço poderá ter várias zonas térmicas e uma zona térmica pode ter um ou mais espaços. Neste caso, optou-se por considerar que cada espaço corresponderia a uma zona térmica.

### 3.13.2. Envolvente

Já a utilizar o *OpenStudio*, com a geometria modelada, é preciso definir tudo o que compõe o edifício. Inicialmente, introduziram-se os dados climáticos no menu *Site*, conforme demonstra a Figura 29.

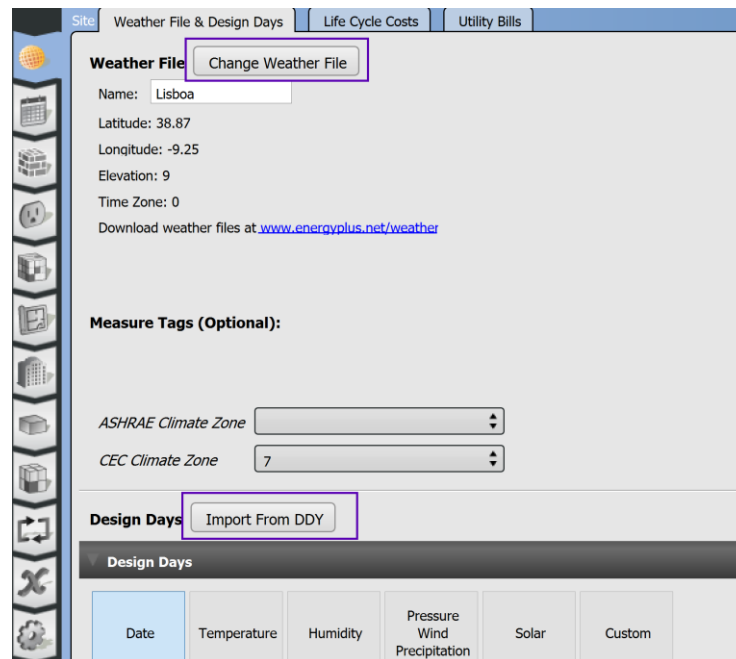


Figura 29 - Introdução de dados climáticos

Passando às soluções construtivas, no menu *Constructions* criaram-se todos os materiais com as respetivas propriedades. A partir dos diversos materiais, fizeram-se as várias soluções construtivas. A título de exemplo, demonstra-se na Figura 30 o material gesso cartonado e, na Figura 31, a construção da solução CBE 1.

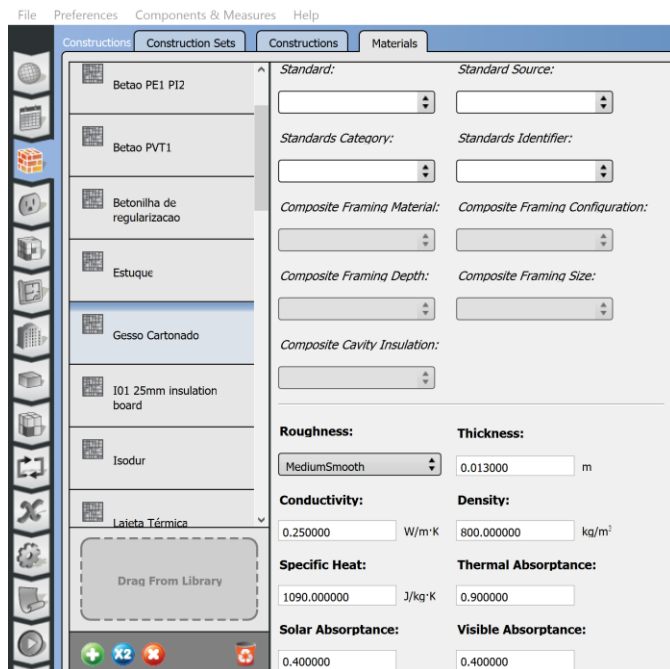


Figura 30 - Criação de material - Gesso cartonado

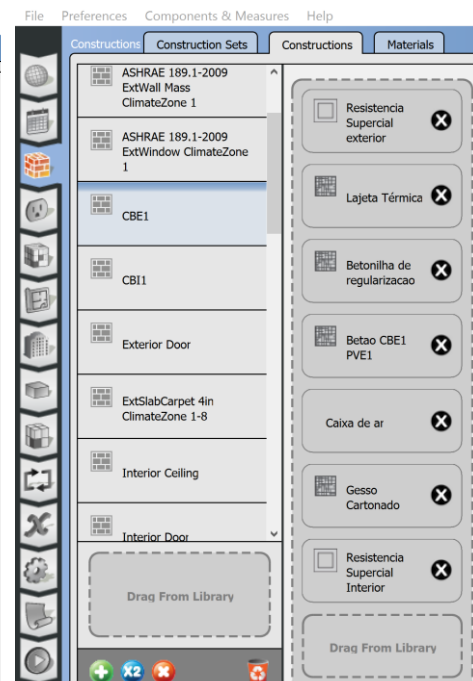


Figura 31 - Criação de construção - CBE 1

Para a envolvente envidraçada, foi também necessário introduzir o valor do coeficiente de transmissão térmica e o fator solar, com o tipo material *Simple Glazing*, processo ilustrado pela Figura 32.

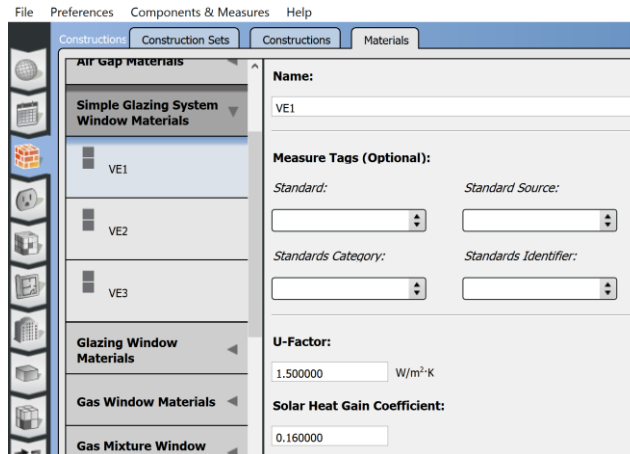


Figura 32 - Criação de envoltiva envidraçada - VE 1

### 3.13.3. Ganhos Internos

#### Iluminação

Para caracterizar a iluminação, além da potência de cada luminária, retirada do estudo luminotécnico, foi necessário definir os parâmetros de *fraction radiant* e *fraction visible*, que foram obtidos a partir da ficha técnica de cada luminária. A Figura 33 ilustra este processo.

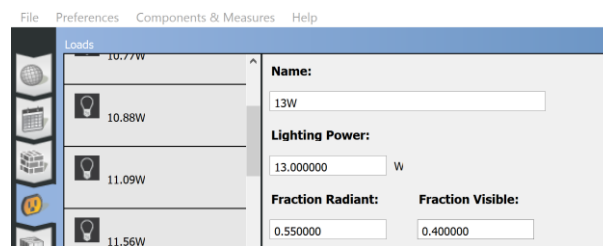


Figura 33 - Definição de luminária interior

Foi também considerado iluminação exterior, num total de 420 W, que, não afetando o balanço energético do edifício, contribui para o consumo. A Figura 34 mostra a introdução deste parâmetro.

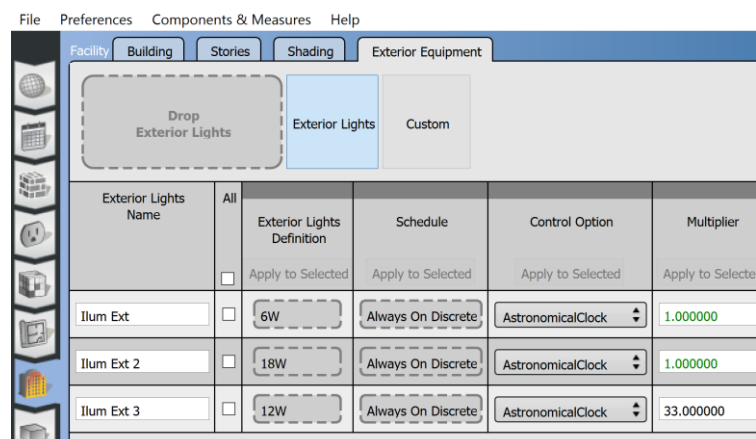


Figura 34 – Definição da iluminação exterior

#### Ocupação

Para definição da ocupação, usou-se um ocupante típico com fração radiante de 0,3, taxa de geração de carbono de 0,000038 L/s.W, como se mostra na Figura 35 . Este ocupante, mais à frente, é introduzido na quantidade certa em cada espaço.

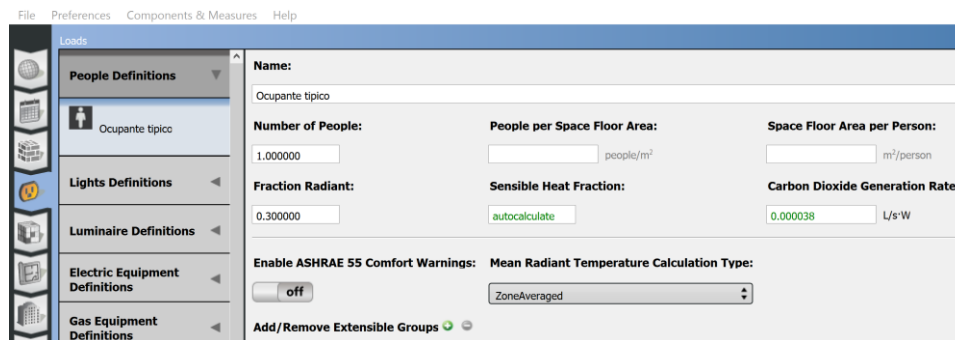


Figura 35 - Definição do ocupante típico

Para contabilizar o ganho de calor devido à ocupação, definiu-se um *Schedule* para atividade de 1 met e 1,2 met. Considerando que 1 met = 58,15 W/m<sup>2</sup> e 1,81 m<sup>2</sup> corresponde a uma área típica de superfície do corpo (para 70 kg de peso e 1,70 m de altura), obtém-se os valores de 105,25 W/pessoa (1 met) e 126,30 W/pessoa (1,2 met). Como referido no capítulo 3.8.

Na Figura 36 exemplifica-se o *schedule* criado para os espaços em que a atividade metabólica é de 1,2 met.

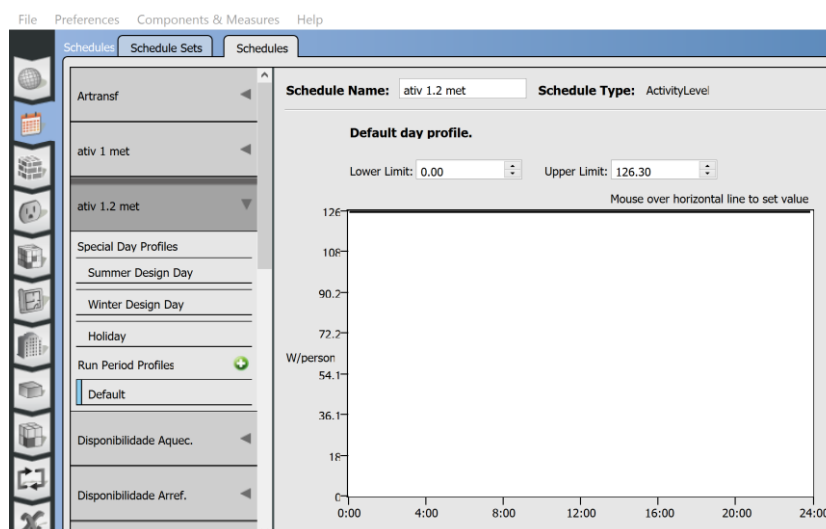


Figura 36 - Definição de Schedule para contabilização do calor ganho devido à ocupação

### Equipamentos Elétricos

Como referido no capítulo 3.8. foi considerada uma potência de 10 W/m<sup>2</sup> nos espaços onde poderá haver equipamentos elétricos conforme mostrado na Figura 37.

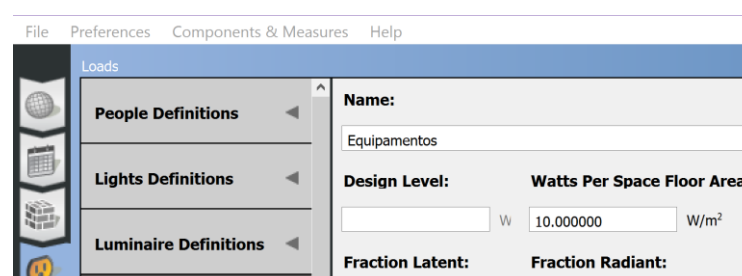


Figura 37 – Definição da carga de equipamentos elétricos

Nesta fase, já com os ganhos internos definidos, foi necessário atribuir a cada espaço a carga, a quantidade (número de ocupantes, número de luminárias) e o respetivo perfil-horário. Na carga de ocupação, é ainda necessário atribuir o perfil que quantifica a atividade metabólica. Todos os perfis considerados encontram-se detalhados no apêndice F. A Figura 38 exemplifica estes processos através do espaço 1.

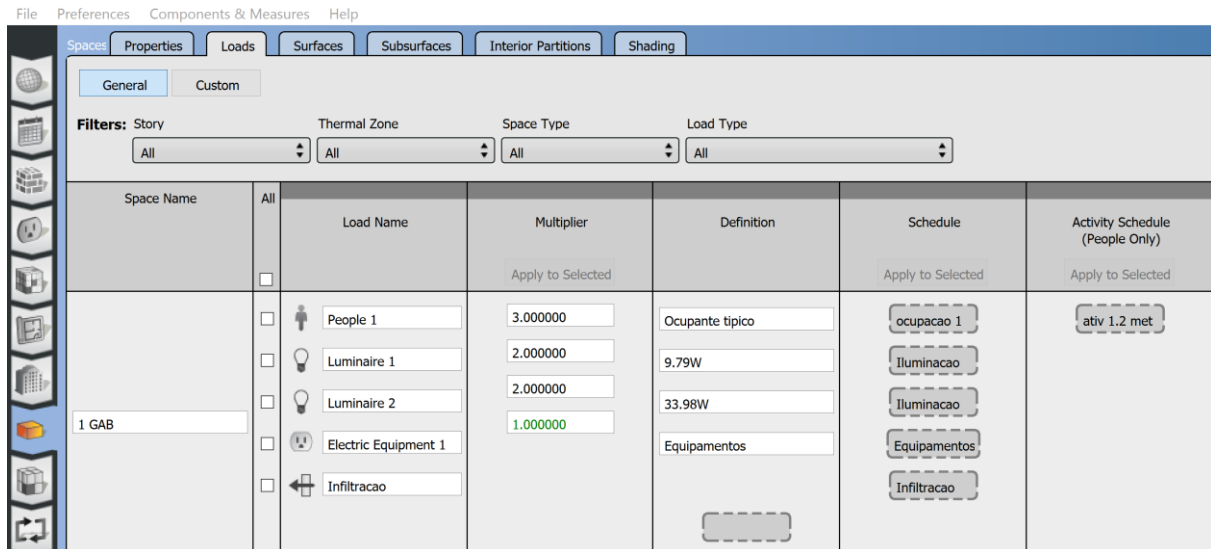


Figura 38 - Atribuição das cargas ao espaço 1

### 3.13.4. Cargas Térmicas

Após aqueles passos, procedeu-se à determinação das cargas térmicas, as quais traduzem o calor sensível e latente a fornecer ou retirar do espaço para mantê-lo em condições de conforto, para posterior dimensionamento dos sistemas de climatização. Para a carga de aquecimento, o balanço das perdas de calor é realizado em regime estacionário para as condições mais desfavoráveis de temperatura exterior, sem contabilizar eventuais ganhos solares e sem contabilizar os ganhos internos. Sendo, então, simplesmente o somatório perdas de calor pela envolvente e pela ventilação. Para a carga de arrefecimento a lógica de considerar a situação mais desfavorável mantém-se, logo, já se considera ganhos por radiação solar e ganhos internos.

O *OpenStudio* permite definir um objeto denominado *Ideal Loads Air System*, o qual possibilita determinar o comportamento do edifício e, assim, definir as cargas térmicas. O *software* considera que existe uma capacidade infinita para garantir as condições requeridas e determina a capacidade deste sistema ideal para o edifício. Sem colocar o caudal de ar novo, esta simulação permitiu apenas determinar a carga relativa à envolvente e aos ganhos internos e solares (estes dois últimos no caso de arrefecimento).

Para determinar a carga de ventilação ( $CT_{Vent}$ ) para aquecimento, utilizou-se a equação (12), onde  $\dot{m}_{ar\ novo}$  corresponde ao caudal mássico de ar novo,  $cp_{ar}$  é o calor específico do ar e  $\Delta T$  a variação de temperatura. Considerou-se a temperatura exterior de projeto de 4,4 °C e a temperatura interior de conforto 20 °C.

$$CT_{Vent} = \dot{m}_{ar\ novo} \cdot cp_{ar} \cdot \Delta T \quad (12)$$

O calor necessário para aquecer a massa de água contida no ar húmido é muito reduzido, pelo que é desprezado, considerando-se apenas o ar seco no cálculo. Considerou-se ainda que, na gama de

temperaturas em que operam os processos de climatização (-10 °C a 50 °C), o ar seco pode ser tratado como um gás perfeito, apresentando um valor de calor específico constante igual a 1,005 kJ/(kg.°C). A massa volúmica ( $\rho_{ar}$ ) foi determinada através da equação (13), sendo a constante de gás para o ar ( $R_{ar}$ ) igual a 287,05 J/(kg.°K).

$$\rho_{ar} = \frac{p}{R_{ar} \cdot T} \quad (13)$$

Obteve-se no inverno  $\rho_{ar}$  igual a 1,272 kg/m<sup>3</sup> e no verão 1,159 kg/m<sup>3</sup>.

Já para o arrefecimento, a carga de ventilação foi determinada de acordo com a equação (14). Onde  $\Delta h$  corresponde à variação de entalpia, para o ar exterior determinou-se uma entalpia de 60,9 kJ/kg e para o ar interior 50,3 kJ/kg a partir do diagrama psicométrico.

$$CT_{Vent} = \dot{m}_{ar\ novo} \cdot \Delta h \quad (14)$$

No apêndice J encontram-se os valores calculados espaço a espaço para os locais a climatizar. Obteve-se um total de 200,8 kW para a carga de arrefecimento, que corresponde a 91,27 W/m<sup>2</sup>, e para aquecimento um total de 156,02 kW, que corresponde a 70,92 W/m<sup>2</sup>.

### 3.13.5. Sistemas de AVAC

De forma a facilitar a interpretação da informação que será apresentada de seguida, encontram-se no anexo A, as peças desenhadas do projeto de AVAC, que corresponde ao sistema 1 do presente estudo. Os elementos comuns em todas as simulações, como as unidades de ventilação e *splits* necessários para arrefecimento, assim como a numeração atribuída aos espaços, podem ser observados no anexo mencionado.

#### **Splits – Bastidor/Armazenamento farmacêutico**

Começando pelos elementos mantidos iguais em todas as simulações, para as salas de armazenamento de material farmacêutico e bastidor optou-se por *splits* para funcionar em modo de arrefecimento. No interior, previu-se unidades do tipo mural, enquanto para o exterior as unidades serão instaladas na cobertura. As unidades em projeto são de funcionamento reversível, contudo, só operarão para o ciclo de arrefecimento. Como marca de referência, indicou-se em fase de projeto a marca Daikin, ou equivalente, com as características presentes na Tabela 12.

Tabela 12 - Unidades de Produção de Energia - Splits

Designação	Local	Equipamento	SEER	Potência Arrefecimento (kW)	Potência Aquecimento (kW)	Potência Elétrica (kW)
UE 06	Farmácia	RZAG35A/FTXM	7,7	3,5	N/A	0,80
UE 07	Bastidor	RZAG50A/FTXM	7,76	5,0	N/A	1,25
UE 08	Farmácia	RZAG35A/FTXM	7,7	3,5	N/A	0,80

No *OpenStudio*, os sistemas de expansão direta do tipo *split* são considerados equipamentos terminais e, por isso, introduzem-se na própria zona térmica. O objeto é denominado de PTHP

(*Packaged Terminal Heat Pump*). Introduzido o objeto na zona, preencheram-se os valores da potência de arrefecimento e eficiência. Note-se que todos os espaços dotados de climatização necessitam da definição da temperatura interior pretendida (*Setpoints de temperatura*). Na Figura 39 demonstra-se como exemplo a UE 07.

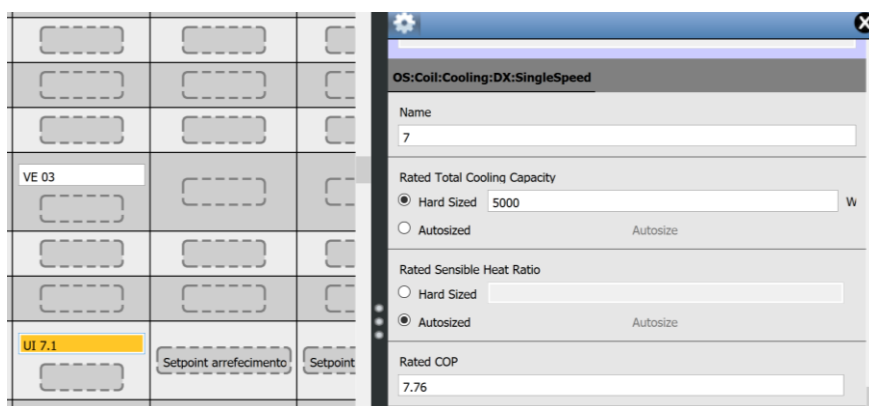


Figura 39 - Introdução de sistema split no bastidor

### Unidades de Ventilação com Recuperação de Calor

Outro ponto em comum entre todas as simulações foi a ventilação. Para renovação do ar dos gabinetes e salas de espera preconizou-se unidades de ventilação com recuperação de calor do tipo AR/AR, dotadas de dois circuitos de ar, módulo de recuperação de calor – fluxos cruzados, possibilitando a transferência de calor do ar de rejeição para o ar novo de insuflação. Como marca de referência em fase de projeto, indicou-se a marca France Air, ou equivalente. Na Tabela 13 encontram-se as características destes equipamentos.

Tabela 13 - Unidades de ventilação com recuperação de calor

Designação	Equipamento	Pressão Estática (Pa)	Insuflação (m <sup>3</sup> /h)	Exaustão (m <sup>3</sup> /h)	Eficiência Recuperação (%)	Potência Elétrica [kW]
UVRC 01	Power Box 95 BC-2000	250	1740	1230	80	0,80
UVRC 02	Power Box 95 BC-4500	230	2590	2060	80	1,70
UVRC 03	Power Box 95 BC-4500	170	2780	2030	80	1,85
UVRC 04	Power Box 95 BC-2000	110	1740	1180	80	0,80
UVRC 05	Power Box 95 BC-2000	170	1820	1420	80	1,00

Para modelar estas unidades no *OpenStudio*, criaram-se vários *air loops* no separador *HVAC Systems* com dois ventiladores (um de insuflação e outro de extração), um recuperador de calor, e associaram-se todas as zonas térmicas conforme demonstrado na Figura 40.

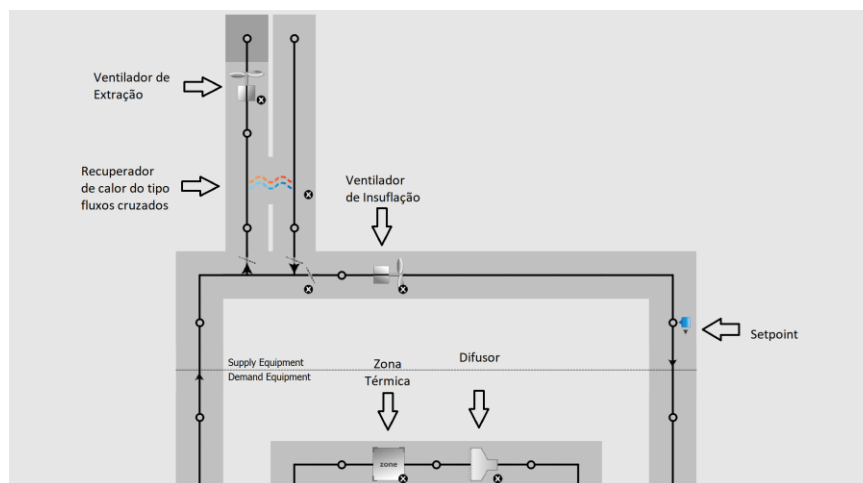


Figura 40 - Air Loop tipo para modelação de UVRC

Para cada ventilador foi necessário definir a eficiência, a pressão estática e o caudal total de insuflação/extração. No recuperador, foi essencial definir a eficiência térmica e o tipo de recuperador. Já o difusor foi definido pelo caudal de ar novo a insuflar em cada zona. Na Figura 41 demonstra-se alguns exemplos de inserção destes dados tendo em conta os equipamentos e caudais definidos em projeto de AVAC.

**OS:Fan:ConstantVolume**

Name  
Fan Constant Volume 2

Fan Total Efficiency  
0.19

Pressure Rise  
230 Pa

Maximum Flow Rate  
 Hard Sized 0.719 m<sup>3</sup>/s  
 Autosize Autosize

Motor Efficiency  
0.9

Motor In Airstream Fraction  
1.0

End-Use Subcategory  
UVRCs

a)

**OS:HeatExchanger:AirToAir:SensibleAn**

Name  
Air-to-Air Plate HX 1

Nominal Supply Air Flow Rate  
 Hard Sized  
 Autosize Autosize

Sensible Effectiveness at 100% Heating Air  
0.8

Latent Effectiveness at 100% Heating Air Fl  
0.68

Sensible Effectiveness at 75% Heating Air F  
0.81

Latent Effectiveness at 75% Heating Air Flo  
0.73

Sensible Effectiveness at 100% Cooling Air  
0.76

Latent Effectiveness at 100% Cooling Air Fl  
0.68

b)

**OS:AirTerminal:SingleDuct:ConstantVolun**

Name  
Air Terminal Single Duct Constant Volume No

Maximum Air Flow Rate  
 Hard Sized 0.025  
 Autosize Autosize

c)

Figura 41 - Exemplo inserção de dados em air loop: a) Ventilador b) Recuperador de calor c) Difusor

### Ventiladores de Extração

As salas de sujos e instalações sanitárias foram dotadas de ventiladores de extração do tipo caixa para instalação no exterior, como marca de referência em fase de projeto indicou-se a France Air, ou equivalente com as características indicadas na Tabela 14.

Tabela 14 - Ventiladores de extração

Designação	Espaço	Equipamento	Caudal (m <sup>3</sup> /h)	Pressão Estática (Pa)	Potência Elétrica (kW)
VE 01	Cobertura - Geral	Silens'air ECM - 200	400	90	0,08
VE 02	Cobertura - Geral	Silens'air ECM - 125	300	90	0,04
VE 03	Cobertura - Geral	Silens'air ECM - 125	170	80	0,04
VE 04	Cobertura - Geral	Silens'air ECM - 200	60	80	0,01
VE 05	Cobertura - Geral	Silens'air ECM - 200	440	80	0,08
VEIS 01	Cobertura - IS	Silens'air ECM - 250	1040	150	0,10
VEIS 02	Cobertura - IS	Rectilys II ECM 2700	2210	150	0,30

No *OpenStudio*, estes ventiladores foram inseridos como equipamentos terminais. Em cada zona inseriu-se um equipamento com as características do definido em projeto, mas com o caudal de cada zona. Os dados inseridos foram a perda de carga e a eficiência total, conforme demonstrado na Figura 42.

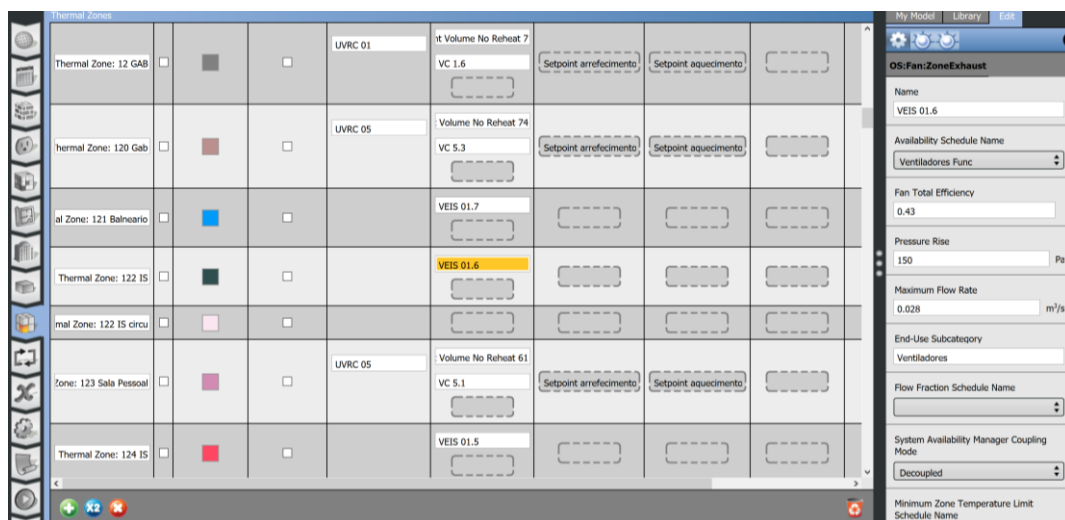


Figura 42 - Introdução de ventiladores de extração

Para considerar a transferência de ar de espaços adjacentes para espaços que apenas contêm extração é necessário aplicar uma *measure* de forma a simular o balanço dos caudais. *Measures* são basicamente *scripts* que permitem ao utilizador alterar algo no modelo. A *measure* utilizada, cujo nome é *Add zone mixing object*, permite identificar o espaço com exaustão e o espaço adjacente, assim como o caudal de ar a ser transferido. No espaço adjacente foi necessário criar um ventilador de extração fictício que não possuirá qualquer tipo de consumo. Adicionaram-se diversas *measures* destas para contemplar todas as extrações e transferências de ar. Na Figura 43 mostra-se, a título de exemplo, a *measure* aplicada a uma instalação sanitária cujo ar seria transferido da zona de circulação adjacente.

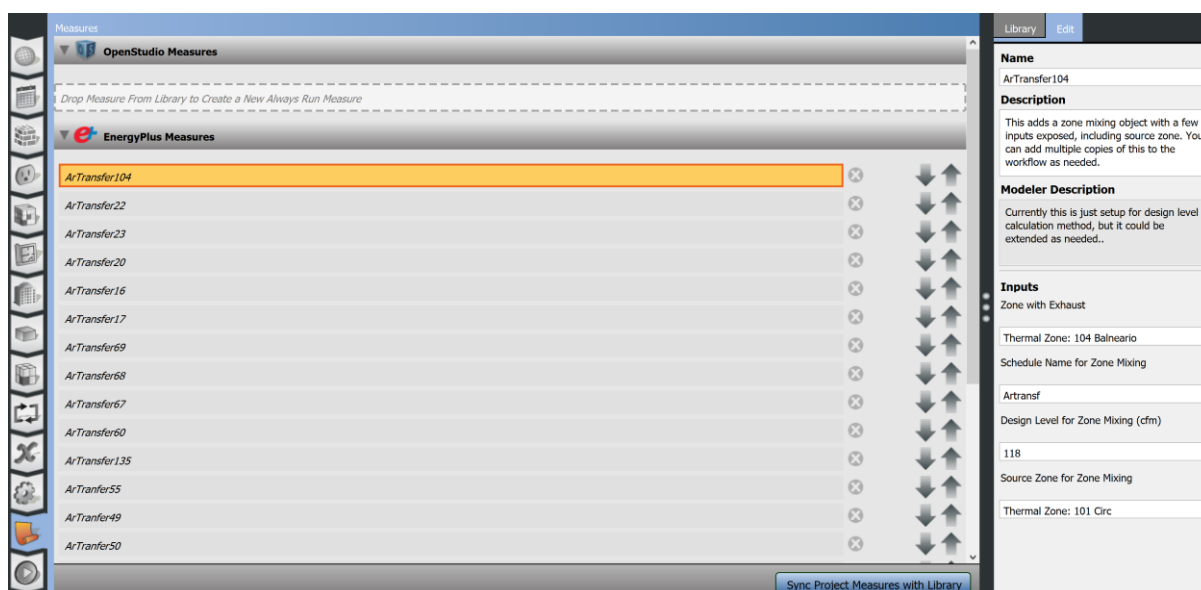


Figura 43 - Exemplo de measure para balanço de caudais

### Sistemas produção energia para aquecimento e arrefecimento

Passando agora aos equipamentos que dão significado a este estudo, os diferentes sistemas considerados foram:

- Sistema 1: VRV 2 tubos
- Sistema 2: VRV 3 tubos
- Sistema 3: *Chiller*/Bomba de Calor 2 tubos
- Sistema 4: *Chiller*/Bomba de Calor 4 tubos

O funcionamento destes encontra-se já detalhado no capítulo 2.3, por isso, apenas se indica em seguida os equipamentos e o procedimento para modelação dos mesmos.

#### Sistema 1 – VRV 2 tubos (sem recuperação de calor)

Este sistema corresponde ao projeto real de AVAC implementado. As unidades interiores consideradas foram do tipo cassette de 4 vias. Como marca de referência em fase de projeto indicou-se a Daikin, ou equivalente, tendo-se preconizado a instalação de cinco unidades exteriores com as características indicadas na Tabela 15.

Tabela 15 - Sistema 1: Unidades Exteriores

Designação	Local	Equipamento	SEER/SCOP (-)	Potência Arrefecimento (kW)	Potência Aquecimento (kW)	Potência Elétrica (kW)
UE01	Piso -1	RXYQ14T	5,7/3,5	40	45	11,0
UE02	Piso 0	RXYQ16T	5,5/3,5	45	50	13,0
UE03	Piso 0	RXYQ18T	5,5/3,8	50	56	14,5
UE04	Piso 1	RXYQ12T	5,5/4	33,5	37,5	10,0
UE05	Piso 1	RXYQ18T	5,5/3,8	50	56	14,5

Para cada espaço selecionou-se o modelo de acordo com a carga térmica. A Tabela 16 demonstra os diferentes modelos de acordo com a seleção, ilustrando as suas características principais.

Tabela 16 - Sistema 1: Unidades Interiores

Designação	Equipamento	Caudal Ar (m <sup>3</sup> /h)	Potência Arrefecimento (kW)	Potência Aquecimento (kW)	Potência Elétrica (kW)
UI Tipo 1	FXFQ20A	750	2,2	2,5	0,038
UI Tipo 2	FXFQ25A	750	2,8	3,2	0,038
UI Tipo 3	FXFQ50A	900	5,6	6,3	0,053
UI Tipo 4	FXFQ40A	900	4,5	5,0	0,045
UI Tipo 5	FXFQ32A	750	3,6	4,0	0,038
UI Tipo 6	FXFQ63A	990	7,1	8,0	0,061

No *OpenStudio* os sistemas VRV modelam-se no separador *HVAC Systems*, sendo necessário criar um sistema por cada unidade exterior. Em cada sistema são inseridas as diversas unidades interiores que estão ligadas a uma zona térmica. É possível inserir mais do que uma vez a mesma zona térmica se esta possuir mais do que uma unidade interior, como de facto ocorreu no caso em estudo nas grandes salas de espera. Na Figura 44 é possível constatar a criação das cinco unidades exteriores com as respetivas unidades interiores e zonas térmicas associadas.

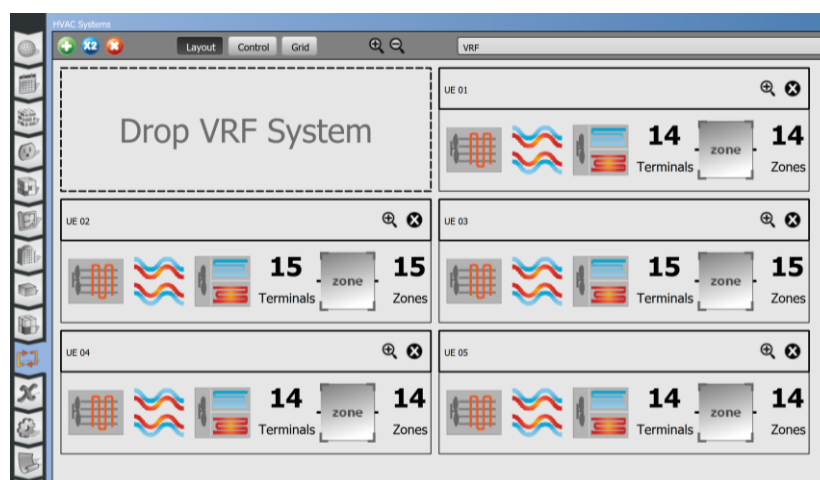


Figura 44 – Sistema 1: Modelação Sistemas VRV

Os dados essenciais para a simulação se aproximar o mais possível da realidade, são as potências térmicas e as eficiências. Na Figura 45 mostra-se a inserção dos dados da unidade exterior 01.

Name	UE 01
Availability Schedule	Disponibilidade AVAC
Gross Rated Total Cooling Capacity	<input checked="" type="radio"/> Hard Sized 40000 <input type="radio"/> Autosized Autosize
Gross Rated Cooling COP	5.7
Gross Rated Heating Capacity	<input checked="" type="radio"/> Hard Sized 45000 <input type="radio"/> Autosized Autosize
Rated Heating Capacity Sizing Ratio	1
Rated Heating COP	3.5

b)

a)

Figura 45 - Sistema 1: Exemplo de inserção dos dados de arrefecimento a) e aquecimento b) em unidade exterior VRV

Já nas unidades interiores, além da potência térmica, inseriu-se o caudal de insuflação em m<sup>3</sup>/s. Na Figura 46 mostra-se a inserção dos dados da unidade interior 1.1.

a)

Figura 46 - Sistema 1: Exemplo de inserção dos dados de arrefecimento a) e aquecimento b) em unidade interior VRV

### Sistema 2 – VRV 3 tubos (com recuperação de calor)

Para o sistema VRV 3 tubos previu-se a instalação de apenas três unidades exteriores, pois optou-se por considerar uma por piso. Como este sistema permite aquecer e arrefecer ao mesmo tempo, o facto de o edifício em estudo dispor de espaços em fachadas opostas torna vantajoso a utilização de recuperação de calor para garantir que todos os ocupantes estão em conforto térmico. Utilizou-se como marca de referência a Daikin, ou equivalente. As características das unidades exteriores encontram-se na Tabela 17 - Sistema 2: Unidades Exteriores.

Tabela 17 - Sistema 2: Unidades Exteriores

Designação	Local	Equipamento	SEER/SCOP (-)	Potência Arrefecimento (kW)	Potência Aquecimento (kW)	Potência Elétrica (kW)
UE 01	Piso -1	REYQ14T	6,5/4,3	40,0	45,0	10,7
UE 02	Piso 0	REYQ34T	6,6/4,4	95,4	106,5	28,0
UE 03	Piso 1	REYQ30T	6,7/4,6	83,9	94,0	24,43

As unidades interiores foram consideradas as mesmas do sistema 1. A modelação no *OpenStudio* deste tipo de sistema é em tudo igual ao sistema 1, à exceção de que é necessário ativar a recuperação de calor conforme demonstrado na Figura 47.

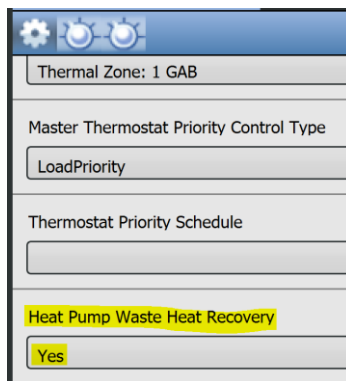


Figura 47 - Sistema 2: Indicação de recuperação de calor no sistema VRV

Note-se, tanto no sistema 1 como no 2, foi necessário definir perfis de funcionamento/disponibilidade. Isto é realizado no separador *Schedules* do *OpenStudio*. A título de exemplo mostra-se na Figura 48 o perfil criado para disponibilidade de AVAC, o qual foi usado nas unidades exteriores de forma a cumprir os pressupostos anteriormente definidos (funcionamento apenas durante a semana e apenas nas horas com ocupação).

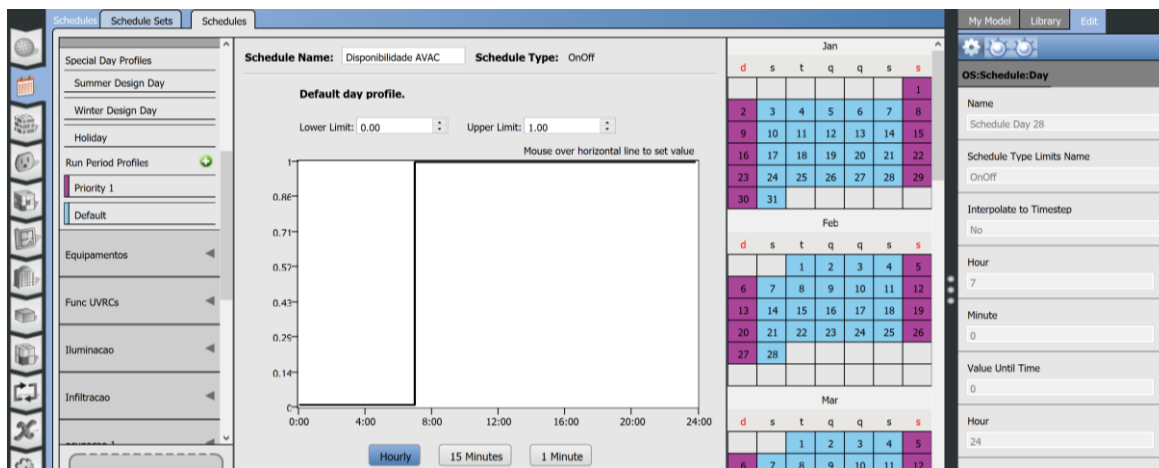


Figura 48 - Exemplo de *Schedule* de disponibilidade de AVAC

Este tipo de perfil é do tipo *On/Off*, no qual 0 indica que está *Off* e 1 indica que está *On*.

### Sistema 3 - *Chiller/Bomba de Calor 2 tubos (sem recuperação de calor)*

Para este sistema preconizou-se a instalação de um *chiller*/bomba de calor do tipo Ar/Água com ventiladores axiais, com compressores herméticos *scroll* e evaporador de placas em aço inox 316 AISI, próprio para montagem no exterior. Como unidades terminais, dimensionou-se ventiloconvetores do tipo para ligação a condutas de média pressão estática. O regime de funcionamento é de 7°C/12°C de verão e 45°C/40°C no inverno. Como marca de referência considerou-se a bluebox da Arfit e um equipamento com as características indicadas na Tabela 18.

Tabela 18 - Sistema 3: *Chiller/Bomba de Calor*

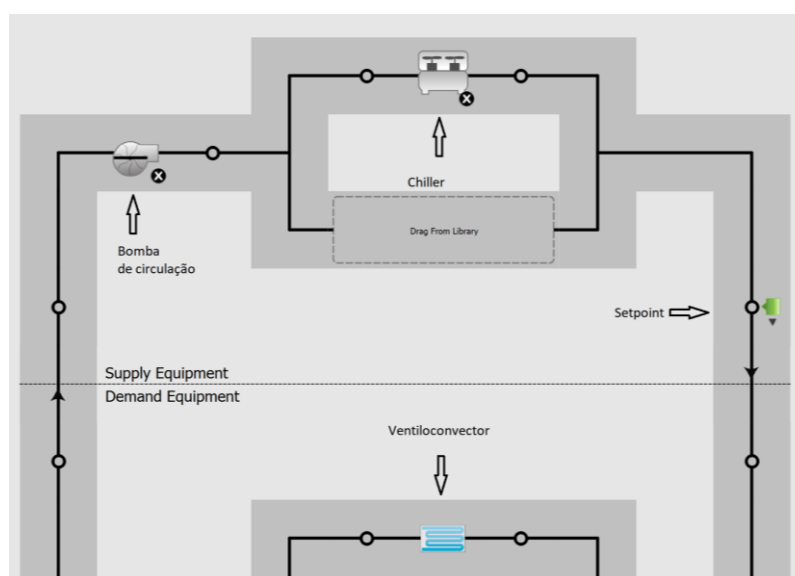
Designação	Local	Equipamento	SEER/SCOP (-)	Potência Arrefecimento (kW)	Potência Aquecimento (kW)	Potência Elétrica (kW)
CH/BC 01	Cobertura	ZETA Rev 24.4	3,8/3,25	233,3	237,80	73,17

Os ventiloconvetores foram escolhidos tendo em conta a carga térmica, demonstrando-se, na Tabela 19, as respetivas características principais. Assim, a opção recaiu pela marca Daikin, ou equivalente.

Tabela 19 - Sistema 3: Ventiloconvetores

Designação	Equipamento	Caudal Ar (m <sup>3</sup> /h)	Potência Arrefecimento (kW)	Caudal de água Arrefecimento (l/h)	Potência Aquecimento (kW)	Caudal de água Aquecimento (l/h)	Potência Elétrica (kW)
VC Tipo 1	FWS02AF	344,00	2,15	378	2,92	514	0,019
VC Tipo 2	FWS06AF	785,00	5,03	885	6,36	1119	0,033
VC Tipo 3	FWS08AF	1393,00	8,82	1552	10,01	1761	0,087
VC Tipo 4	FWS03AF	442,00	4,20	739	5,57	980	0,016

Para modelar este tipo de sistema no *OpenStudio* foi necessário criar, no separador *HVAC Systems*, dois *plant loop* que representam a central de água aquecida e a de água arrefecida, os quais terão como elemento fornecedor de energia a bomba de calor e o *chiller*. Estes, na realidade, são apenas um equipamento, mas, de forma a nunca trabalharem em simultâneo, é necessário no controlo especificar a disponibilidade de aquecimento e arrefecimento em cada um. Na Figura 49 e na Figura 50 representa-se a central de água arrefecida e de água aquecida, respetivamente. De referir que a central foi feita com diversos ventiloconvetores, apesar de nas figuras só se encontrar representado um.

Figura 49 - Sistema 2: *Plant Loop* - Água Arrefecida

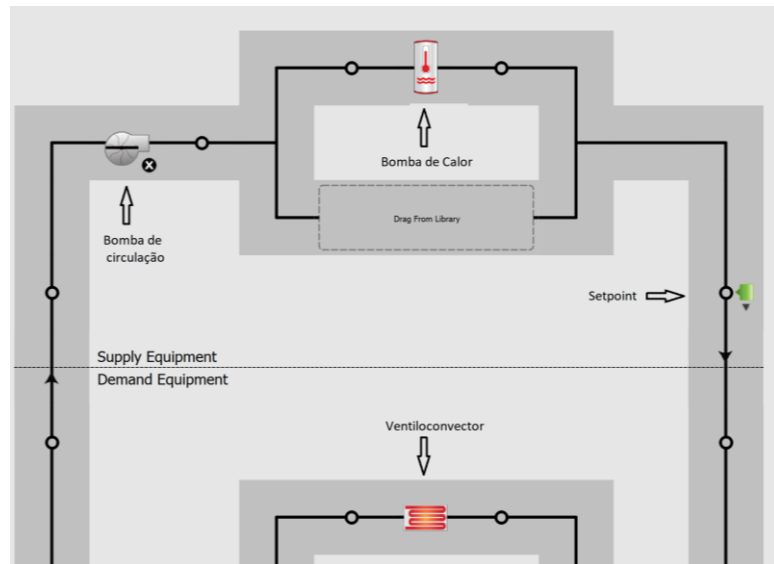


Figura 50 - Sistema 2: *Plant Loop - Água Aquecida*

Em ambas as centrais foi necessário definir as características principais do equipamento produtor de energia, tais como a potência, a eficiência e as temperaturas de funcionamento, conforme demonstrado na Figura 51.

OS:Chiller:Electric:EIR	
Name	CH 01
Reference Capacity	<input checked="" type="radio"/> Hard Sized <input type="text" value="233300"/> W <input type="radio"/> Autosized <input type="button" value="Autosize"/>
Reference COP	<input type="text" value="3.8"/>
Reference Leaving Chilled Water Temperature	<input type="text" value="7"/> C

a)

Name	BC 01
Rated Heating Capacity	<input type="text" value="237800"/> W
Rated COP	<input type="text" value="3.25"/>

b)

Figura 51 - Sistema 2: Dados *Chiller* a)/*Bomba de Calor* b)

Os ventiloconvetores têm de ser inseridos em cada zona térmica onde se adicionou o objeto *Four pipe fan coil* com as características definidas, desde o caudal de ar, caudal de água e potência térmica. Depois associou-se cada bateria (arrefecimento/aquecimento) à respetiva central. Na Figura 52 demonstra-se exemplos da inserção dos dados e associação à correta central térmica do VC 1.1.

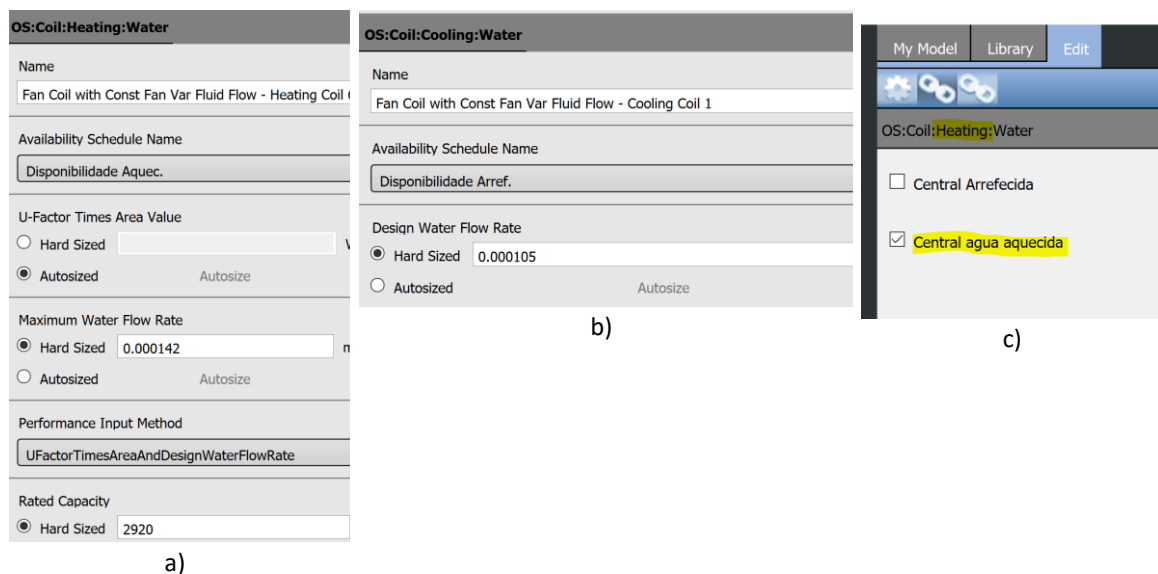


Figura 52 - Sistema 4: Exemplo de inserção dos dados de arrefecimento a) e aquecimento b) e associação da bateria de aquecimento à central de água aquecida c) em ventiloconvetor

#### Sistema 4 - Chiller/Bomba de Calor 4 tubos (com recuperação de calor)

Para este sistema preconizou-se a instalação de unidade multifuncional do tipo Ar/Água, com produção independente ou simultânea de água fria ou quente para instalações a 4 tubos, sendo os compressores herméticos do tipo *scroll*. O regime de funcionamento é igualmente de 7 °C/12 °C de verão e 45 °C/40 °C no inverno. Como marca de referência considerou-se a bluebox da Arfit e um equipamento com as características indicadas na Tabela 20.

Tabela 20 - Sistema 4: Chiller/Bomba de Calor

Designação	Local	Equipamento	EER/COP/TER (-)	Potência Arrefecimento (kW)	Potência Aquecimento (kW)	Potência Elétrica (kW)
CH/BC 01	Cobertura	OMICRON REV S4 HE - 25.4	3,25/3,25/7,62	249	259	80

As características principais dos ventiloconvetores selecionados para cada espaço podem ser consultadas na Tabela 21, tendo-se optado pela marca Daikin, ou equivalente.

Tabela 21 - Sistema 4: Ventiloconvetores

Designação	Equipamento	Caudal Ar (m <sup>3</sup> /h)	Potência Arrefecimento (kW)	Caudal de água Arrefecimento (l/h)	Potência Aquecimento (kW)	Caudal de água Aquecimento (l/h)	Potência Elétrica (kW)
VC Tipo 1	FWS02AF	327	2,15	378	2,92	514	0,019
VC Tipo 2	FWS06AF	763	5,03	885	6,36	1119	0,033
VC Tipo 3	FWS08AF	1362	8,82	1552	10,01	1761	0,087
VC Tipo 4	FWS03AF	431	4,20	739	5,57	980	0,016

No *OpenStudio*, à semelhança do sistema 3, criou-se, no separador *HVAC Systems*, dois *plant loop* que representam a central de água aquecida e a de água arrefecida, cujo elemento fornecedor de energia é a bomba de calor e o *chiller* (novamente, na realidade, trata-se de um só equipamento). De forma a simular a recuperação, criou-se um terceiro *loop*, que, na prática, representaria o *loop* de condensação. Este teria um elemento de recuperação de calor o qual interligaria os três *loops*. Apesar de se ter implementado a solução com sucesso, esta não foi minimamente viável pois desta forma a unidade produtora em modo de aquecimento nunca tinha consumo, o que é impossível. Mesmo com recuperação de calor haverá momentos onde só o aquecimento será solicitado e, nessas alturas, existe consumo. Do que estes resultados permitiram concluir, ainda não é totalmente viável implementar *chillers*/bomba de calor a 4 tubos no *OpenStudio*, pelo menos através do processo que se utilizou, e, apesar desta solução de criar *loops* adicionais puder ser útil para sistemas com geotermia, por exemplo, neste caso não foi útil.

Tendo em conta o resultado insatisfatório, optou-se por repetir o método usado para modelar o sistema 3 com a diferença de trocar a disponibilidade de aquecimento e arrefecimento para o ano inteiro e trocar as características do equipamento. Extraíu-se os consumos do sistema, nas horas em que o sistema necessitou de aquecimento e arrefecimento simultâneo utilizou-se o TER (*Total Energy Ratio*) para determinar o consumo, enquanto nas horas em que apenas foi necessário aquecer ou arrefecer individualmente utilizou-se o COP e o EER, respetivamente, os quais já correspondem ao valor calculado pelo *OpenStudio*.

### 3.13.6. Tratamento dos resultados obtidos

Existem diversas formas de visualizar os resultados de simulações no *OpenStudio*, pois é sempre criado um relatório com diversas tabelas que pode ser aberto num *browser*. Se isso é interessante numa análise preliminar, pode ser um pouco convoluto para a determinação de consumos. Assim, e de forma a se disponibilizar de uma visualização mais gráfica dos resultados, recorreu-se a *softwares* auxiliares, nomeadamente o *Dview* e o *Timestep*, os quais são igualmente úteis por permitirem a exportação para Excel dos dados obtidos. Antes de simular no *OpenStudio* é necessário escolher as variáveis que se pretende estudar no separador *output variables*. A Figura 53 demonstra o resultado do consumo de aquecimento (laranja) e arrefecimento (azul) da unidade exterior 01 do sistema 1 no *Dview* para exemplificação.

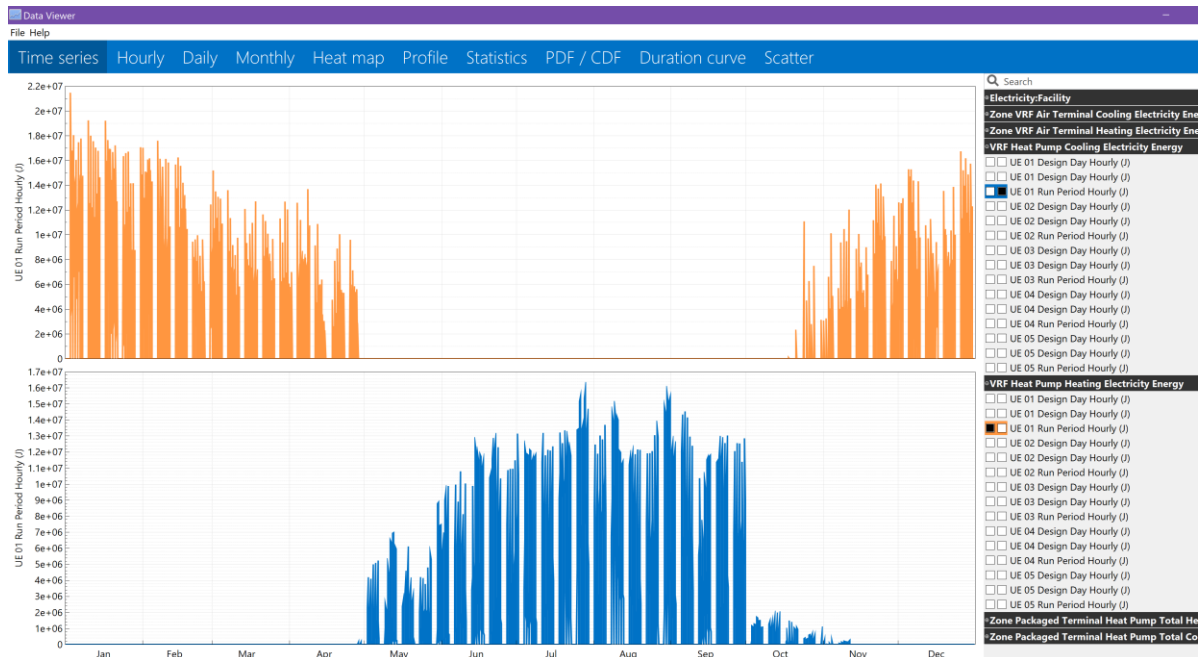


Figura 53 - Exemplo de visualização de variáveis no Dview

### 3.14. Classe Energética

A classe energética é obtida através da avaliação do DEE, a qual é definida pela relação dos consumos de energia primária para os usos regulados – onde se inclui a contribuição de fontes de energia renovável – entre o edifício previsto e o de referência. Estes consumos são expressos através de um indicador de energia primária em kWh/(m<sup>2</sup>.ano). As necessidades energéticas do edifício são determinadas a partir de condições de referência para que seja possível garantir a qualidade do ar interior, o conforto térmico e a salubridade dos espaços [20].

Tendo em conta o dito para obter a classificação energética, determinou-se o  $IEE_{pr}$  (Indicador de Eficiência Energética previsto), o qual é determinado em função dos consumos de energia para os usos regulados (tipo S), dos consumos de energia dos usos não regulados (tipo T) e do contributo de energia proveniente de sistemas que recorram a fontes de energia renovável para autoconsumo nestes usos. O  $IEE_{pr}$  traduz a totalidade dos consumos anuais de energia primária no edifício por unidade de área, com base na sua localização, nas características da sua envolvente, na eficiência dos sistemas técnicos e nos perfis de utilização previstos, e é determinado conforme a equação (15).

$$IEE_{pr} = IEE_{pr,S} + IEE_{pr,T} - IEE_{pr,ren} \quad (15)$$

O indicador de eficiência energética previsto do tipo S ( $IEE_{pr,S}$ ) representa os consumos de energia primária regulados e é determinado pela equação (16).

$$IEE_{pr,S} = \frac{1}{A_p} + \sum_i (E_{S,i} \cdot F_{pu,i}) \quad (16)$$

O indicador de eficiência energética previsto do tipo T ( $IEE_{pr,T}$ ) representa os consumos de energia primária não regulados e é determinado pela equação (17).

$$IEE_{pr,T} = \frac{1}{A_p} + \sum_i (E_{T,i} \cdot F_{pu,i}) \quad (17)$$

O símbolo  $E$  corresponde aos consumos de energia em kWh/ano e  $F$  o fator de conversão de energia final para energia primária, quando falamos de eletricidade seja ela proveniente de fonte renovável ou não, corresponde a 2,5. No caso de energia térmica renovável tem valor de 1.

Os consumos a considerar nos usos do tipo S e do tipo T encontram-se definidos na Figura 54.

Consumos tipo S	Consumos tipo T
Aquecimento e arrefecimento ambiente para conforto humano, incluindo humidificação e desumidificação	Aquecimento e arrefecimento não destinados para conforto humano
Ventilação que serve espaços interiores úteis, exceto hotes	Ventilação que serve espaços interiores não úteis e hotes
Bombagem associada à preparação de AQS e AQP e a sistemas de climatização para conforto humano em espaços interiores úteis	Bombagem em sistemas de climatização não destinados para conforto humano em espaços interiores não úteis
Preparação de AQ	Equipamentos de frio, incluindo câmaras de refrigeração
Iluminação fixa dos espaços interiores úteis e não úteis	Iluminação dedicada, de emergência e exterior
	Instalações de elevação e outros equipamentos e sistemas não incluídos nos consumos do tipo S

Figura 54 - Consumos a considerar do tipo S e do tipo T [20]

Outro índice igualmente determinado foi o indicador de eficiência energética previsto renovável ( $IEE_{pr,ren}$ ) que representa a produção de energia, elétrica e térmica a partir de fontes de origem renovável para autoconsumo. Este valor será sempre inferior ao  $IEE_{pr,S}$ .

No edifício em estudo, existe sistema fotovoltaico e contribuição das bombas de calor aerotérmicas. No caso do fotovoltaico, já se explicou no capítulo 3.12 como se determinou o contributo. Por seu turno, no caso da aerotermia, esse contributo de energia renovável é determinado através da equação (18), onde  $Q_{usable}$  corresponde à energia útil para o uso de aquecimento, arrefecimento ou preparação de água quente (AQ) suprida por bombas de calor, e SPF corresponde ao coeficiente de desempenho sazonal (SCOP e SEER) ou, na ausência deste, ao coeficiente de desempenho nominal (COP e EER).

$$E_{ren} = Q_{usable} \cdot \left(1 - \frac{1}{SPF}\right) \quad (18)$$

O índice  $IEE_{pr,ren}$  foi então determinado de acordo com a equação (19).

$$IEE_{pr,ren} = \frac{1}{A_p} + \sum_i (E_{ren,i} \cdot F_{pu,i}) \quad (19)$$

Outro indicador de eficiência importante nos edifícios novos de comércio e serviços é o de eficiência energética fóssil, que tem de apresentar um nível máximo de energia primária fóssil mediante a relação entre o indicador de eficiência energética fóssil do tipo S ( $IEE_{fóssil,S}$ ) e o indicador de eficiência energética de referência do tipo S ( $IEE_{ref,S}$ ). Para tal, tem de ser garantida a seguinte condição  $IEE_{fóssil,S} \leq 0,75 \times (IEE_{ref,S})$ .

O valor de  $IEE_{fóssil,S}$  resulta do somatório dos consumos anuais de energia primária fóssil (não renovável) do tipo S, incluindo energia elétrica da rede, conforme equação (20).

$$IEE_{fóssil,S} = \frac{1}{A_{tot}} + \sum_f (E_{S,f} \cdot F_{pu,f}) \quad (20)$$

A classe energética é determinada em função do rácio de classe energética ( $R_{IEE}$ ) para edifícios de comércio e serviços. Os intervalos das diversas classes são os indicados na Figura 55.

Classe energética	$R_{IEE}$
A+	$R_{IEE} \leq 0,25$
A	$0,25 < R_{IEE} \leq 0,50$
B	$0,50 < R_{IEE} \leq 0,75$
B -	$0,75 < R_{IEE} \leq 1,00$
C	$1,00 < R_{IEE} \leq 1,50$
D	$1,50 < R_{IEE} \leq 2,00$
E	$2,00 < R_{IEE} \leq 2,50$
F	$R_{IEE} > 2,50$

Figura 55 - Intervalos de valor de  $R_{IEE}$  para edifícios de comércio e serviços [20]

Este rácio é determinado segundo a equação (21).

$$R_{IEE} = \frac{IEE_{pr,S} - IEE_{pr,ren}}{IEE_{ref,S}} \quad (21)$$

Conforme mencionado no início deste capítulo e demonstrado na equação (21), determinar a classe energética implica determinar os consumos no edifício de referência, o qual foi criado de acordo com os pressupostos previstos no Manual SCE e indicados na Tabela 22.

Tabela 22 - Pressupostos para criação dos edifícios de referência [20]

Elemento	Condições no edifício de referência
Condições interiores	Em todos os sistemas foram consideradas as condições interiores do edifício previsto.
Envolvente opaca	Foi alterada a espessura do isolamento previsto para que o coeficiente de transmissão térmica atingisse o valor de referência, indicado na Tabela 23. Nas soluções em que não estava previsto isolamento, considerou-se a aplicação do mesmo, sem alterar a inércia térmica.

Elemento	Condições no edifício de referência
Envoltente envidraçada	Foram considerados os coeficientes de transmissão térmica indicados na Tabela 23. Em todos os espaços onde a área envidraçada fosse superior a 30% em relação à área da fachada, alterou-se para este valor. Foram eliminados vãos envidraçados horizontais (claraboias). Foi considerado o fator solar de referência. Considerou-se a ausência de dispositivos de proteção solar e de sombreamento.
Ventilação	Por se tratar de espaços com requisitos mínimos obrigatórios por razões de saúde, considerou-se todos os caudais iguais aos do edifício previsto.
Climatização	Considerou-se bomba de calor do tipo <i>chiller</i> de compressão com permuta exterior a ar com potência térmica igual à do edifício previsto e uma eficiência de 3,0 em aquecimento e de 2,9 em arrefecimento. Não se considerou qualquer tipo de recuperação de calor em nenhum sistema.
AQS	Considerou-se um sistema igual ao previsto, mas com eficiência de 2,8
Iluminação	Considerou-se a densidade de potência determinada para o $DPI100\text{ lx,max}$ e para o valor de iluminância média requerida ( $\bar{E}_{m\ req}$ ), sem contabilizar sistemas de controlo por ocupação ou por disponibilidade de luz natural.
Energia Renovável	Não considerado.

Com estas considerações, procedeu-se à simulação dinâmica para determinar os consumos do edifício de referência. Obtidos esses valores e aplicando-se todo o método de cálculo anteriormente descrito, determinou-se a classe energética de todos os sistemas em estudo. Os valores intermédios obtidos, encontram-se no apêndice K, L, M e N.

Os valores para os coeficientes de transmissão térmica de referência e fator solar de referência em edifícios de comércio e serviços para a zona I1 e V3 são especificados na Tabela 23.

Tabela 23 - Coeficientes de transmissão térmica e fator solar do edifício de referência

$U_{ref}$ [W/(m <sup>2</sup> .°C)]	Zona Climática I1 Portugal Continental
Elementos opacos verticais	0,7
Elementos opacos horizontais	0,5
Vãos Envidraçados Exteriores	4,3
$g_{tot\ ref}$	Zona Climática V3 Portugal Continental
	0,15

### 3.15. Análise Económica

Para efetuar a análise económica estudaram-se os custos energéticos anuais de cada sistema simulado que provêm da utilização dos equipamentos, juntamente com o investimento e manutenção dos mesmos. Assim, determinam-se as poupanças anuais com cada sistema e torna-se possível prever o período de retorno económico para cada investimento. Nesta análise salienta-se que não foram considerados os gastos devido a iluminação, equipamentos e ventilação, uma vez

que estes se mantiveram iguais em todos os sistemas simulados. Do mesmo modo, assumiu-se a inexistência de manutenções extras além das previstas para o correto funcionamento de cada equipamento.

Fixando o limite de 30 anos para o período de estudo, ou período limite para a retoma financeira de qualquer um dos sistemas, considerou-se o preço inicial da eletricidade de 0,136 €/kWh (valor consultado em 2019 e considerado tarifário simples) e um acréscimo de 2,5% por ano para contemplar efeitos de inflação.

Determinaram-se os custos acumulados ( $Ca$ ) tendo em conta os pressupostos mencionados de acordo com a equação (22).

$$Ca = Co + \sum CE + CM \quad (22)$$

onde  $CM$  é o custo de manutenção e  $CE$  corresponde ao custo da energia. Este último foi calculado de acordo com a equação (23) –

$$CE = C_{atual} \cdot (1 + ta)^{n-1} \quad (23)$$

na qual  $C_{atual}$  corresponde ao custo atual de energia,  $ta$  corresponde à taxa de acréscimo por ano e  $n$  ao número do ano.



## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Este capítulo, à guisa de pré-conclusão, aborda um dos pontos centrais desta investigação: a apresentação dos resultados para os quatro sistemas no que diz respeito à classe energética, consumo anual de energia, emissões de gases com efeito de estufa (e respetiva comparação). O último aspeto abordado será o de avaliação económica, onde se inclui o investimento, custos acumulados e custos de manutenção.

### 4.1. Consumos constantes a todas as simulações

As parcelas comuns a todas as simulações, dizem respeito ao consumo do sistema de AQS (3205 kWh/ano), ao consumo da iluminação interior (29831 kWh/ano), ao consumo dos equipamentos elétricos (56373 kWh/ano), ao consumo dos elevadores (3262 kWh/ano), ao consumo de equipamentos do tipo T – como ventiladores de espaço não úteis e *splits* (1094 kWh/ano) – e, por fim, ao consumo de iluminação exterior (1833 kWh/ano).

Na *Figura 56* é possível observar os consumos mencionados representados graficamente.

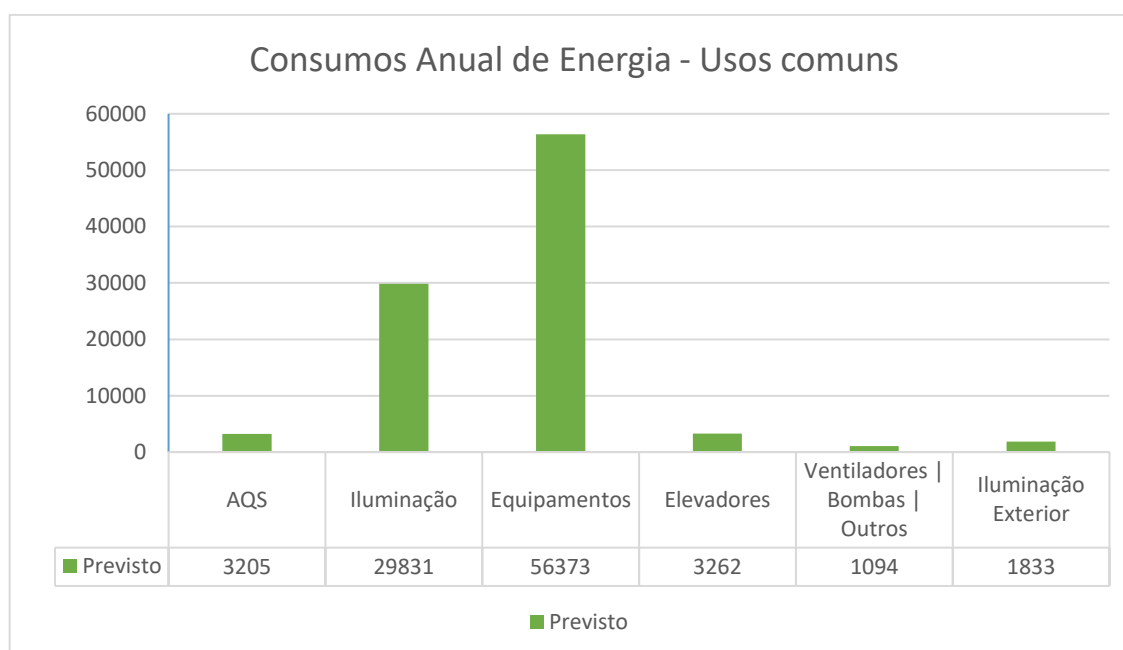


Figura 56 - Consumos anuais de energia final constantes a todas as simulações

### 4.2. Sistema 1 – VRV 2 tubos (sem recuperação de calor)

Na *Figura 57* observa-se o consumo anual de energia final desagregado por tipo de uso.

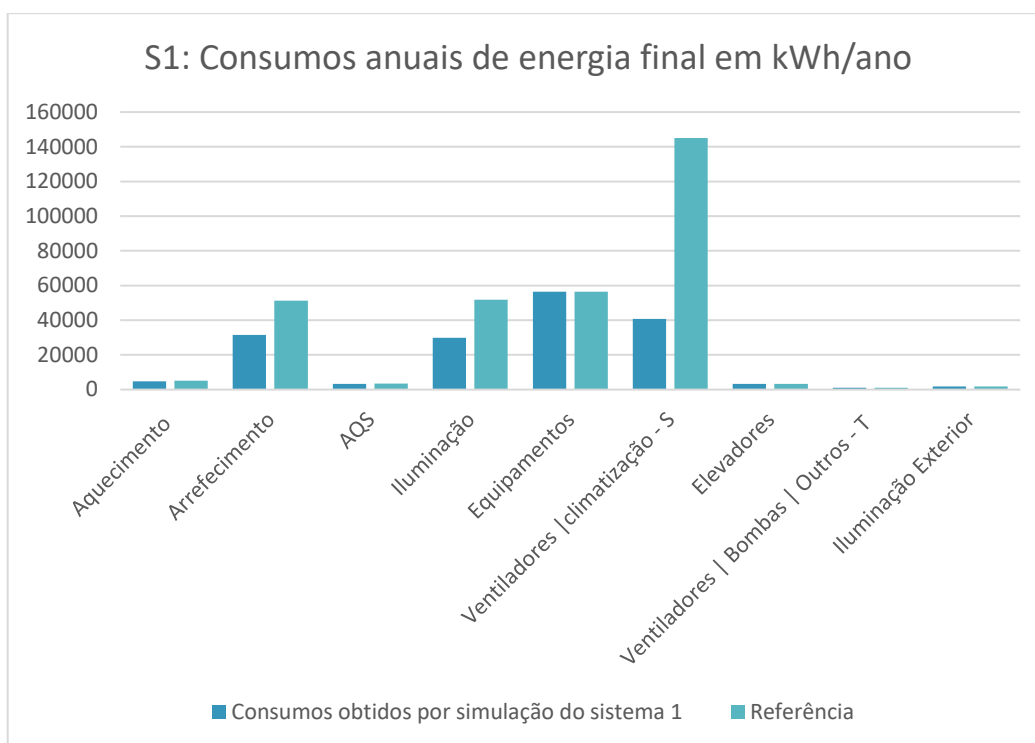


Figura 57 - Sistema 1: Consumos anuais de energia final

No sistema previsto, no que toca a consumos de aquecimento, destacam-se os valores de consumo anual de energia final de 4828 kWh/ano, o arrefecimento a apresenta a um valor de 31569 kWh/ano. Importa ainda salientar o valor de 40736 kWh/ano para os consumos ligados a equipamentos do tipo S, relacionado com as unidades de ventilação dos espaços úteis e ventiladores das unidades de climatização.

No total, o edifício com este sistema apresenta um valor de 128846 kWh/ano, contabilizando um contributo de 43886 kWh/ano do sistema fotovoltaico.

Para determinar as emissões de CO<sub>2</sub> anuais, o fator de conversão é de 1,44E-04 [tonCO<sub>2</sub>/kWh<sub>EP</sub>] de acordo com o Manual SCE, recordando que a área de pavimento é de 2421,55 m<sup>2</sup>, obtém-se o valor indicado na Tabela 24.

Tabela 24 - Sistema 1: Emissões de CO<sub>2</sub>

Energia primária [kWh/m <sup>2</sup> ]	133,02
Emissões CO <sub>2</sub> [ton]	46,38

A classe energética deste sistema corresponde a “A”. Na Tabela 25 apresentam-se os diversos indicadores de eficiência energética, assim como a classe. Os resultados intermédios para determinação dos mesmos encontram-se no apêndice K.

Tabela 25 - Sistema 1: indicadores de eficiência energética e classe energética

	Previsto S.1		Referência	
<i>IEE<sub>S</sub></i>	180,82	kWh <sub>EP</sub> /(m <sup>2</sup> .ano)	264,96	kWh <sub>EP</sub> /(m <sup>2</sup> .ano)
<i>IEE<sub>T</sub></i>	64,59	kWh <sub>EP</sub> /(m <sup>2</sup> .ano)	64,59	kWh <sub>EP</sub> /(m <sup>2</sup> .ano)
<i>IEE<sub>REN</sub></i>	112,39	kWh <sub>EP</sub> /(m <sup>2</sup> .ano)		
<i>IEE</i>	133,02	kWh <sub>EP</sub> /(m <sup>2</sup> .ano)	329,55	kWh <sub>EP</sub> /(m <sup>2</sup> .ano)
<i>Ren<sub>C&amp;S</sub></i>	11,40			
<i>IEE<sub>fóssi,S</sub></i>	68,43	kWh <sub>EP</sub> /(m <sup>2</sup> .ano)		
<i>R<sub>IEE</sub></i>	0,26	A		

### 4.3. Sistema 2 – VRV 3 tubos (com recuperação de calor)

Na Figura 58 demonstra-se o consumo anual de energia final desagregado por tipo de uso para a segunda solução simulada.

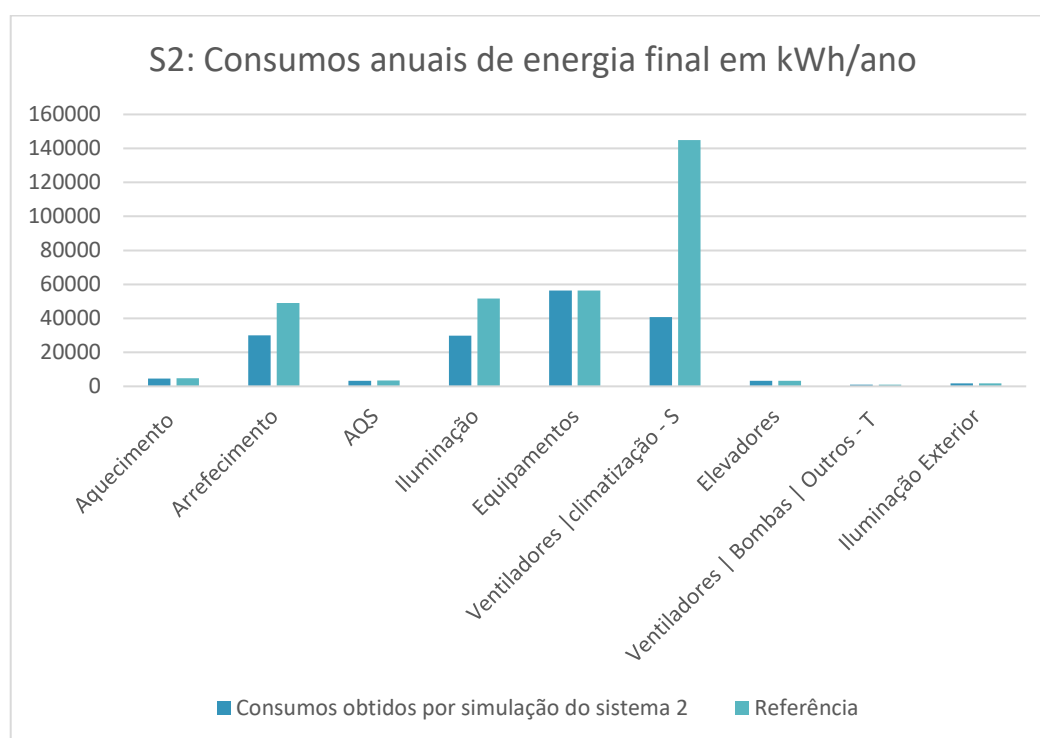


Figura 58 - Sistema 2: Consumos anuais de energia final

Nos consumos do sistema previsto, sobressaem os valores de consumo de eletricidade de 4557 kWh/ano no que concerne ao aquecimento. Por seu turno, ao arrefecimento cabe uma parcela de 29967 kWh/ano. Os consumos ligados a equipamentos do tipo S relacionado com as unidades de ventilação dos espaços úteis e ventiladores das unidades de climatização apresentaram um valor de 40736 kWh/ano. Como referido, os consumos relativos à iluminação, equipamentos, sistema de AQS, elevadores, de equipamentos do tipo T, e iluminação exterior são comuns a todas as simulações e encontram-se especificados no capítulo 4.2.

No total, o edifício com este sistema apresenta um valor de 128753 kWh/ano, contabilizando um contributo de 42107 kWh/ano do sistema fotovoltaico.

Quanto às emissões anuais de CO<sub>2</sub>, mantendo-se os valores do fator de conversão e da área da pavimentação, demonstra a Tabela 26 o valor obtido.

Tabela 26 - Sistema 2: Emissões de CO<sub>2</sub>

Energia primária [kWh/m <sup>2</sup> ]	132,92
Emissões CO <sub>2</sub> [ton]	46,35

Este sistema obteve a classe energética de “A”, constando, na Tabela 27, os diversos indicadores de eficiência energética. Os resultados intermédios para determinação dos mesmos podem ser consultados no apêndice L.

Tabela 27 - Sistema 2: indicadores de eficiência energética e classe energética

	Previsto S.2	Referência
<i>IEES</i>	190,55 kWh <sub>EP</sub> /(m <sup>2</sup> .ano)	262,23 kWh <sub>EP</sub> /(m <sup>2</sup> .ano)
<i>IEET</i>	64,59 kWh <sub>EP</sub> /(m <sup>2</sup> .ano)	64,59 kWh <sub>EP</sub> /(m <sup>2</sup> .ano)
<i>IEEREN</i>	122,21 kWh <sub>EP</sub> /(m <sup>2</sup> .ano)	
<i>IEE</i>	132,92 kWh <sub>EP</sub> /(m <sup>2</sup> .ano)	326,82 kWh <sub>EP</sub> /(m <sup>2</sup> .ano)
<i>RenC&amp;S</i>	12,39	
<i>IEE<sub>fóssil,S</sub></i>	68,33 kWh <sub>EP</sub> /(m <sup>2</sup> .ano)	
<i>R<sub>IEE</sub></i>	0,26 A	

#### 4.4. Sistema 3 – *Chiller/Bomba de Calor 2 tubos (sem recuperação de calor)*

A Figura 59 ilustra o consumo anual de energia final desagregado por tipo de uso do terceiro sistema.

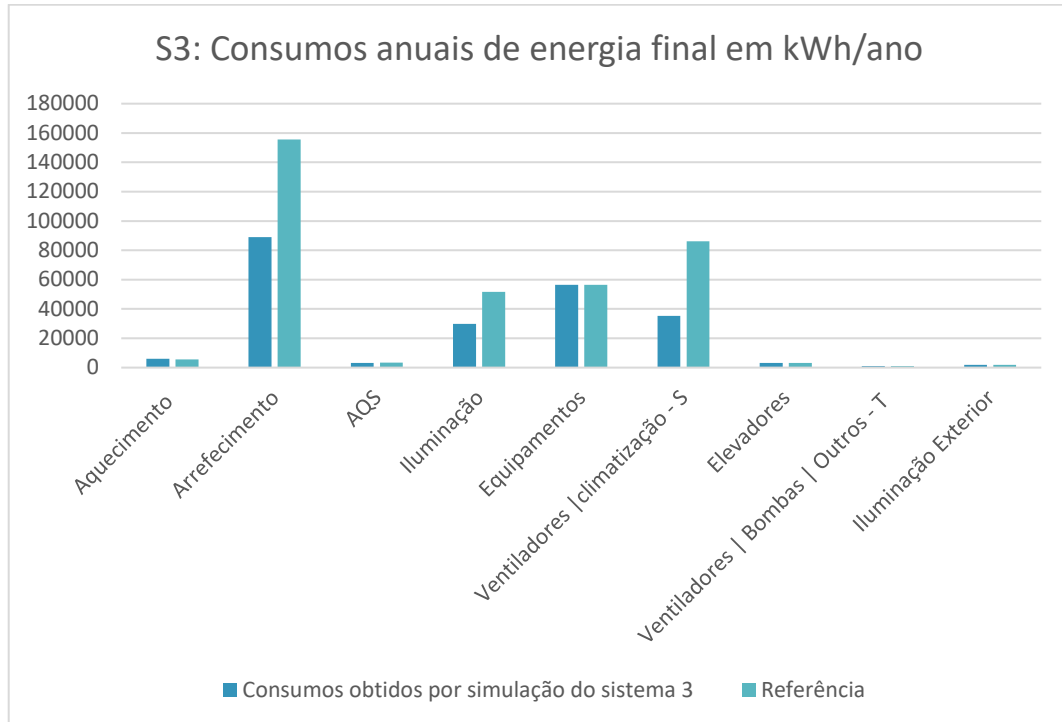


Figura 59 - Sistema 3: Consumos anuais de energia final

O consumo de aquecimento do sistema previsto apresenta um valor de 5973 kWh/ano, o arrefecimento equivale a 88986 kWh/ano. Os consumos ligados à equipamentos do tipo S relacionado com as unidades de ventilação dos espaços uteis e ventiladores das unidades de climatização perfizeram um total de 35380 kWh/ano.

O consumo total do edifício com este sistema é de 181947 kWh/ano, com um contributo de 43992 kWh/ano do sistema fotovoltaico.

Nada se alterando nos valores da área de pavimento e do fator de conversão, as emissões anuais de CO<sub>2</sub> obtidas encontram-se na Tabela 28.

Tabela 28 - Sistema 3: Emissões de CO<sub>2</sub>

Energia primária [kWh/m <sup>2</sup> ]	187,84
Emissões CO <sub>2</sub> [ton]	65,50

Através dos diversos indicadores de eficiência energética, indicados na Tabela 29, concluiu-se que este sistema obteve uma classe energética “A”. Como anteriormente, os resultados intermédios para determinação dos mesmos apresentam-se no apêndice M.

Tabela 29 - Sistema 3: indicadores de eficiência energética e classe energética

	Previsto S.3		Referência	
$IEE_S$	333,64	kWh <sub>EP</sub> /(m <sup>2</sup> .ano)	312,26	kWh <sub>EP</sub> /(m <sup>2</sup> .ano)
$IEE_T$	64,59	kWh <sub>EP</sub> /(m <sup>2</sup> .ano)	64,59	kWh <sub>EP</sub> /(m <sup>2</sup> .ano)
$IEE_{REN}$	210,39	kWh <sub>EP</sub> /(m <sup>2</sup> .ano)		
$IEE$	187,84	kWh <sub>EP</sub> /(m <sup>2</sup> .ano)	376,85	kWh <sub>EP</sub> /(m <sup>2</sup> .ano)
$Ren_{C&S}$	21,34			
$IEE_{fossil,S}$	123,25	kWh <sub>EP</sub> /(m <sup>2</sup> .ano)		
$R_{IEE}$	0,39	A		

#### 4.5. Sistema 4 – Chiller/Bomba de Calor 4 tubos (com recuperação de calor)

A Figura 60 esquematiza o consumo anual de energia final desagregado por tipo de uso para o quarto, e último, sistema simulado.

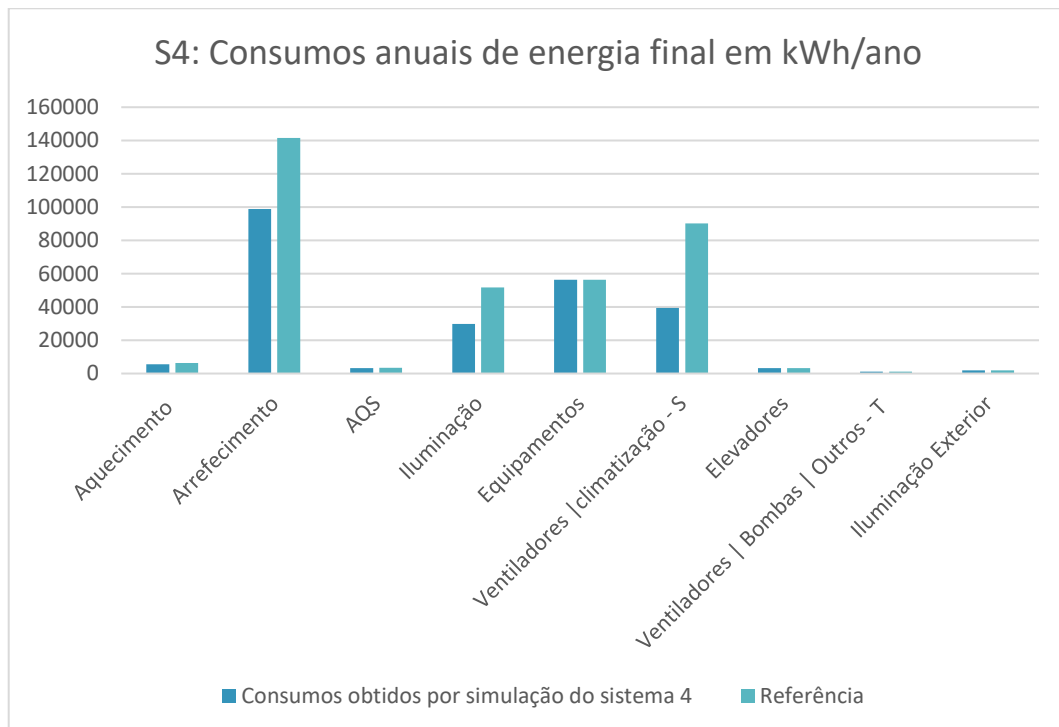


Figura 60 - Sistema 4: Consumos anuais de energia final

No que concerne ao sistema previsto, destaque-se no aquecimento o consumo de eletricidade de 5502 kWh/ano, sendo o arrefecimento de 98845 kWh/ano. Para os consumos de equipamentos do tipo S relacionado com as unidades de ventilação dos espaços uteis e ventiladores das unidades de climatização, o valor atingiu os 39433 kWh/ano.

O consumo de energia final do edifício com esta solução é de 198432 kWh/ano, para os quais existe um contributo de 40948 kWh/ano do sistema fotovoltaico.

O valor obtido para as emissões anuais de CO<sub>2</sub> pode ser observado na Tabela 30, recorde-se que nada se altera nos valores da área de pavimento e do fator de conversão.

Tabela 30 - Sistema 4: Emissões de CO<sub>2</sub>

Energia primária [kWh/m <sup>2</sup> ]	204,86
Emissões CO <sub>2</sub> [ton]	71,44

A classe energética do edifício com sistema corresponde à classe “A”, como demonstra a Tabela 31. Os resultados intermédios para esta determinação localizam-se no apêndice N.

Tabela 31 - Sistema 4: indicadores de eficiência energética e classe energética

	Previsto S.4	Referência
<i>IEE<sub>S</sub></i>	314,06 kWh <sub>EP</sub> /(m <sup>2</sup> .ano)	302,60 kWh <sub>EP</sub> /(m <sup>2</sup> .ano)
<i>IEE<sub>T</sub></i>	64,59 kWh <sub>EP</sub> /(m <sup>2</sup> .ano)	64,59 kWh <sub>EP</sub> /(m <sup>2</sup> .ano)
<i>IEE<sub>REN</sub></i>	173,79 kWh <sub>EP</sub> /(m <sup>2</sup> .ano)	
<i>IEE</i>	204,86 kWh <sub>EP</sub> /(m <sup>2</sup> .ano)	367,19 kWh <sub>EP</sub> /(m <sup>2</sup> .ano)
<i>Renc&amp;S</i>	17,62	
<i>IEE<sub>fóssil.S</sub></i>	140,27 kWh <sub>EP</sub> /(m <sup>2</sup> .ano)	
<i>R<sub>IEE</sub></i>	0,46 A	

#### 4.6. Comparação entre sistemas

Apresentados os valores mais importantes de cada sistema, importa agora compará-los. Nesta análise não irão ser mostrados os consumos em comum a todos os sistemas (estes já foram demonstrados e serviram para determinar a classe energética), restringindo o estudo à comparação dos sistemas de climatização. Na Figura 61 é possível observar os consumos de climatização para os diversos sistemas.

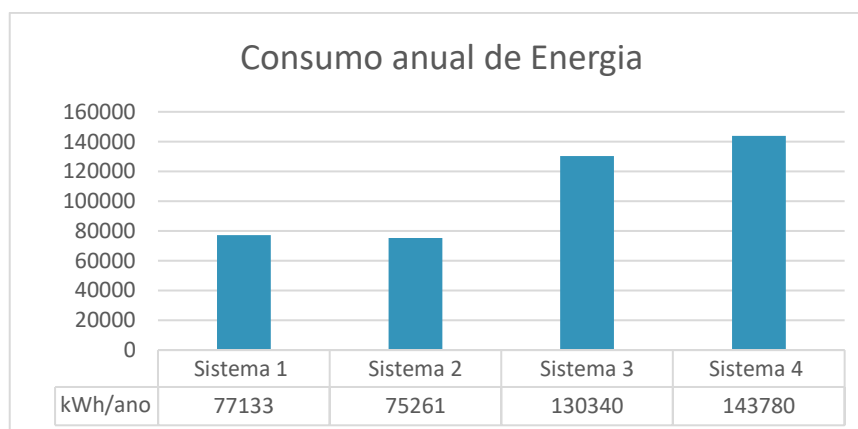


Figura 61 - Comparação de consumos anuais do sistema de climatização

A primeira observação prende-se com o facto de os sistemas a água (sistema 3 e 4) apresentarem um maior consumo, enquanto o sistema VRV com recuperação de calor mostra-se o menos consumidor de fontes primárias de energia.

Na Figura 62 podem ser observados estes consumos desagregados em aquecimento, arrefecimento e relativos a bombas e/ou ventiladores associados à climatização.

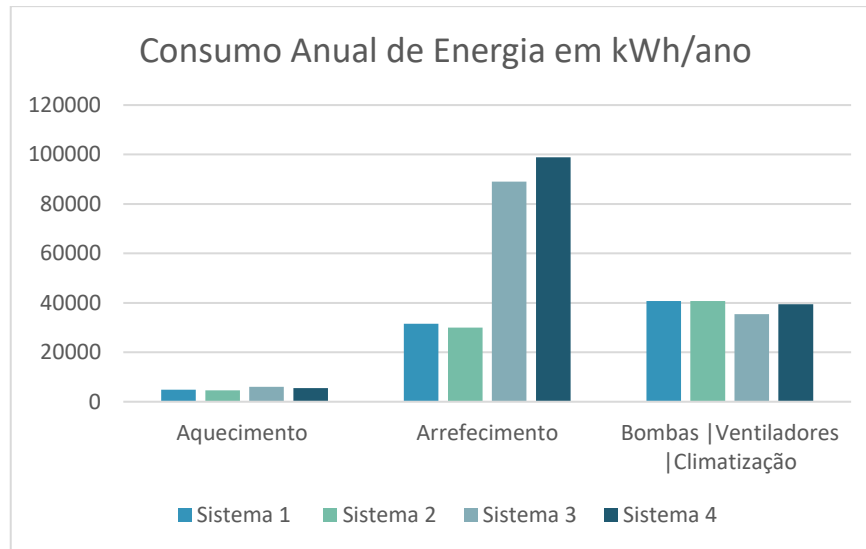


Figura 62 - Comparação de consumos anuais do sistema de climatização desagregados por tipo de uso

Nota-se que o consumo de arrefecimento é muito superior ao aquecimento em todos os sistemas e, mais uma vez, ocorre um maior consumo nos sistemas a água.

Comparando os dois sistemas de expansão direta (Sistema 1 e 2), é possível denotar uma ligeira redução de 5,6% no consumo de aquecimento e uma redução de 5,07 % no arrefecimento no sistema 2 (o que permite recuperação de calor). Em termos de consumo anual de energia primária não há uma diferença significativa.

Entre os sistemas a água, verifica-se que o sistema com recuperação reduz o consumo de aquecimento em 7,8 %, contudo, o consumo de arrefecimento aumenta em 11,08 %. Nestes sistemas não se mostra minimamente vantajoso ter recuperação de calor já que, quando comparado ao sistema a água sem recuperação, apenas o consumo de aquecimento reduziu, enquanto o de arrefecimento, aumentou, assim como o consumo das bombas e ventiladores associados a climatização (aumento de 11,45%).

Mesmo com estas diferenças nos consumos dos diferentes sistemas, o edifício obteria, com qualquer um deles, uma classificação energética “A”, como prova o valor do rácio de classe energética demonstrado na Tabela 32.

Tabela 32 - Rácios de classe energética

	$R_{IEE}$
Sistema 1	0,251
Sistema 2	0,258
Sistema 3	0,395
Sistema 4	0,464

O sistema com menor valor de  $R_{IEE}$  é o de expansão direta com recuperação de calor, enquanto o sistema a água com recuperação de calor apresenta o pior  $R_{IEE}$ .

O sistema 2 também mostra ser o mais ecológico com 46,35 ton de CO<sub>2</sub> imitadas anualmente. Com o menor desempenho ecológico surge o sistema 4, com 71,44 ton de CO<sub>2</sub> por ano.

## 4.7. Avaliação económica

Na Tabela 33 apresentam-se os custos de investimento, do sistema em funcionamento e de manutenção para as várias soluções simuladas.

Tabela 33 - Custos de investimento, em funcionamento e de manutenção dos sistemas

	Manutenção	Consumo	Custo Investimento
Sistema VRV 2 tubos	1 250 €/ano	7 581,62 €/ano	139 070 €
Sistema VRV 3 tubos (c/ rec.)	1 250 €/ano	7 173,21 €/ano	147 205 €
Chiller / Bomba de Calor 2 tubos	2 500 €/ano	14 663,97 €/ano	159 800 €
Chiller / Bomba de Calor 4 tubos (c/ rec.)	2 500 €/ano	16 491,96 €/ano	218 200 €

É notório o custo de investimento dos sistemas a água, o qual é superior ao investimento dos sistemas de expansão direta, acarretando, também, mais custos de manutenção. O sistema que necessita do menor investimento inicial é o sistema VRV sem recuperação de calor.

Mais do que a análise destes valores iniciais, importa verificar ao longo do tempo de funcionamento todos os custos associados, o que facilita a seleção do sistema de climatização do ponto de vista financeiro. Para tal, apresenta-se na Figura 63 os custos acumulados ao longo do período de funcionamento.

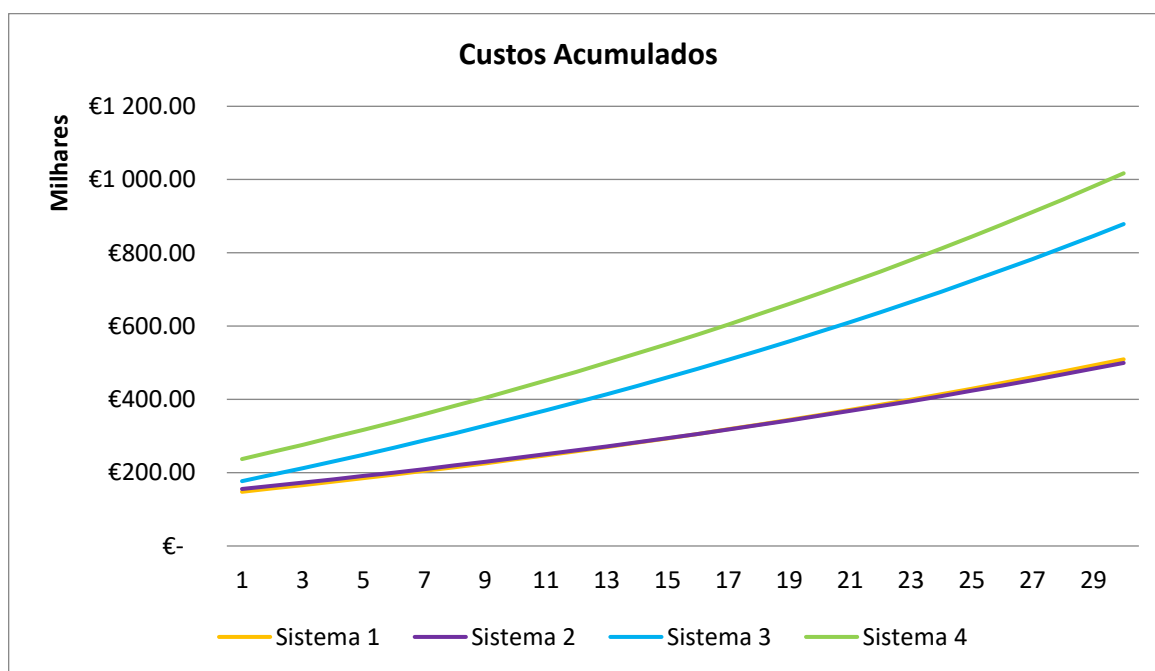


Figura 63 - Custos acumulados ao longo de 30 anos

O elevado custo inicial do sistema 4 (*Chiller/Bomba de calor com recuperação de calor*) agrava-se demasiadamente ao longo do tempo. Já o sistema 2 (*VRV com recuperação de calor*), apesar de implicar um maior investimento, mostra-se com menos custos acumulados em relação ao sistema 1 (*VRV sem recuperação*) ao fim de 15 anos.

Para um período curto de amortização, digamos 5 anos, o sistema 1, com menor investimento e menor custos de manutenção, mostra-se ser o mais rentável. No entanto, na procura de um melhor compromisso a longo prazo, deve-se optar pelo sistema 2 que, ao fim de 15 anos, começa a ser mais rentável e, ao fim de 30 anos, permite uma poupança anual de 10 651,88 €.



## 5. CONCLUSÃO

Neste capítulo, como indica o seu nome, apresentam-se as principais conclusões de todo este labor.

### 5.1. Conclusões finais

Cumpriu-se o principal objetivo de comparação de diversas soluções de sistemas AVAC para análise da sua viabilidade energética e económica, com simulação dinâmica do edifício no *EnergyPlus* através aplicação do *OpenStudio*. Numa primeira fase, procedeu-se ao desenho do modelo geométrico do edifício, introduzidos os dados climáticos, envolvente, ganhos internos, perfis e sistemas.

Estudaram-se quatro sistemas diferentes de climatização, averiguando-se, em todos eles, que o edifício tem mais necessidades (e por isso mais consumo) de arrefecimento do que de aquecimento, também por causa da sua localização em Lisboa. Para lá dos sistemas de climatização existem os equipamentos elétricos, ventilação e a iluminação, iguais em todas as soluções, os quais são uma parcela considerável do consumo total.

Os sistemas de expansão direta (sistema 1 e 2) mostraram-se os com menores custos de investimento, menores consumos e menores custos de manutenção. Comparando-os, foi possível denotar uma ligeira redução de consumo (5,6 % em aquecimento e 5,07% em arrefecimento). O custo de investimento de um sistema VRV com recuperação é superior (8 135.00 € de diferença), contudo, ao fim de 15 anos, gastará menos do que o sistema sem recuperação, uma vez que em funcionamento consome menos.

Os sistemas a água (sistema 3 e 4) apresentam menos eficiência, mais investimento inicial e o dobro do custo de manutenção anual. A sua comparação concluiu que o sistema com recuperação de calor, que já no VRV não teve uma melhoria massiva, apesar de reduzir o consumo de aquecimento em 7,8 %, na globalidade apresenta maior consumo anual de energia com um aumento de 10,31%. Ao fim de 30 anos, os sistemas a água neste edifício ainda não seriam mais rentáveis que os sistemas de expansão direta.

Com qualquer um dos sistemas o edifício teria classe energética A, sendo que o sistema com menor rácio de classe energética (0,26) é o sistema 2, por outro lado o sistema com pior rácio de classe energética (0,46) é o sistema 4.

Conclui-se ainda que os sistemas com recuperação requerem que o edifício tenha carga de aquecimento e arrefecimento simultânea num número significativo de horas para se tornarem, de facto, mais eficientes que os sistemas sem recuperação. O edifício em estudo apresentou necessidades simultâneas apenas em 1345 horas de 8760 horas.

Além do investimento, é importante analisar os custos de manutenção e os custos em funcionamento. O sistema 1 tem menor investimento, mas em funcionamento consome mais do que o sistema 2. Por seu turno, o sistema 2 permite um maior nível de conforto, pois permite arrefecer e aquecer diferentes espaços em simultâneo. Finalmente, os sistemas 3 e 4 apresentam maior investimento, maior custo em funcionamento por causa do elevado consumo de eletricidade e mais custos de manutenção.

## **5.2. Limitações e trabalhos futuros**

No âmbito da simulação dinâmica seria interessante comparar os consumos determinados entre diversos *softwares* de simulação. Também poderia ser proveitoso comparar sistemas de climatização que utilizam outro tipo de fonte de energia como, por exemplo, o gás. Este estudo também ganharia com uma averiguação do impacto na eficiência e consumo causado pela alteração de outras variáveis além da climatização.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] NOAA National Centers for Environmental Information. "Climate at a Glance: Global Time Series." <https://www.ncdc.noaa.gov/cag/global/time-series/globe/ocean/all/12/1880-2021> (accessed Nov. 20, 2021).
- [2] National Snow & Ice Data Center. "Sea Ice Index (BIST: Browse Image Subset Tool)." [https://nsidc.org/data/seaice\\_index/bist](https://nsidc.org/data/seaice_index/bist) (accessed Dez. 4, 2021).
- [3] G. Griggs and B. G. Reguero, "Coastal Adaptation to Climate Change and Sea-Level Rise," *Water*, vol. 13, no. 16, p. 2151, 2021, doi: <https://doi.org/10.3390/w13162151>.
- [4] Food and Agriculture Organization of the United Nations, *Global Forest Resources Assessment 2020: Main report*. Rome: FAO, 2020.
- [5] Climate Watch. "Historical GHG Emissions." <https://www.climatewatchdata.org/ghg-emissions> (accessed Dez. 9, 2021).
- [6] JM-Project. "JM Project - Projectos de Engenharia." <https://www.jm-project.com/> (accessed Set. 19, 2021).
- [7] Parlamento Europeu e do Conselho, (2018, Mai. 30). *Diretiva (UE) 2018/844*. [Online]. Available: <https://www.sce.pt/wp-content/uploads/2021/07/EPBD2018.pdf>.
- [8] Presidência do Conselho de Ministros, (2021, Nov. 19). *Decreto-Lei n.º 102/2021*. [Online]. Available: <https://files.dre.pt/1s/2021/11/22500/0000600015.pdf>.
- [9] Presidência do Conselho de Ministros, (2020, Dez. 7). *Decreto-Lei n.º 101-D/2020*. [Online]. Available: <https://files.dre.pt/1s/2020/12/23701/0002100045.pdf>.
- [10] Ministério da Saúde e Ministério do Ambiente e Ação Climática, (2021, Jul. 1). *Portaria n.º 138-G/2021*. [Online]. Available: <https://files.dre.pt/1s/2021/07/12602/0000200006.pdf>.
- [11] Ministério do Ambiente e Ação Climática (2021, Jul. 1). *Portaria n.º 138-H/2021*. [Online]. Available: <https://files.dre.pt/1s/2021/07/12602/0000700011.pdf>.
- [12] Ministério do Ambiente e Ação Climática e Ministério das Infraestruturas e Habitação, (2021, Jul. 1). *Portaria n.º 138-I/2021*. [Online]. Available: <https://files.dre.pt/1s/2021/07/12602/0001200053.pdf>.
- [13] Ministério do Ambiente e Ação Climática, (2021, Set. 10). *Despacho n.º 9017/2021*. [Online]. Available: <https://files.dre.pt/2s/2021/09/177000000/0013100132.pdf>.
- [14] Ministério do Ambiente e Ação Climática (2021, Set. 13). *Despacho n.º 9067/2021*. [Online]. Available: <https://files.dre.pt/2s/2021/09/178000000/0008600093.pdf>.
- [15] Ministério do Ambiente e Ação Climática (2021, Jul. 1). *Despacho n.º 6476-C/2021*. [Online]. Available: <https://files.dre.pt/2s/2021/07/126000001/0002100026.pdf>.
- [16] Ministério do Ambiente e Ação Climática (2021, Set. 8). *Declaração de Retificação n.º 611/2021*. [Online]. Available: <https://files.dre.pt/2s/2021/09/175000000/0006900069.pdf>.
- [17] Ministério do Ambiente e Ação Climática, (2021, Jul. 1). *Despacho n.º 6476-D/2021*. [Online]. Available: <https://files.dre.pt/2s/2021/07/126000001/0002700029.pdf>.
- [18] Ministério do Ambiente e Ação Climática, (2021, Jul. 1). *Despacho n.º 6476-E/2021*. [Online]. Available: <https://files.dre.pt/2s/2021/07/126000001/0003000032.pdf>.
- [19] Ministério do Ambiente e Ação Climática (2021, Set. 17). *Despacho n.º 9216/2021*. [Online]. Available: <https://files.dre.pt/2s/2021/09/182000000/0013800188.pdf>.
- [20] Direção-Geral de Energia e Geologia e ADENE, (2021). *Manual SCE* [Online]. Available: <https://www.sce.pt/wp-content/uploads/2021/09/Manual-SCE-v1.pdf>.
- [21] Ministério das Finanças, (2021, Dez. 20). *Portaria n.º 310/2021*. [Online]. Available: <https://files.dre.pt/1s/2021/12/24400/0005900059.pdf>.
- [22] "SCE (Legislação)." <https://www.sce.pt/legislacao/> (accessed Nov. 28, 2021).
- [23] Observatório da Energia, DGEG, and ADENE, *Energia em Números - Edição 2022*. Lisboa: ADENE, 2022.

- [24] ERSE, *Boletim comparação de preços eletricidade EUROSTAT*, 2º semestre 2021. [Online]. Available: [https://www.erse.pt/media/mkcoxd03/boletim-eletricidade-eurostat\\_2021s2.pdf](https://www.erse.pt/media/mkcoxd03/boletim-eletricidade-eurostat_2021s2.pdf).
- [25] A. J. d. A. Santos, *AVAC, um manual de apoio: complementos*. Porto: Engebook, 2018.
- [26] Daikin. "Catálogo Geral de 2021." <https://my.daikin.eu/content/dam/DAPT/document-library/catalogues/general/Cat%C3%A1logo%20Geral%202021.pdf> (accessed Out. 25, 2021).
- [27] Daikin. "VRV Web Xpress." <https://vrvxpress.daikin.eu/> (accessed Out. 29, 2021).
- [28] L. Brackney, A. Parker, D. Macumber, and K. Benne, *Building Energy Modeling with OpenStudio - A Practical Guide for Students and Professionals*. Springer, 2018.
- [29] A. Gonçalves, "Utilização de programas informáticos de simulação," in *Climatização - concepção, instalação e condução de sistemas*, L. Roriz Ed., 2 ed. Amadora: Edições Orion, 2007, ch. 5, pp. 117-132.
- [30] ASHRAE, *ASHRAE GreenGuide: Design, Construction, and Operation of Sustainable Buildings*, 5 ed. Atlanta, GA, 2018.
- [31] M. Magni, F. Ochs, S. de Vries, A. Maccarini, and F. Sigg, "Detailed cross comparison of building energy simulation tools results using a reference office building as a case study," *Energy and Buildings*, vol. 250, 2021. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778821005442>.
- [32] J. Sousa, "Energy Simulation Software for Buildings: Review and Comparison," in *International Workshop on Information Technology for Energy Applications*, Lisboa, 6 e 7 de setembro 2012.
- [33] A. Vadiiee, A. Doodoo, and L. Gustavsson, "A Comparison Between Four Dynamic Energy Modeling Tools for Simulation of Space Heating Demand of Buildings," in *Cold Climate HVAC 2018: Sustainable Buildings in Cold Climates*, D. Johansson, H. Bagge, and Å. Wahlström Eds. s.l.: Springer Cham, 2019, pp. 701-711.
- [34] U. S. Department of Energy, *EnergyPlus™ Version 22.1.0 Documentation: Engineering Reference*, 2022. [Online]. Available: [https://energyplus.net/assets/nrel\\_custom/pdfs/pdfs\\_v22.1.0/EngineeringReference.pdf](https://energyplus.net/assets/nrel_custom/pdfs/pdfs_v22.1.0/EngineeringReference.pdf).

# APÊNDICE A – DADOS CLIMÁTICOS

**Direção Geral de Energia e Geologia**  
**Anos Meteorológicos de Referência**  
 versão 1.0 (outubro 2016)

**Seleção por município**  
 Lisboa

**Zona climática**  
 NUTS 3: Grande Lisboa  
 Latitude: 38.9 °N (nominal)  
 Longitude: 9.2 °W (nominal)  
 Altitude: 109 m (referência)

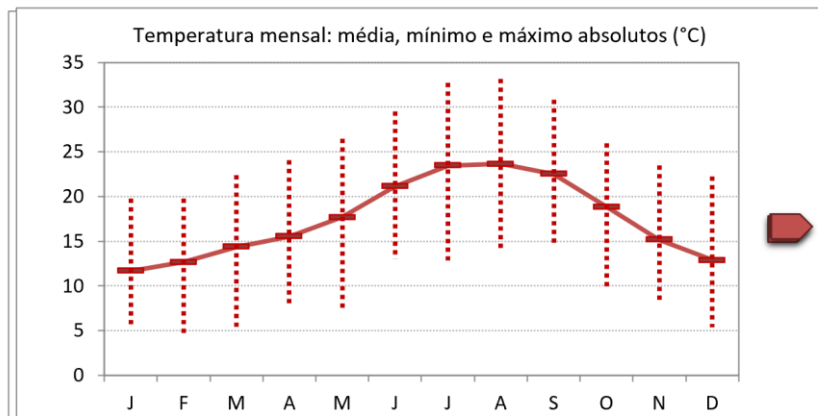
**Local específico**  
 Município: Lisboa  
 Altitude: 9 m

**Estatísticas climáticas**

	Referência	Este local
<b>Estação de aquecimento</b>		
Período:	5.3	5.0 meses
T média:	10.8	11.2 °C
Graus-dia:	1071	901 °C
<b>Estação de arrefecimento</b>		
T média:	21.7	22.7 °C

**Zonas regulamentares de verão e inverno**  
 V 3 I 1

preparar ficheiro  
 SCE (formato para Cálculo Dinâmico Simplificado)



	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
T	11.7	12.7	14.4	15.5	17.7	21.1	23.5	23.6	22.5	18.8	15.2	12.9 °C
min T	5.5	4.6	5.3	8.1	7.4	13.0	12.7	14.1	14.8	9.6	8.2	5.4 °C
max T	19.8	19.8	22.4	24.1	26.5	29.5	32.7	33.1	30.8	26.0	23.5	22.3 °C
G	2.9	3.6	5.8	7.2	8.8	9.5	10.2	8.7	6.7	4.7	3.1	2.3 kWh/m <sup>2</sup>
D	1.2	1.6	2.3	2.3	3.1	2.8	2.5	2.5	2.0	2.0	1.2	1.1 kWh/m <sup>2</sup>
U	84	82	78	76	75	74	73	74	77	81	83	85 %
v	2.3	2.9	3.5	3.5	3.9	4.0	3.3	3.8	3.2	2.7	2.7	3.0 m/s

## APÊNDICE B – ENVOLVENTE: CONSTITUIÇÃO E COEFICIENTES

### 1. Envolvente opaca exterior e interior

PE1: Parede exterior em alvenaria simples de 0,3 m de espessura, com isolamento térmico pelo exterior constituída (do exterior para o interior) por: ISODUR, com espessura de 0,08 m e coeficiente de condutibilidade térmica de 0,05 W/(m.°C); Betão, com espessura de 0,2 m e coeficiente de condutibilidade térmica de 2 W/(m.°C); Estuque projectado, com espessura de 0,02 m e coeficiente de condutibilidade térmica de 0,3 W/(m.°C);

Parede Exterior - PE1							
Material (do exterior para interior)	Espessura (m)	$\lambda$ (W/m°C)	R (m²°C/W)	U (W/m²°C)	$\rho$ (kg/m³)	(kg/m²)	Msi (kg/m²)
ISODUR	0,08	0,05	1,60	0,52			150
Betão	0,2	2	0,10		2500	500	
Estuque projetado	0,02	0,3	0,07		900	18	
Resistência de Superficiais Interior			0,13				
Resistência Superficial Exterior			0,04				
Total	0,3		1,94			518	

CBE1: Cobertura exterior, com isolamento térmico pelo exterior constituída (do exterior para o interior) por: Lajeta térmica, com espessura de 0,08 m e coeficiente de condutibilidade térmica de 0,035 W/(m.°C); Betonilha de regularização, com espessura de 0,05 m e coeficiente de condutibilidade térmica de 0,33 W/(m.°C); Betão, com espessura de 0,25 m e coeficiente de condutibilidade térmica de 2 W/(m.°C); Caixa de ar, com espessura de 0,2 m e resistência térmica de 0,16 (m².°C)/W; Gesso cartonado, com espessura de 0,013 m e coeficiente de condutibilidade térmica de 0,25 W/(m.°C);

Cobertura Exterior - CBE1							
Material (do exterior para o interior)	Espessura (m)	$\lambda$ (W/m°C)	R (m²°C/W)	U (W/m²°C)	$\rho$ (kg/m³)	(kg/m²)	Msi (kg/m²)
Lajeta térmica	0,08	0,035	2,29	0,34			13
Betonilha de regularização	0,05	0,33	0,15				
Betão	0,25	2	0,13				
Caixa de ar	0,2		0,16				
Gesso cartonado	0,013	0,25	0,05		1000	13	
Resistência de Superficiais Exterior			0,04			13	
Resistência de Superficiais Interior			0,10				
Total	0,593		2,91				

PVE1: Pavimento exterior, com isolamento térmico pelo interior constituída (do interior para o exterior) por: Revestimento de piso, com espessura de 0,02 m e coeficiente de condutibilidade térmica de 1,3 W/(m.°C); Betonilha de regularização, com espessura de 0,05 m e coeficiente de condutibilidade térmica de 0,33 W/(m.°C); Betão, com espessura de 0,25 m e coeficiente de

condutibilidade térmica de 2 W/(m.°C); ISODUR, com espessura de 0,08 m e coeficiente de condutibilidade térmica de 0,05 W/(m.°C);

Pavimento Exterior - PVE1							
Material (do exterior para o interior)	Espessura (m)	$\lambda$ (W/m°C)	R (m²°C/W)	U (W/m²°C)	$\rho$ (kg/m³)	(kg/m²)	Msi (kg/m²)
Revestimento de piso	0,02	1,3	0,02	0,48	2000	40	150
Betonilha de regularização	0,05	0,33	0,15		1000	50	
Betão	0,25	2	0,13		2300	575	
ISODUR	0,08	0,05	1,60				
Resistência de Superficiais Exterior			0,04				
Resistência de Superficiais Interior			0,17				
Total	0,4		2,10			665	

PI1: Parede interior em alvenaria simples de 0,15 m de espessura, sem isolamento térmico constituída (do interior para o ENU) por: Estuque projetado, com espessura de 0,02 m e coeficiente de condutibilidade térmica de 0,3 W/(m.°C); Tijolo, com espessura de 0,11 m e resistência térmica de 0,27 (m².°C)/W; Estuque projetado, com espessura de 0,02 m e coeficiente de condutibilidade térmica de 0,3 W/(m.°C);

Parede Interior - PI1							
Material (do exterior para interior)	Espessura (m)	$\lambda$ (W/m°C)	R (m²°C/W)	U (W/m²°C)	$\rho$ (kg/m³)	(kg/m²)	Msi (kg/m²)
Estuque projetado	0,02	0,3	0,07	1,51	900	18	119,27
Tijolo	0,11		0,27		757	83,27	
Estuque projetado	0,02	0,3	0,07		900	18	
Resistência de Superficiais Interior			0,13				
Resistência de Superficiais Interior			0,13				
Total	0,15		0,66				

PI2: Parede interior em alvenaria simples de 0,24 m de espessura, sem isolamento térmico constituída (do interior para o ENU) por: Estuque projetado, com espessura de 0,02 m e coeficiente de condutibilidade térmica de 0,3 W/(m.°C); Betão, com espessura de 0,2 m e coeficiente de condutibilidade térmica de 2 W/(m.°C); Estuque projetado, com espessura de 0,02 m e coeficiente de condutibilidade térmica de 0,3 W/(m.°C);

Parede Interior - PI2							
Material (do exterior para interior)	Espessura (m)	$\lambda$ (W/m°C)	R (m²°C/W)	U (W/m²°C)	$\rho$ (kg/m³)	(kg/m²)	Msi (kg/m²)
Estuque projetado	0,02	0,3	0,07	2,03	900	18	150
Betão	0,2	2	0,10		2300	460	
Estuque projetado	0,02	0,3	0,07		900	18	

Parede Interior – PI2							
Material (do exterior para interior)	Espessura (m)	$\lambda$ (W/m <sup>2</sup> °C)	R (m <sup>2</sup> °C/W)	U (W/m <sup>2</sup> °C)	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	(kg/m <sup>2</sup> )	Msi (kg/m <sup>2</sup> )
Resistência de Superficiais Interior			0,13				
Resistência de Superficiais Interior			0,13				
Total	0,24		0,49			496	

PI3: Parede interior em contacto com o solo em alvenaria simples de 0,26 m de espessura, com isolamento térmico pelo exterior constituída (do interior para o exterior) por: Poliestireno expandido extrudido, com espessura de 0,04 m e coeficiente de condutibilidade térmica de 0,037 W/(m.°C); Betão, com espessura de 0,2 m e coeficiente de condutibilidade térmica de 2 W/(m.°C); Estuque projetado, com espessura de 0,02 m e coeficiente de condutibilidade térmica de 0,3 W/(m.°C);

Parede Interior – PI3							
Material (do exterior para interior)	Espessura (m)	$\lambda$ (W/m <sup>2</sup> °C)	R (m <sup>2</sup> °C/W)	U (W/m <sup>2</sup> °C)	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	(kg/m <sup>2</sup> )	Msi (kg/m <sup>2</sup> )
Poliestireno expandido extrudido	0,04	0,037	1,08	0,80			150
Betão	0,2	2	0,10		2300	460	
Estuque projetado	0,02	0,3	0,07		900	18	
Resistência de Superficiais Interior							
Resistência de Superficiais Interior							
Total	0,26		1,25			478	

PI4: Parede interior em contacto com espaços complementares, com isolamento térmico pelo exterior constituído (do exterior para o interior) por: Placa de gesso cartonado, com espessura de 0,013 m e coeficiente de condutibilidade térmica de 0,25 W/(m.°C); Lã de rocha, com espessura de 0,04 m e coeficiente de condutibilidade térmica de 0,04 W/(m.°C); Tijolo, com espessura de 0,11 m e resistência térmica de 0,27 (m<sup>2</sup>.°C)/W; Reboco, com espessura de 0,02 m e coeficiente de condutibilidade térmica de 1,3 W/(m.°C);

Parede interior - PI4							
Material (do exterior para interior)	Espessura (m)	$\lambda$ (W/m <sup>2</sup> °C)	R (m <sup>2</sup> °C/W)	U (W/m <sup>2</sup> °C)	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	(kg/m <sup>2</sup> )	Msi (kg/m <sup>2</sup> )
Placa de gesso cartonado	0,013	0,25	0,05	0,63			123,27
Lã de rocha	0,04	0,04	1,00				
Tijolo	0,11		0,27		757	83,27	
Reboco	0,02	1,3	0,02		2000	40	
Resistencia Superficial Interior			0,13				
Resistencia Superficial Interior			0,13				

Total	0,183		1,60			123,27	
-------	-------	--	------	--	--	--------	--

PVI1: Pavimento interior, sem isolamento térmico, constituído (do interior para o ENU) por: Revestimento de piso, com espessura de 0,02 m e coeficiente de condutibilidade térmica de 1,3 W/(m.°C); Betonilha de regularização, com espessura de 0,05 m e coeficiente de condutibilidade térmica de 0,33 W/(m.°C); Betão, com espessura de 0,25 m e coeficiente de condutibilidade térmica de 2 W/(m.°C); Caixa de ar, com espessura de 0,2 m e resistência térmica de 0,22 (m<sup>2</sup>.°C)/W; Gesso cartonado, com espessura de 0,013 m e coeficiente de condutibilidade térmica de 0,25 W/(m.°C);

Pavimento Interior - PVI1							
Material (do exterior para o interior)	Espessura (m)	$\lambda$ (W/m <sup>°C</sup> )	R (m <sup>2</sup> °C/W)	U (W/m <sup>2</sup> °C)	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	(kg/m <sup>2</sup> )	Msi (kg/m <sup>2</sup> )
Revestimento de piso	0,02	1,3	0,02	1,11	2000	40	150
Betonilha de regularização	0,05	0,33	0,15		1000	50	
Betão	0,25	2	0,13		2300	575	
Caixa de ar	0,2		0,22				
Gesso cartonado	0,013	0,25	0,05				
Resistência de Superficiais Interior			0,17				
Resistência de Superficiais Interior			0,17				
Total	0,533		0,90			665	

CBI1: Cobertura interior, sem isolamento térmico, constituída (do ENU para o interior) por: Revestimento de piso, com espessura de 0,02 m e coeficiente de condutibilidade térmica de 1,3 W/(m.°C); Betonilha de regularização, com espessura de 0,05 m e coeficiente de condutibilidade térmica de 0,33 W/(m.°C); Betão, com espessura de 0,25 m e coeficiente de condutibilidade térmica de 2 W/(m.°C); Caixa de ar, com espessura de 0,2 m e resistência térmica de 0,16 (m<sup>2</sup>.°C)/W; Gesso cartonado, com espessura de 0,013 m e coeficiente de condutibilidade térmica de 0,25 W/(m.°C);

Cobertura Interior - CBI1							
Material (do exterior para o interior)	Espessura (m)	$\lambda$ (W/m <sup>°C</sup> )	R (m <sup>2</sup> °C/W)	U (W/m <sup>2</sup> °C)	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	(kg/m <sup>2</sup> )	Msi (kg/m <sup>2</sup> )
Revestimento de piso	0,02	1,3	0,02	1,42			13
Betonilha de regularização	0,05	0,33	0,15				
Betão	0,25	2	0,13				
Caixa de ar	0,2		0,16				
Gesso cartonado	0,013	0,25	0,05		1000	13	
Resistência de Superficiais Interior			0,10				
Resistência de Superficiais Interior			0,10				
Total	0,533		0,70			13	

PVT1: Pavimento térreo, com isolamento térmico constituído (do interior para o solo) por: Revestimento de piso, com espessura de 0,02 m e coeficiente de condutibilidade térmica de 1,3 W/(m.°C); Betonilha de regularização, com espessura de 0,05 m e coeficiente de condutibilidade térmica de 0,33 W/(m.°C); Poliestireno extrudido expandido, com espessura de 0,04 m e coeficiente de condutibilidade térmica de 0,037 W/(m.°C); Laje Betão, com espessura de 0,3 m e coeficiente de condutibilidade térmica de 2 W/(m.°C);

Pavimento Térreo - PVT1							
Material (do exterior para o interior)	Espessura (m)	$\lambda$ (W/m°C)	R (m²°C/W)	U (W/m²°C)	$\rho$ (kg/m³)	(kg/m²)	Msi (kg/m²)
Revestimento de piso	0,02	1,3	0,02	0,72	2000	40	90
Betonilha de regularização	0,05	0,33	0,15		1000	50	
Poliestireno extrudido expandido	0,04	0,037	1,08				
Laje Betão	0,3	2	0,15				
Total	0,41		1,40			90	

## 2. Envolvente envidraçada exterior

Envidraçado 01: caixilharia metálica com corte térmico, constituída por vidro duplo Guardian 10mm T-HST SunGuard HP 50/32 + Caixa de Ar 16mm + Laminado 6+6 HT SR. Proteção solar interior em cortinas ligeiramente transparentes de cor clara:

$$U = 1,5 \quad \text{W/m}^2 \cdot \text{°C}$$

$$g_{\perp Vi} = 0,31$$

$$g_{\perp T} = 0,16$$

Envidraçado 02: Fachada cortina constituída por Pentagonal Fitechnic em aço inox com vidro laminado Critemp Temperado Silver grey 32 de 10mm PVB SG41 solar + Vanceva SG e Temperado Baixo emissivo pirolítico 10mm, suspenso por cabos de aço. Sem equipamentos de proteção solar:

$$U = 3,3 \quad \text{W/m}^2 \cdot \text{°C}$$

$$g_{\perp Vi} = 0,22$$

$$g_{\perp T} = 0,22$$

Envidraçado 03: caixilharia metálica com corte térmico, constituída por vidro duplo Guardian SunGuard HD Silver 20 Laminado 10+10 HT + Caixa de Ar 16mm + Climaguard Premium 2 LamiGlass 5+5. Sem equipamentos de proteção solar:

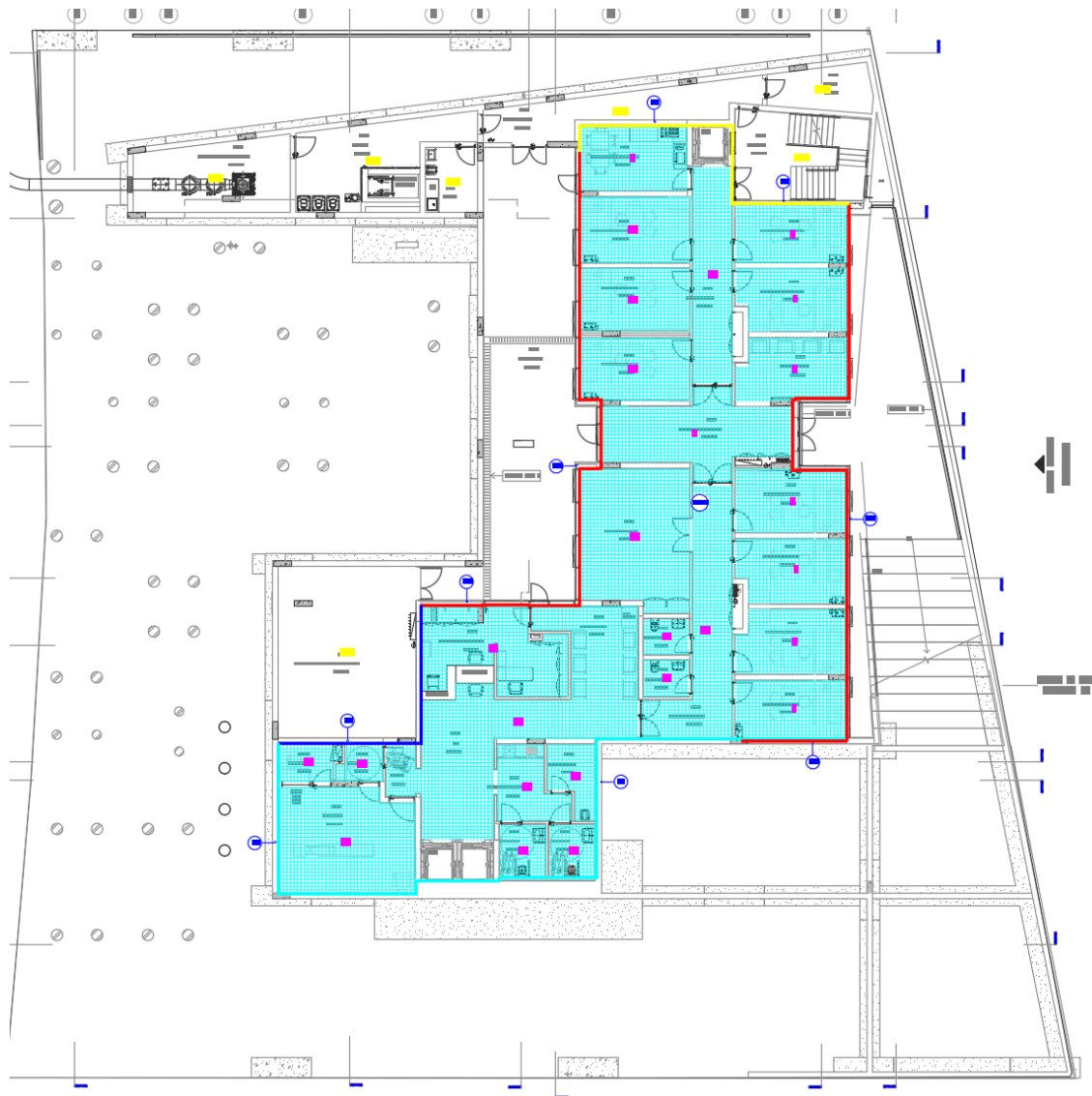
$$U = 2,25 \quad \text{W/m}^2 \cdot \text{°C}$$

$$g_{\perp Vi} = 0,15$$

$$g_{\perp T} = 0,15$$

## APÊNDICE C – MARCAÇÃO DA ENVOLVENTE

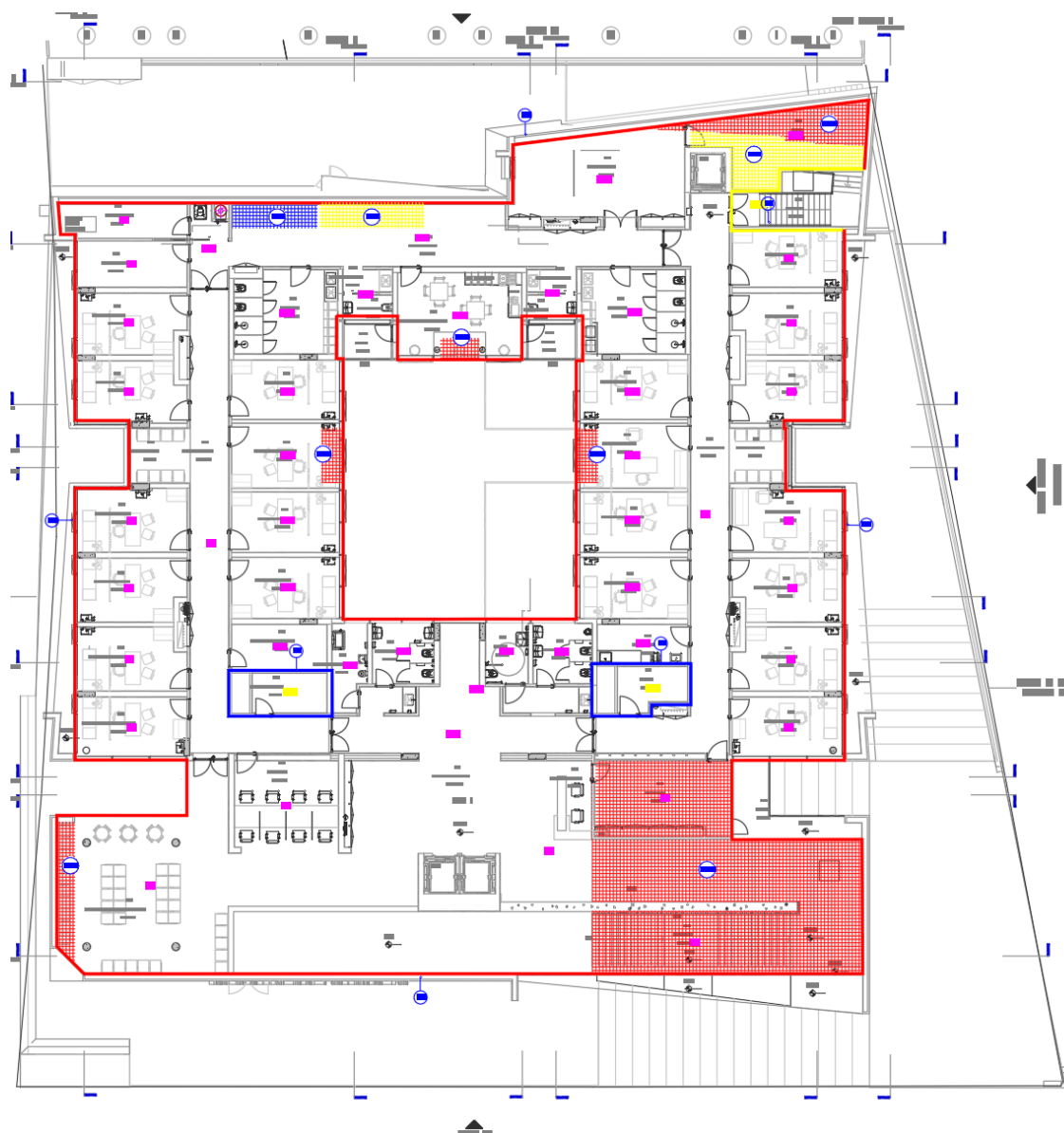
### Plantas de Pavimento



Piso -1

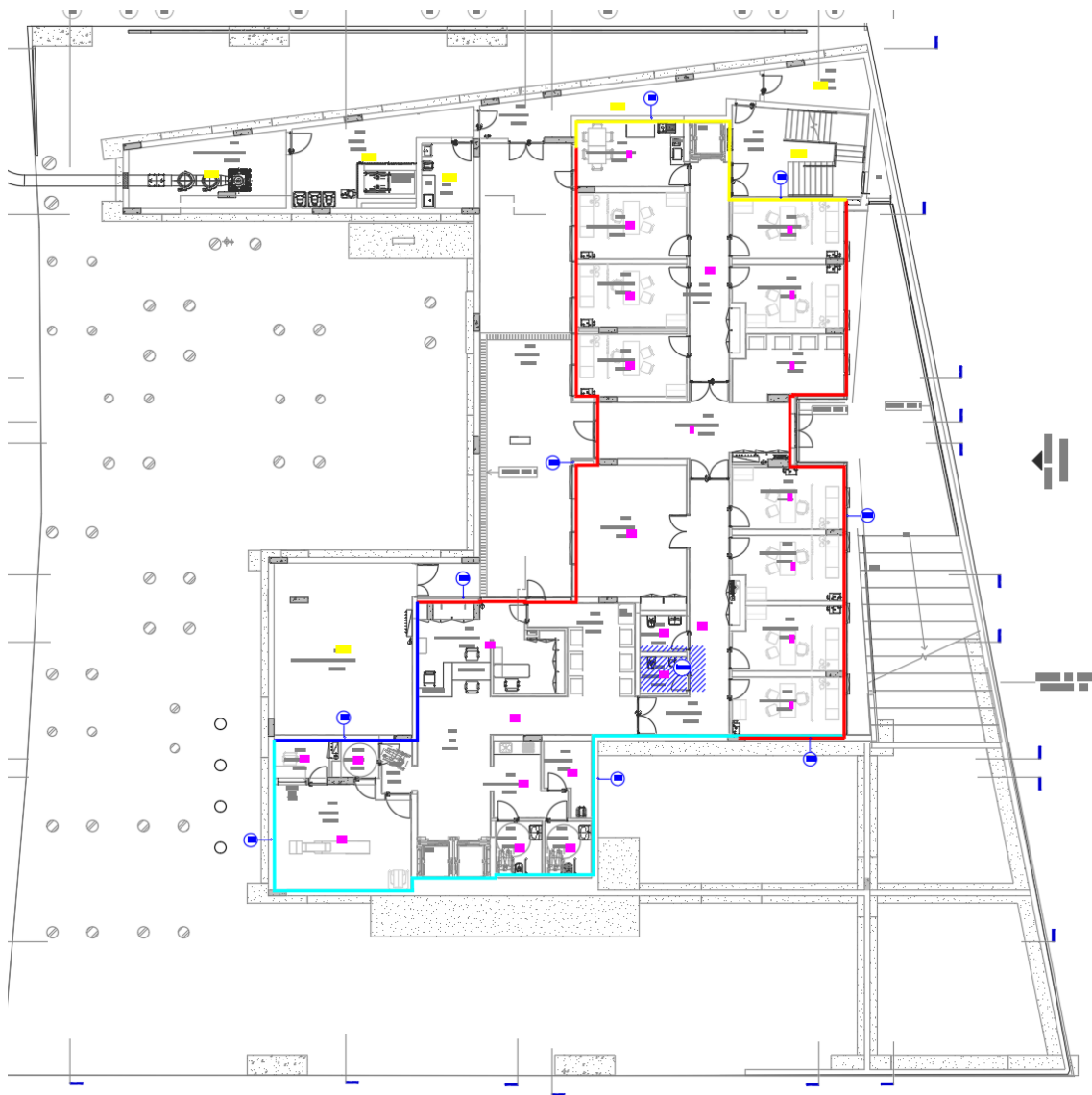


Piso 0

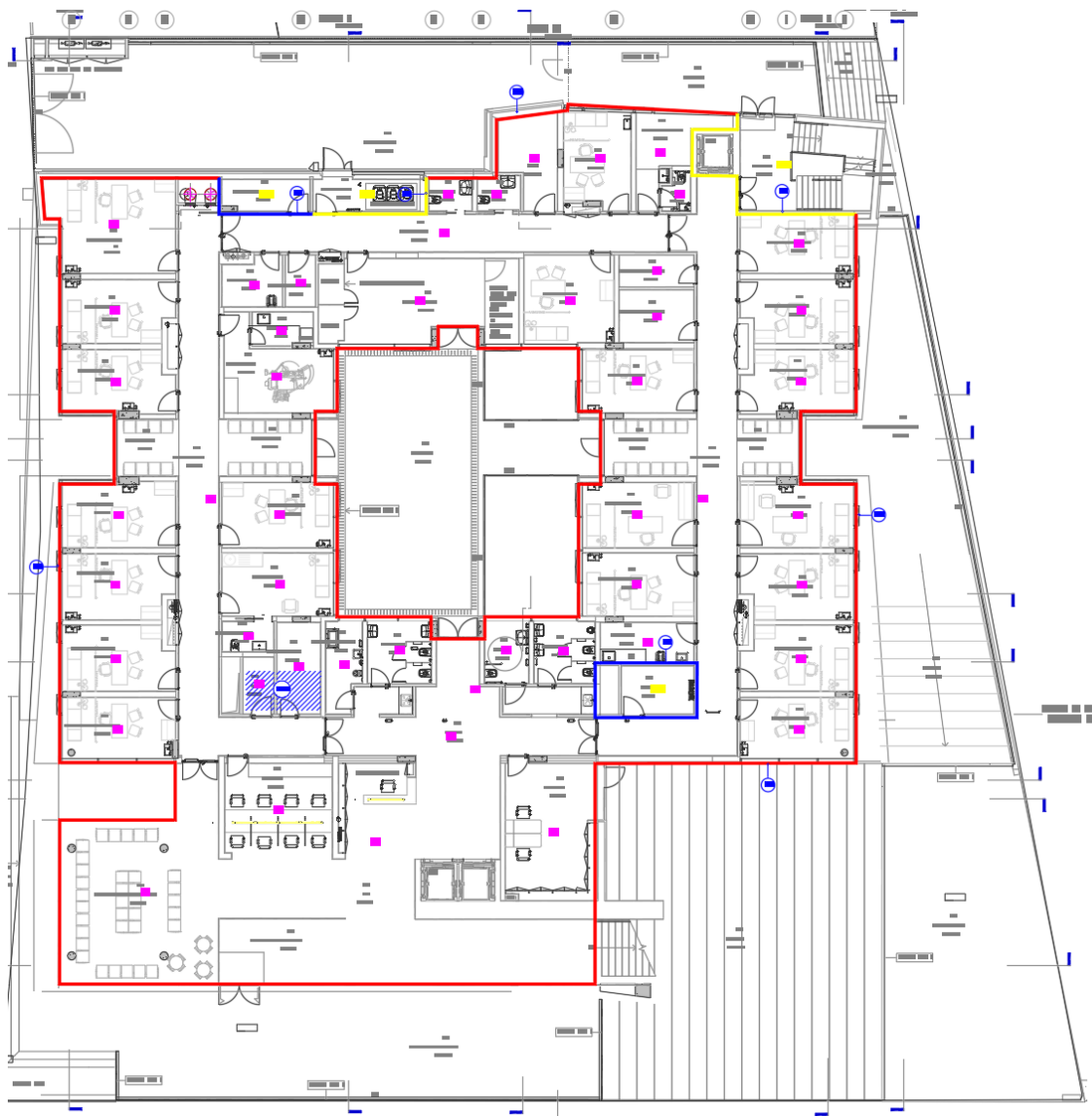


Piso 1

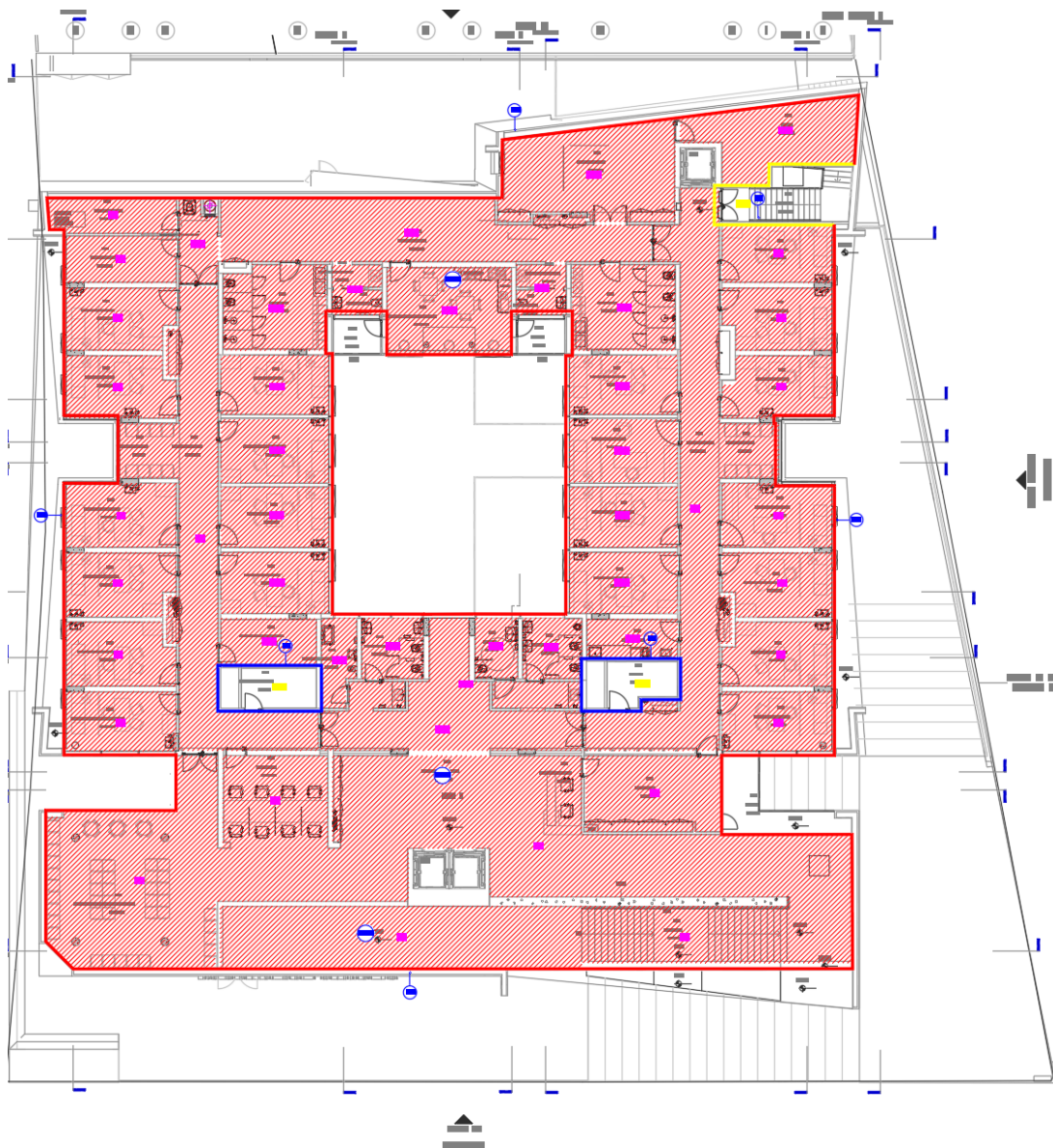
## Plantas de coberturas



Piso -1

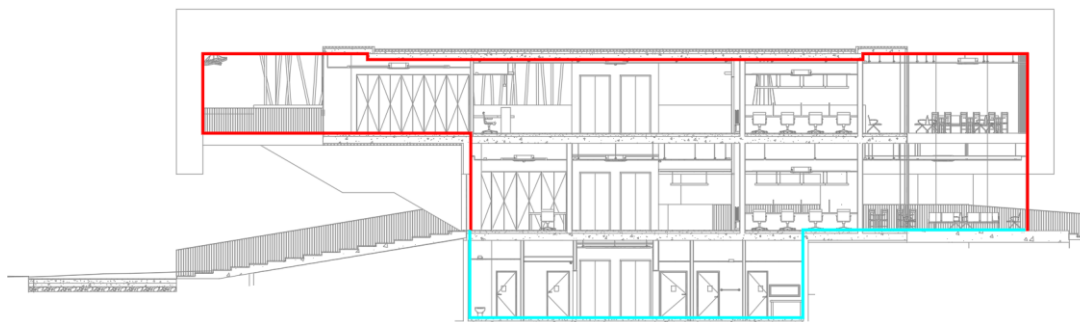


Piso 0



Piso 1

**Corte**



## APÊNDICE D – CÁLCULO DA INÉRCIA TÉRMICA

Elemento	$M_{si}$ elemento (kg/m <sup>2</sup> )	$M_{si}$ (kg/m <sup>2</sup> )	r	$S_i$ (m <sup>2</sup> )	$M_{si} \cdot S_i \cdot r$ (kg)
Parede Exterior PE1	518	150	1	692,97	103945,50
Parede Interior PI1	119,27	119,27	1	301,94	36012,38
Parede Interior PI2	496	150	1	5,62	843,00
Parede Interior PI3	478	150	1	87,56	13134,00
Parede Interior PI4	123,27	123,7	1	15,00	1855,50
Cobertura Exterior CBE1	13	13	1	964,10	12533,30
Pavimento Exterior PVE1	665	150	1	116,20	17430,00
Pavimento Interior PVI1	665	150	1	82,23	12334,50
Cobertura Interior CBI1	13	13	1	10,64	138,32
Pavimento Térreo PVT1	90	90	1	776,22	69859,80
Paredes divisórias	119,27	119,27	1	607,01	72398,08
Pavimentos interiores	665	300	1	1225,90	367770,00
Tetos interiores	13	300	1	1225,81	367743,00
				Total	1075997,39
					/
				$A_p$ (m <sup>2</sup> )	2200,55
				<b>It Forte</b>	488,97

## APÊNDICE E – CÁLCULO DO $B_{ZTU}$

Espaços não úteis	Ai (m <sup>2</sup> )	Au (m <sup>2</sup> )	Ai/Au	Venu (m <sup>3</sup> )	Vent	b <sub>ztu</sub>
P-1-125-Zona Técnica	6,69	50,4	0,13	66,46	-	1
P-1-126-Resíduos Urbanos	-	-	-	-	-	-
P-1-127-Sujos	4,74	15,45	0,31	20,10	-	1
P-1-128-Circulacao	28,34	49,47	0,57	60,48	f	0,8
P-1-129-Arrumos	-	-	-	-	-	-
P-1-130-Escadas	-	-	-	-	-	1
P-1-131-Sala Manutenção	77,07	47,19	1,63	146,21	f	0,7
P0-132-Resíduos Contaminados	15,94	11,67	1,37	21,91	f	0,6
P0-133-Resíduos Urbanos	24	14,37	1,67	26,91	F	0,8
P0-134-Escadas	-	-	-	-	-	1
P0-135-Bastidor	31,83	-	-	25,21	f	0,3
P1-136-Hall Escadas	-	-	-	-	-	1
P1-137-Bastidor	25,3758	-	-	25,21	f	0,6
P1-138-Arrumos	23,34	-	-	23,10	f	0,3

## APÊNDICE F – DADOS GERAIS DO EDIFÍCIO (ÁREAS, OCUPAÇÃO, ILUMINAÇÃO E PERFIS)

Áreas e Ocupação					
Espaços	Piso	Área [m <sup>2</sup> ]	Pé Direito [m]	Volume [m <sup>3</sup> ]	Ocupação Real
P-1-1-Gabinete	-1	13,35	3,05	40,72	3
P-1-2-Gabinete	-1	13,75	3,05	41,94	3
P-1-3-Bolsa de Espera	-1	13,50	3,05	41,18	4
P-1-4-Circulacao	-1	24,04	3,05	73,32	
P-1-5-Gabinete	-1	14,44	3,05	44,04	3
P-1-6-Gabinete	-1	14,17	3,05	43,22	3
P-1-7-Gabinete	-1	14,14	3,05	43,13	3
P-1-8-Gabinete	-1	13,40	3,05	40,87	3
P-1-9-Sala Pessoal	-1	14,24	3,05	43,43	6
P-1-10-Gabinete	-1	14,82	3,05	45,20	3
P-1-11-Gabinete	-1	14,24	3,05	43,43	3
P-1-12-Gabinete	-1	14,24	3,05	43,43	3
P-1-13-Circulacao	-1	17,20	3,05	52,46	
P-1-14-Gabinete Grupos	-1	30,44	3,05	92,84	10
P-1-15-Circulacao	-1	24,21	3,05	73,84	
P-1-16-IS M	-1	3,30	3,05	10,06	
P-1-17-IS F	-1	3,30	3,05	10,06	
P-1-18-Circulacao Espera	-1	51,29	3,05	156,43	6
P-1-19-Atendimento	-1	20,70	3,05	63,14	3
P-1-20-Arrumos	-1	6,04	3,05	18,41	
P-1-21-Hall IS	-1	8,69	3,05	26,50	
P-1-22-IS M	-1	5,06	3,05	15,43	
P-1-23-IS F	-1	5,06	3,05	15,43	
P-1-24-Sala RX	-1	28,56	3,05	87,11	3
P-1-25-Vestiario	-1	3,13	3,05	9,55	
P-1-26-Comando	-1	4,35	3,05	13,27	1
P0-27-Gabinete	0	13,30	3,85	51,21	3
P0-28-Gabinete	0	13,75	3,85	52,94	3
P0-29-Gabinete	0	13,47	3,85	51,86	3
P0-30-Circulacao	0	72,38	3,85	278,66	13
P0-31-Gabinete	0	14,48	3,85	55,75	2
P0-32-Gabinete	0	14,17	3,85	54,55	3
P0-33-Gabinete	0	14,15	3,85	54,48	3
P0-34-Sala Tratamentos	0	13,89	3,85	53,48	3
P0-35-Secretariado	0	25,35	3,85	97,60	2
P0-36-Entrada	0	47,34	8,00	378,72	
P0-37-Atrio	0	53,68	3,85	206,67	10
P0-38-Atendimento	0	19,79	3,85	76,18	8

Áreas e Ocupação					
Espaços	Piso	Área [m <sup>2</sup> ]	Pé Direito [m]	Volume [m <sup>3</sup> ]	Ocupação Real
P0-39-Sala Espera	0	56,32	3,85	216,83	47
P0-40-Gabinete	0	13,75	3,85	52,94	3
P0-41-Gabinete	0	14,20	3,85	54,67	3
P0-42-Gabinete	0	14,07	3,85	54,17	3
P0-43-Gabinete	0	14,62	3,85	56,29	3
P0-44-Circulacao	0	71,75	3,85	276,24	20
P0-45-Gabinete	0	13,58	3,85	52,28	3
P0-46-Gabinete	0	13,71	3,85	52,78	3
P0-47-Gabinete	0	22,90	3,85	88,17	3
P0-48-Circulacao	0	33,13	3,85	127,55	
P0-49-IS M	0	2,77	3,85	10,68	
P0-50-IS F	0	2,87	3,85	11,05	
P0-51-Arquivo	0	9,27	3,85	35,69	
P0-52-Gabinete	0	13,43	3,85	51,71	2
P0-53-Gabinete Iso	0	9,21	3,85	35,46	1
P0-54-IS	0	1,78	3,85	6,85	
P0-55-Arrumos	0	4,61	3,85	17,77	
P0-56-Arrumos	0	7,96	3,85	30,63	
P0-57-Gabinete	0	13,87	3,85	53,40	3
P0-58-Gabinete	0	14,23	3,85	54,79	2
P0-59-Sala de Tratamentos	0	13,81	3,85	53,17	3
P0-60-Sujos	0	7,48	3,85	28,81	
P0-61-IS M	0	7,52	3,85	28,95	
P0-62-IS	0	5,45	3,85	20,98	
P0-63-Circulacao	0	9,04	3,85	34,80	
P0-64-Circulacao	0	29,67	3,85	114,23	
P0-65-IS F	0	7,87	3,85	30,30	
P0-66-IS P	0	5,93	3,85	22,83	
P0-67-Arrumos	0	7,81	3,85	30,06	
P0-68-Arrumos	0	3,33	3,85	12,83	
P0-69-IS	0	3,10	3,85	11,93	
P0-70-Sala Colheitas	0	13,83	3,85	53,25	2
P0-71-Gabinete	0	14,38	3,85	55,36	3
P0-72-Gabinete	0	13,37	3,85	51,47	3
P0-73-Esterilizacao	0	4,11	3,85	15,82	
P0-74-Arrumos	0	5,52	3,85	21,25	
P0-75-Arrumos	0	3,06	3,85	11,78	
P0-76-Sala Movimento	0	32,34	3,85	124,51	8
P0-77-Gabinete Poli	0	15,58	3,85	59,98	3
P1-78-Gabinete	1	13,30	3,85	51,21	3
P1-79-Gabinete	1	13,77	3,85	53,01	3

Áreas e Ocupação					
Espaços	Piso	Área [m <sup>2</sup> ]	Pé Direito [m]	Volume [m <sup>3</sup> ]	Ocupação Real
P1-80-Gabinete	1	13,26	3,85	51,05	3
P1-81-Circulacao	1	64,58	3,85	248,63	8
P1-82-Gabinete	1	14,62	3,85	56,29	2
P1-83-Gabinete	1	14,26	3,85	54,90	3
P1-84-Gabinete	1	14,17	3,85	54,55	3
P1-85-Sala Tratamentos	1	13,77	3,85	53,01	3
P1-86-Secretariado	1	21,61	3,85	83,20	3
P1-87-Hall	1	123,22	3,85	474,40	2
P1-88-Escadas	1	24,52	7,00	171,64	
P1-89-Atendimento	1	20,29	3,85	78,12	8
P1-90-Sala Espera	1	60,97	3,85	234,73	47
P1-91-Gabinete	1	13,75	3,85	52,94	3
P1-92-Gabinete	1	14,20	3,85	54,67	3
P1-93-Gabinete	1	14,15	3,85	54,48	3
P1-94-Gabinete	1	14,61	3,85	56,25	3
P1-95-Circulacao	1	55,08	3,85	212,06	6
P1-96-Gabinete	1	13,71	3,85	52,78	3
P1-97-Gabinete	1	13,77	3,85	53,01	3
P1-98-Arrumos	1	10,75	3,85	41,39	
P1-99-Arrumos	1	9,34	3,85	35,96	
P1-100-Hall	1	6,30	3,85	24,24	
P1-101-Circulacao	1	49,79	3,85	191,69	
P1-102-Sala Reunioes	1	32,49	3,85	125,09	10
P1-103-Arquivo	1	21,03	3,85	80,97	
P1-104-Vestiario	1	18,43	3,85	70,95	
P1-105-Gabinete	1	13,24	3,85	50,97	3
P1-106-Gabinete	1	14,18	3,85	54,59	2
P1-107-Gabinete	1	13,63	3,85	52,48	3
P1-108-Sala de Tratamentos	1	13,81	3,85	53,17	3
P1-109-Sujos	1	7,48	3,85	28,81	
P1-110-IS M	1	7,51	3,85	28,91	
P1-111-IS	1	5,37	3,85	20,67	
P1-112-Circulacao	1	10,45	3,85	40,23	
P1-113-Circulacao	1	29,57	3,85	113,84	
P1-114-IS	1	7,87	3,85	30,30	
P1-115-IS P	1	5,91	3,85	22,75	
P1-116-Arrumos	1	9,45	3,85	36,39	
P1-117-Gabinete	1	13,83	3,85	53,25	3
P1-118-Gabinete	1	13,66	3,85	52,59	3
P1-119-Gabinete	1	14,31	3,85	55,09	3
P1-120-Gabinete	1	13,30	3,85	51,21	3

Áreas e Ocupação					
Espaços	Piso	Área [m <sup>2</sup> ]	Pé Direito [m]	Volume [m <sup>3</sup> ]	Ocupação Real
P1-121-Vestiaro	1	17,82	3,85	68,62	
P1-122-IS F	1	4,96	3,85	19,10	
P1-123-Sala Pessoal	1	22,85	3,85	87,97	8
P1-124-IS M	1	4,97	3,85	19,13	
				0,00	
P-1-125-Zona Tecnica	-1	21,79	3,05	66,46	
P-1-126-Residuos Urbanos	-1	24,62	3,05	75,09	
P-1-127-Sujos	-1	6,59	3,05	20,10	
P-1-128-Circulacao	-1	19,83	3,05	60,48	
P-1-129-Arrumos	-1	9,38	3,05	28,60	
P-1-130-Escadas	-1	23,10	3,05	70,45	
P-1-131-Sala Manutenção	-1	47,94	3,05	146,21	
P0-132-Residuos Contaminados	0	5,69	3,85	21,91	
P0-133-Residuos Urbanos	0	6,99	3,85	26,91	
P0-134-Escadas	0	23,65	3,85	91,05	
P0-135-Bastidor	0	6,55	3,85	25,21	
P1-136-Hall Escadas	1	12,34	3,85	47,51	
P1-137-Bastidor	1	6,55	3,85	25,21	
P1-138-Arrumos	1	6,00	3,85	23,10	
Área Térmica		2200,55	3,83	8434,10	
Área Pavimento		2421,55	3,78	9162,36	

Espaços	Iluminação de projeto / referência							
	Projeto			Referência		Iluminação   Máx	Referência	
	Pot. [W]	Taxa [W/m <sup>2</sup> ]	Ilumi. [Lux]	Ilumi. [Lux]	DPI [(W/m <sup>2</sup> )/100 lux]	Taxa (130%) [W/m <sup>2</sup> ]	Taxa [W/m <sup>2</sup> ]	Potência [W]
Exterior	420							
P-1-1-Gabinete	88	6,56	530	500	2,30	14,95	11,50	153,53
P-1-2-Gabinete	88	6,37	530	500	2,30	14,95	11,50	158,13
P-1-3-Bolsa de Espera	78	5,75	395	200	2,30	5,98	4,60	62,10
P-1-4-Circulacao	70	2,90	395	100	2,30	2,99	2,30	55,29
P-1-5-Gabinete	88	6,06	530	500	2,30	14,95	11,50	166,06

Espaços	Iluminação de projeto / referência							
	Projeto			Referência		Iluminação   Máx	Referência	
	Pot. [W]	Taxa [W/m <sup>2</sup> ]	Ilumi. [Lux]	Ilumi. [Lux]	DPI [(W/m <sup>2</sup> )/100 lux]	Taxa (130%) [W/m <sup>2</sup> ]	Taxa [W/m <sup>2</sup> ]	Potência [W]
P-1-6- Gabinete	88	6,18	530	500	2,30	14,95	11,50	162,97
P-1-7- Gabinete	88	6,19	530	500	2,30	14,95	11,50	162,61
P-1-8- Gabinete	88	6,53	530	500	2,30	14,95	11,50	154,10
P-1-9-Sala Pessoal	85	5,98	354	300	2,30	8,97	6,90	98,26
P-1-10- Gabinete	88	5,91	530	500	2,30	14,95	11,50	170,43
P-1-11- Gabinete	88	6,15	530	500	2,30	14,95	11,50	163,76
P-1-12- Gabinete	88	6,15	530	500	2,30	14,95	11,50	163,76
P-1-13- Circulacao	50	2,93	159	100	2,30	2,99	2,30	39,56
P-1-14- Gabinete Grupos	180	5,90	532	500	1,50	9,75	7,50	228,30
P-1-15- Circulacao	69	2,87	151	100	2,30	2,99	2,30	55,68
P-1-16-IS M	15	4,53	212	200	2,30	5,98	4,60	15,18
P-1-17-IS F	15	4,53	213	200	2,30	5,98	4,60	15,18
P-1-18- Circulacao Espera	202	3,94	389	200	2,30	5,98	4,60	235,93
P-1-19- Atendiment o	190	9,18	500	500	1,50	9,75	7,50	155,25
P-1-20- Arrumos	12	2,00	163	100	2,10	2,73	2,10	12,68
P-1-21-Hall IS	30	3,44	202	200	2,30	5,98	4,60	39,96
P-1-22-IS M	15	2,96	225	200	2,30	5,98	4,60	23,27
P-1-23-IS F	15	2,96	225	200	2,30	5,98	4,60	23,27
P-1-24-Sala RX	118	4,12	250	500	1,50	4,88	3,75	107,10
P-1-25- Vestiaro	15	4,78	275	200	2,30	5,98	4,60	14,40
P-1-26- Comando	42	9,59	509	500	1,50	9,75	7,50	32,63
P0-27- Gabinete	88	6,58	530	500	2,30	14,95	11,50	152,95

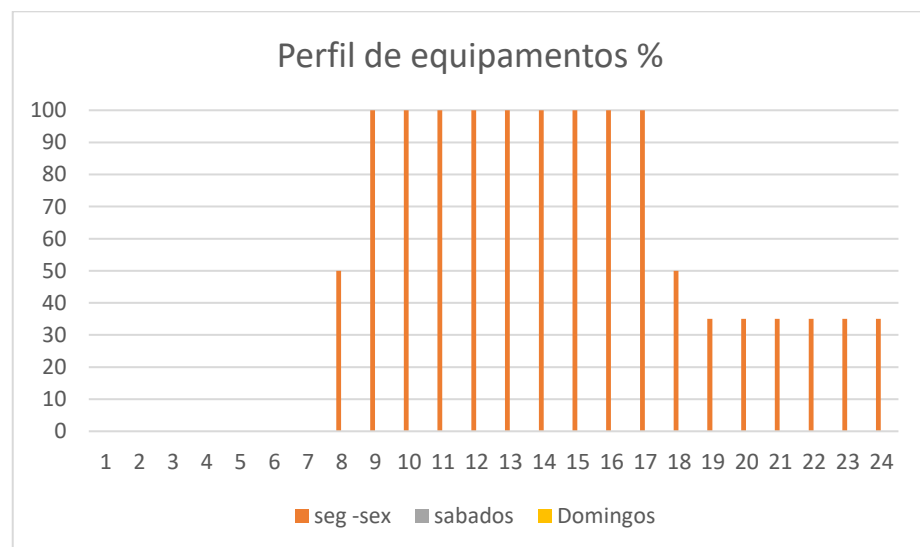
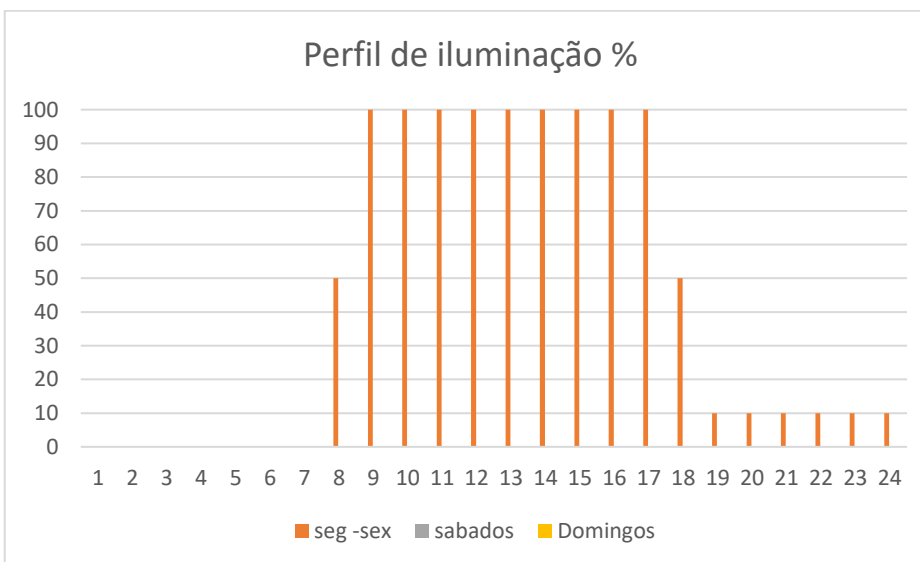
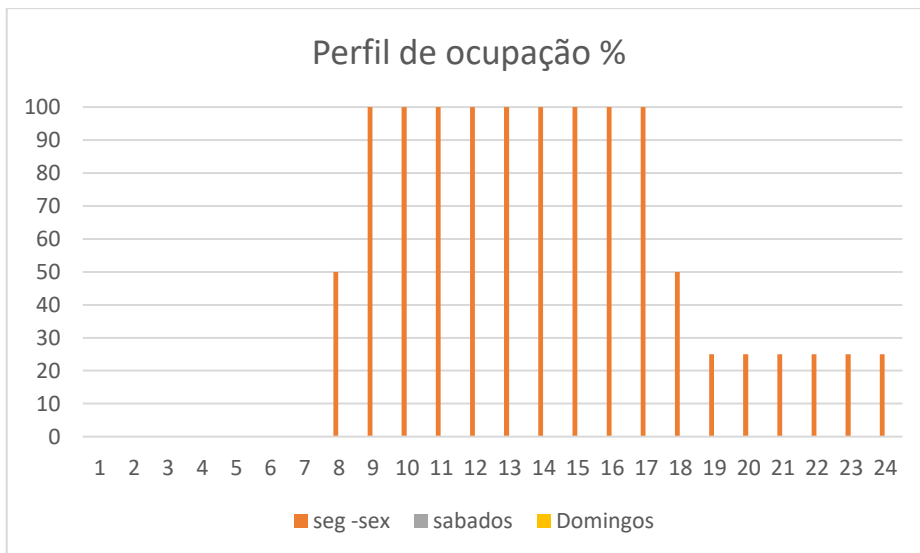
Espaços	Iluminação de projeto / referência							
	Projeto			Referência		Iluminação   Máx	Referência	
	Pot. [W]	Taxa [W/m <sup>2</sup> ]	Ilumi. [Lux]	Ilumi. [Lux]	DPI [(W/m <sup>2</sup> )/100 lux]	Taxa (130%) [W/m <sup>2</sup> ]	Taxa [W/m <sup>2</sup> ]	Potência [W]
P0-28- Gabinete	88	6,37	530	500	2,30	14,95	11,50	158,13
P0-29- Gabinete	88	6,50	530	500	2,30	14,95	11,50	154,91
P0-30- Circulacao	192	2,66	127	100	2,30	2,99	2,30	166,47
P0-31- Gabinete	88	6,05	530	500	2,30	14,95	11,50	166,52
P0-32- Gabinete	88	6,18	530	500	2,30	14,95	11,50	162,96
P0-33- Gabinete	88	6,19	530	500	2,30	14,95	11,50	162,73
P0-34-Sala Tratamentos	88	6,30	530	500	2,30	14,95	11,50	159,74
P0-35- Secretariado	142	5,59	523	500	1,50	9,75	7,50	190,13
P0-36- Entrada	231	4,88	300	200	2,30	5,98	4,60	217,76
P0-37-Atrio	135	2,51	328	100	2,30	2,99	2,30	123,46
P0-38- Atendiment o	121	6,13	328	300	2,30	8,97	6,90	136,54
P0-39-Sala Espera	328	5,83	328	200	2,30	5,98	4,60	259,07
P0-40- Gabinete	88	6,37	530	500	2,30	14,95	11,50	158,13
P0-41- Gabinete	88	6,17	530	500	2,30	14,95	11,50	163,30
P0-42- Gabinete	88	6,22	530	500	2,30	14,95	11,50	161,81
P0-43- Gabinete	88	5,99	530	500	2,30	14,95	11,50	168,13
P0-44- Circulacao	187	2,61	188	100	2,30	2,99	2,30	165,03
P0-45- Gabinete	88	6,45	530	500	2,30	14,95	11,50	156,17
P0-46- Gabinete	88	6,39	530	500	2,30	14,95	11,50	157,67
P0-47- Gabinete	88	3,82	530	500	2,30	14,95	11,50	263,35
P0-48- Circulacao	96	2,89	123	100	2,30	2,99	2,30	76,20
P0-49-IS M	10	3,49	218	200	2,30	5,98	4,60	12,76
P0-50-IS F	10	3,37	225	200	2,30	5,98	4,60	13,20

Espaços	Iluminação de projeto / referência							
	Projeto			Referência		Iluminação   Máx	Referência	
	Pot. [W]	Taxa [W/m <sup>2</sup> ]	Ilumi. [Lux]	Ilumi. [Lux]	DPI [(W/m <sup>2</sup> )/100 lux]	Taxa (130%) [W/m <sup>2</sup> ]	Taxa [W/m <sup>2</sup> ]	Potência [W]
P0-51- Arquivo	16	1,73	263	100	2,10	2,73	2,10	19,47
P0-52- Gabinete	88	6,52	530	500	2,30	14,95	11,50	154,45
P0-53- Gabinete Iso	78	8,51	392	500	2,30	11,72	9,02	83,04
P0-54-IS	10	5,71	268	200	2,30	5,98	4,60	8,19
P0-55- Arrumos	7	1,47	111	100	2,10	2,73	2,10	9,69
P0-56- Arrumos	7	0,85	104	100	2,10	2,73	2,10	16,71
P0-57- Gabinete	88	6,31	530	500	2,30	14,95	11,50	159,51
P0-58- Gabinete	88	6,15	530	500	2,30	14,95	11,50	163,65
P0-59-Sala de Tratamentos	109	7,92	530	500	2,30	14,95	11,50	158,82
P0-60-Sujos	38	5,05	304	200	2,30	5,98	4,60	34,42
P0-61-IS M	20	2,60	251	200	2,30	5,98	4,60	34,59
P0-62-IS	19	3,49	239	200	2,30	5,98	4,60	25,07
P0-63- Circulacao	18	1,98	227	100	2,30	2,99	2,30	20,79
P0-64- Circulacao	86	2,89	227	100	2,30	2,99	2,30	68,24
P0-65-IS F	20	2,49	231	200	2,30	5,98	4,60	36,20
P0-66-IS P	27	4,63	204	200	2,30	5,98	4,60	27,28
P0-67- Arrumos	7	0,87	99	100	2,10	2,71	2,09	16,30
P0-68- Arrumos	7	2,04	199	100	2,10	2,73	2,10	7,00
P0-69-IS	10	3,12	201	200	2,30	5,98	4,60	14,26
P0-70-Sala Colheitas	109	7,91	530	500	1,50	9,75	7,50	103,73
P0-71- Gabinete	88	6,09	530	500	2,30	14,95	11,50	165,37
P0-72- Gabinete	97	7,28	452	500	2,30	13,51	10,40	138,99
P0-73- Esterilizacao	26	6,25	358	500	1,50	6,98	5,37	22,07
P0-74- Arrumos	7	1,23	265	100	2,10	2,73	2,10	11,59
P0-75- Arrumos	7	2,22	263	100	2,10	2,73	2,10	6,43

Espaços	Iluminação de projeto / referência							
	Projeto			Referência		Iluminação   Máx	Referência	
	Pot. [W]	Taxa [W/m <sup>2</sup> ]	Ilumi. [Lux]	Ilumi. [Lux]	DPI [(W/m <sup>2</sup> )/100 lux]	Taxa (130%) [W/m <sup>2</sup> ]	Taxa [W/m <sup>2</sup> ]	Potência [W]
P0-76-Sala Movimento	180	5,57	494	300	2,30	8,97	6,90	223,15
P0-77-Gabinete Poli	88	5,62	530	500	2,30	14,95	11,50	179,17
P1-78-Gabinete	88	6,58	530	500	2,30	14,95	11,50	152,95
P1-79-Gabinete	88	6,36	530	500	2,30	14,95	11,50	158,36
P1-80-Gabinete	88	6,60	530	500	2,30	14,95	11,50	152,49
P1-81-Circulacao	185	2,86	152	100	2,30	2,99	2,30	148,53
P1-82-Gabinete	88	5,99	530	500	2,30	14,95	11,50	168,13
P1-83-Gabinete	88	6,14	530	500	2,30	14,95	11,50	163,99
P1-84-Gabinete	88	6,18	530	500	2,30	14,95	11,50	162,96
P1-85-Sala Tratamentos	109	7,95	530	500	2,30	14,95	11,50	158,36
P1-86-Secretariado	167	7,73	615	500	1,50	9,75	7,50	162,08
P1-87-Hall	365	2,96	327	100	2,30	2,99	2,30	283,41
P1-88-Escadas	101	4,10	327	150	2,30	4,49	3,45	84,59
P1-89-Atendimento	176	8,69	327	300	2,30	8,97	6,90	140,00
P1-90-Sala Espera	364	5,97	327	200	2,30	5,98	4,60	280,46
P1-91-Gabinete	88	6,37	530	500	2,30	14,95	11,50	158,13
P1-92-Gabinete	88	6,17	530	500	2,30	14,95	11,50	163,30
P1-93-Gabinete	88	6,19	530	500	2,30	14,95	11,50	162,73
P1-94-Gabinete	88	5,99	530	500	2,30	14,95	11,50	168,02
P1-95-Circulacao	156	2,83	150	100	2,30	2,99	2,30	126,68
P1-96-Gabinete	88	6,39	530	500	2,30	14,95	11,50	157,67

Espaços	Iluminação de projeto / referência							
	Projeto			Referência		Iluminação   Máx	Referência	
	Pot. [W]	Taxa [W/m <sup>2</sup> ]	Ilumi. [Lux]	Ilumi. [Lux]	DPI [(W/m <sup>2</sup> )/100 lux]	Taxa (130%) [W/m <sup>2</sup> ]	Taxa [W/m <sup>2</sup> ]	Potência [W]
P1-97- Gabinete	88	6,36	530	500	2,30	14,95	11,50	158,36
P1-98- Arrumos	14	1,34	132	100	2,10	2,73	2,10	22,58
P1-99- Arrumos	16	1,72	126	100	2,10	2,73	2,10	19,61
P1-100-Hall	11	1,73	135	100	2,30	2,99	2,30	14,48
P1-101- Circulacao	129	2,60	126	100	2,30	2,99	2,30	114,52
P1-102-Sala Reunioes	97	2,99	248	500	1,50	4,84	3,72	120,86
P1-103- Arquivo	46	2,20	226	100	2,10	2,73	2,10	44,16
P1-104- Vestiaro	44	2,36	220	200	2,30	5,98	4,60	84,77
P1-105- Gabinete	88	6,61	530	500	2,30	14,95	11,50	152,26
P1-106- Gabinete	88	6,17	530	500	2,30	14,95	11,50	163,07
P1-107- Gabinete	88	6,42	530	500	2,30	14,95	11,50	156,75
P1-108-Sala de Tratamentos	109	7,92	530	500	2,30	14,95	11,50	158,82
P1-109-Sujos	38	5,05	288	200	2,30	5,98	4,60	34,42
P1-110-IS M	20	2,61	251	200	2,30	5,98	4,60	34,55
P1-111-IS	19	3,54	239	200	2,30	5,98	4,60	24,70
P1-112- Circulacao	18	1,72	159	100	2,30	2,99	2,30	24,04
P1-113- Circulacao	80	2,69	159	100	2,30	2,99	2,30	68,01
P1-114-IS	20	2,49	231	200	2,30	5,98	4,60	36,20
P1-115-IS P	27	4,64	204	200	2,30	5,98	4,60	27,19
P1-116- Arrumos	13	1,34	120	100	2,10	2,73	2,10	19,85
P1-117- Gabinete	88	6,33	530	500	2,30	14,95	11,50	159,05
P1-118- Gabinete	88	6,41	530	500	2,30	14,95	11,50	157,09
P1-119- Gabinete	88	6,12	530	500	2,30	14,95	11,50	164,57
P1-120- Gabinete	88	6,58	530	500	2,30	14,95	11,50	152,95

Espaços	Iluminação de projeto / referência							
	Projeto			Referência		Iluminação   Máx	Referência	
	Pot. [W]	Taxa [W/m <sup>2</sup> ]	Ilumi. [Lux]	Ilumi. [Lux]	DPI [(W/m <sup>2</sup> )/100 lux]	Taxa (130%) [W/m <sup>2</sup> ]	Taxa [W/m <sup>2</sup> ]	Potência [W]
P1-121- Vestibular	44	2,44	225	200	2,30	5,98	4,60	81,99
P1-122-IS F	10	1,97	223	200	2,30	5,98	4,60	22,82
P1-123-Sala Pessoal	159	6,96	501	300	2,30	8,97	6,90	157,67
P1-124-IS M	10	1,97	223	200	2,30	5,98	4,60	22,86
P-1-125- Zona Técnica	53	1,80	202	100	2,10	2,73	2,10	62,10
P-1-126- Resíduos Urbanos	14	1,82	126	100	2,10	2,73	2,10	16,53
P-1-127- Sujeitos	13	2,20	106	100	2,10	2,73	2,10	12,41
P-1-128- Circulação	23	2,42	106	100	2,30	2,99	2,30	21,74
P-1-129- Arrumos	14	1,03	86	100	2,10	2,34	1,80	24,92
P-1-130- Escadas	34	2,49	107	150	2,30	3,20	2,46	33,62
P-1-131-Sala Manutenção	53	3,72	266	200	2,10	5,46	4,20	60,10
P0-132- Resíduos Contaminados	14	1,08	100	100	2,10	2,73	2,10	27,90
P0-133- Resíduos Urbanos	14	0,80	88	100	2,10	2,41	1,86	33,09
P0-134- Escadas	4	0,87	118	150	2,30	3,53	2,71	13,46
P0-135- Bastidor	29	1,25	299	100	2,10	2,73	2,10	47,99
P1-136-Hall Escadas	5	0,97	114	150	2,30	3,41	2,62	13,03
P1-137- Bastidor	14	2,18	162	100	2,10	2,73	2,10	13,75
P1-138- Arrumos	12	1,92	160	100	2,10	2,73	2,10	12,60



## APÊNDICE G – CAUDAIS MINIMOS DE AR NOVO / CAUDAIS DE PROJETO

Caudais mínimos de ar novo									
Espaços	Caudal de ar QAN /RECS [m <sup>3</sup> /h/m <sup>2</sup> ]	Caudal de ar QAN /RECS [m <sup>3</sup> /h/pessoa]	Caudal de ar ARS [m <sup>3</sup> /h]	Caudal de ar QAN [m <sup>3</sup> /h]	Caudal de ar/ev, QANf [m <sup>3</sup> /h]	QAN Min. Proj. [m <sup>3</sup> /h]	QAN Real. Proj. [m <sup>3</sup> /h]	Qext. Proj. [m <sup>3</sup> /h]	RPH [m <sup>3</sup> /h]
P-1-1-Gabinete	3	24	90	72	90	90	90	70	2,2
P-1-2-Gabinete	3	24	90	72	90	90	90	70	2,1
P-1-3-Bolsa de Espera	3	20	120	80	100	120	150	130	3,6
P-1-4-Circulacao									0,0
P-1-5-Gabinete	3	24	90	72	90	90	90	70	2,0
P-1-6-Gabinete	3	24	90	72	90	90	90	70	2,1
P-1-7-Gabinete	3	24	90	72	90	90	90	70	2,1
P-1-8-Gabinete	3	24	90	72	90	90	90	70	2,2
P-1-9-Sala Pessoal	3	20	180	120	150	180	180	160	4,1
P-1-10-Gabinete	3	24	90	72	90	90	90	70	2,0
P-1-11-Gabinete	3	24	90	72	90	90	90	70	2,1
P-1-12-Gabinete	3	24	90	72	90	90	90	70	2,1
P-1-13-Circulacao									0,0
P-1-14-Gabinete Grupos	3	24	300	240	300	300	320	280	3,4
P-1-15-Circulacao									0,0
P-1-18-Circulacao Espera	3	20	180	154	192	192	200	0	1,3
P-1-19-Atendimento	3	24	90	72	90	90	90	0	1,4
P-1-21-Hall IS									0,0
P-1-24-Sala RX	3	24	60	86	107	107	90	90	1,0
P-1-26-Comando	3	24	30	24	30	30	30	0	2,3

P0-27- Gabinete	3	24	90	72	90	90	90	70	1,8
P0-28- Gabinete	3	24	90	72	90	90	90	70	1,7
P0-29- Gabinete	3	24	90	72	90	90	90	70	1,7
P0-30- Circulacao	3	20	390	260	325	390	400	0	1,4
P0-31- Gabinete	3	24	60	48	60	60	90	70	1,6
P0-32- Gabinete	3	24	90	72	90	90	90	70	1,6
P0-33- Gabinete	3	24	90	72	90	90	90	70	1,7
P0-34-Sala Tratamentos	3	24	90	72	90	90	90	70	1,7
P0-35- Secretariado	3	24	60	76	95	95	95	70	1,0
P0-36-Entrada									0,0
P0-37-Atrio	3	20	300	200	250	300	300	560	2,7
P0-38- Atendimento	3	20	240	160	200	240	300	0	3,9
P0-39-Sala Espera	3	24	0	169	211	211	600	560	2,8
P0-40- Gabinete	3	24	90	72	90	90	90	70	1,7
P0-41- Gabinete	3	24	90	72	90	90	90	70	1,6
P0-42- Gabinete	3	24	90	72	90	90	90	70	1,7
P0-43- Gabinete	3	24	90	72	90	90	90	70	1,6
P0-44- Circulacao	3	20	0	215	269	269	400	0	1,4
P0-45- Gabinete	3	24	90	72	90	90	90	70	1,7
P0-46- Gabinete	3	24	90	72	90	90	90	70	1,7
P0-47- Gabinete	3	24	90	72	90	90	90	70	1,0
P0-48- Circulacao									
P0-52- Gabinete	3	24	60	48	60	60	60	50	1,2
P0-53- Gabinete Iso	3	24	30	28	35	35	40	0	1,1
P0-57- Gabinete	3	24	90	72	90	90	90	70	1,7
P0-58- Gabinete	3	24	60	48	60	60	90	70	1,6

P0-59-Sala de Tratamentos	3	24	90	72	90	90	90	70	1,7
P0-63-Circulacao									0,0
P0-64-Circulacao									0,0
P0-70-Sala Colheitas	3	24	60	48	60	60	90	30	1,7
P0-71-Gabinete	3	24	90	72	90	90	90	70	1,6
P0-72-Gabinete	3	24	90	72	90	90	90	50	1,7
P0-76-Sala Movimento	3	24	240	192	240	240	250	220	2,0
P0-77-Gabinete Poli	3	24	90	72	90	90	90	70	1,5
P1-78-Gabinete	3	24	90	72	90	90	90	70	1,8
P1-79-Gabinete	3	24	90	72	90	90	90	70	1,7
P1-80-Gabinete	3	24	90	72	90	90	90	70	1,8
P1-81-Circulacao	3	24	0	194	242	242	250	0	1,0
P1-82-Gabinete	3	24	60	48	60	60	90	70	1,6
P1-83-Gabinete	3	24	90	72	90	90	90	70	1,6
P1-84-Gabinete	3	24	90	72	90	90	90	70	1,6
P1-85-Sala Tratamentos	3	24	90	72	90	90	90	70	1,7
P1-86-Secretariado	3	24	90	72	90	90	90	70	1,1
P1-87-Hall	3	24	0	370	462	462	600	560	1,3
P1-88-Escadas									0,0
P1-89-Atendimento	3	24	240	192	240	240	300	0	3,8
P1-90-Sala Espera	3	24	0	183	229	229	600	560	2,6
P1-91-Gabinete	3	24	90	72	90	90	90	70	1,7
P1-92-Gabinete	3	24	90	72	90	90	90	70	1,6
P1-93-Gabinete	3	24	90	72	90	90	90	70	1,7
P1-94-Gabinete	3	24	90	72	90	90	90	70	1,6
P1-95-Circulacao	3	24	180	165	207	207	210	0	1,0

P1-96-Gabinete	3	24	90	72	90	90	90	70	1,7
P1-97-Gabinete	3	24	90	72	90	90	90	70	1,7
P1-100-Hall									0,0
P1-101-Circulacao									0,0
P1-102-Sala Reunioes	3	24	300	240	300	300	320	220	2,6
P1-105-Gabinete	3	24	90	72	90	90	90	70	1,8
P1-106-Gabinete	3	24	60	48	60	60	90	70	1,6
P1-107-Gabinete	3	24	90	72	90	90	90	70	1,7
P1-108-Sala de Tratamentos	3	24	90	72	90	90	90	70	1,7
P1-112-Circulacao									0,0
P1-113-Circulacao									0,0
P1-117-Gabinete	3	24	90	72	90	90	90	70	1,7
P1-118-Gabinete	3	24	90	72	90	90	90	70	1,7
P1-119-Gabinete	3	24	90	72	90	90	90	70	1,6
P1-120-Gabinete	3	24	90	72	90	90	90	70	1,8
P1-123-Sala Pessoal	3	24	240	192	240	240	400	330	4,5

## APÊNDICE H – CAUDAIS MÍNIMOS DE EXTRAÇÃO DE AR

Caudais mínimos de extração de ar							
Espaços	Extração EQ, [m <sup>3</sup> /h]	Extração Área [m <sup>3</sup> /h/A <sub>p</sub> ]	Urinóis Sanitas [-]	Chuveiro [-]	Ar Extração [m <sup>3</sup> /h]	Ar Ex real [m <sup>3</sup> /h]	RPH
P-1-16-IS M	45	10	1		45	90	11
P-1-17-IS F	45	10	1		45	90	11
P-1-20-Arrumos	45	10			60	60	4
P-1-22-IS M	45	10	1		51	125	10
P-1-23-IS F	45	10	1		51	125	10
P-1-25-Vestiaro	45	10			31	40	5
P0-49-IS M	45	10	1		45	90	13
P0-50-IS F	45	10	1		45	90	13
P0-51-Arquivo	45	10			93	70	4
P0-54-IS	45	10	1		45	60	13
P0-55-Arrumos	45	10			46	25	4
P0-56-Arrumos	45	10			80	45	4
P0-60-Sujos	45	10			75	230	12
P0-61-IS M	45	10	3		135	270	14
P0-62-IS	45	10	1		55	140	10
P0-65-IS F	45	10	2		90	270	14
P0-66-IS P	45	10	1		59	160	11
P0-67-Arrumos	45	10			78	50	4
P0-68-Arrumos	45	10			33	30	4
P0-69-IS	45	10	1		45	75	10
P0-73-Esterilizacao	45	10			41	30	4
P0-74-Arrumos	45	10			55	50	4
P0-75-Arrumos	45	10			31	40	5
P1-98-Arrumos	45	10			108	60	4
P1-99-Arrumos	45	10			93	60	4
P1-103-Arquivo	45	10			210	80	4
P1-104-Vestiaro	45	10	2	2	184	300	7
P1-109-Sujos	45	10			75	210	11
P1-110-IS M	45	10	3		135	270	14

P1-111-IS	45	10	1		54	170	13
P1-114-IS	45	10	2		90	270	14
P1-115-IS P	45	10	1		59	120	8
P1-116-Arrumos	45	10			95	60	4
P1-121-Vestiaro	45	10	2	2	180	300	7
P1-122-IS F	45	10	1		50	100	8
P1-124-IS M	45	10	1		50	100	8
P-1-126-Resíduos Urbanos	45	10			246	500	8
P-1-127-Sujos	45	10			66	150	9
P-1-129-Arrumos	45	10			94	50	4
P0-132-Resíduos Contaminados	45	10			57	170	12
P0-135-Bastidor	45	10			65	40	4
P1-137-Bastidor	45	10			65	40	4
P1-138-Arrumos	45	10			60	30	4

# APÊNDICE I – SIMULAÇÕES DO CONTRIBUTO FOTOVOLTAICO – SCE,ER

## Sistema 1



Direção-Geral de Energia e Geologia

Relatório de simulação de sistema solar fotovoltaico																			
<b>Sumário</b>																			
Instalação (Lisboa)			energia solar incidente: 387 284 kWh/ano			Índices de desempenho													
199.6 m <sup>2</sup> de módulos LONGI LR6-72HPH-375M			produção fotovoltaica potencial (DC): 68 662 kWh/ano			produtividade técnica: 1631 kWh/kW instalado													
montagem fixa			perdas de sistema (DC): -1 845 kWh/ano			aproveitado: 1170 kWh/kW instalado													
com inclinação 35° e orientação 0°.			perdas e consumos parasíticos (AC): -2 994 kWh/ano			rendimento relativo: 82% (performance ratio)													
Potência: 37.5 kW (nominal)			produção (AC): 61 150 kWh/ano			i.e. 15% da energia incidente													
			autoconsumo (AC): 43 886 kWh/ano			necessidades cobertas: 40%													
<b>Local e clima</b>																			
NUTS III: Grande Lisboa			Município: Lisboa			Local: Parque das Nações			elevação: Grande Lisboa maibedo: 22%										
obstruções do horizonte																			
azimute:	E	-85°	-80°	-75°	-70°	-65°	-60°	-55°	-50°	NE	-40°	-35°	-30°	-25°	-20°	-15°	-10°	-5°	S
altura angular:	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
azimute:	S	5°	10°	15°	20°	25°	30°	35°	40°	NW	50°	55°	60°	65°	70°	75°	80°	85°	W
altura angular:	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
<b>Configuração e operação do sistema solar fotovoltaico</b>																			
Sistema fotovoltaico ligado à rede, com 100 módulos LONGI LR6-72HPH-375M (199.6 m <sup>2</sup> ) com inclinação 35° e orientação 0°.																			
Potência nominal da instalação 37.5 kW; módulos organizados em 10 fileiras (strings). A tensão máxima é 404 V.																			
Degradação máxima do rendimento dos módulos: 0.0% por ano (informação não utilizada em cálculos).																			
Perdas ambientais: 0.5% por variação espectral, 0.5% por deposição de poeiras e sujidades sobre os módulos.																			
Perdas eléctricas (DC): 1.0% na interconexão de módulos, 0.7% perdas resistivas gerais.																			
Perdas operacionais: 6 horas (diurnas) para manutenção e reparação de avarias.																			
Bloco de inversão e controlo típico A (96%) com eficiência 96.0% (definição Europeia).																			
Perdas de 0.5% em transmissão e transformação para ligação à rede BT. Consumos parasíticos: 0.11 kWh/ano para ventilação.																			
Sem baterias.																			
Sistema explorado em regime de autoconsumo.																			
<b>Aproveitamento do recurso solar</b>																			
<b>radiação solar directa</b>																			
	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	anual						
horizontal (à superfície)	4.6	6.4	9.6	14.2	15.9	19.2	21.4	17.3	13.7	7.5	5.6	3.3	11.6	kWh/m <sup>2</sup> .dia					
incidente nos módulos	9.1	10.7	12.6	15.3	14.8	16.7	19.1	17.7	16.6	11.3	10.4	6.8	13.4	kWh/m <sup>2</sup> .dia					
absorvida pelos módulos	9.0	10.5	12.4	15.0	14.5	16.3	18.6	17.3	16.3	11.2	10.3	6.7	13.2	kWh/m <sup>2</sup> .dia					
<b>radiação solar global</b>																			
	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	anual						
no topo da atmosfera	16.1	21.3	28.4	35.2	39.8	41.7	40.6	36.8	30.7	23.6	17.5	14.5	28.9	kWh/m <sup>2</sup> .dia					
na horizontal (à superfície)	8.0	11.2	16.0	20.8	24.6	27.4	28.4	24.2	19.4	13.0	9.0	6.3	17.4	kWh/m <sup>2</sup> .dia					
incidente nos módulos	13.3	16.3	19.8	22.5	23.5	24.9	26.3	25.0	23.0	17.7	14.6	10.5	19.8	kWh/m <sup>2</sup> .dia					
absorvida pelos módulos	13.0	15.8	19.1	21.7	22.7	23.9	25.3	24.1	22.3	17.2	14.2	10.2	19.1	kWh/m <sup>2</sup> .dia					
<b>Desempenho energético</b>																			
<b>temperatura</b>																			
	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	anual						
ambiente (média diária)	12	12	14	15	18	21	23	23	22	19	15	13	17	°C					
nos módulos (média diurna)	36	35	38	37	39	41	48	52	53	47	45	37	42	°C					
<b>energia</b>																			
	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	anual						
radiação solar incidente	22 331	24 545	32 842	36 057	38 932	39 804	43 527	41 456	37 113	29 508	23 656	17 514	387 284	kWh					
produção fotovoltaica (DC)	4 097	4 500	5 917	6 418	6 918	7 206	7 527	7 158	6 430	5 287	4 262	3 174	68 662	kWh					
perdas do sistema (DC)	-110	-121	-159	-172	-186	-194	-202	-192	-173	-142	-115	-85	-1 845	kWh					
consumos parasíticos (AC)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	kWh					
outras perdas (AC)	-179	-196	-258	-280	-302	-314	-328	-312	-280	-230	-186	-138	-2 993	kWh					
produção disponível (AC)	3 649	4 008	5 270	5 716	6 161	6 418	6 703	6 375	5 727	4 709	3 796	2 826	61 150	kWh					
necessidades do edifício (AC)	9 683	8 420	9 262	8 841	9 683	9 136	9 262	9 683	8 420	9 683	9 262	8 841	109 881	kWh					
autoconsumo (AC)	2 772	2 714	4 085	4 147	4 511	4 231	4 698	4 537	3 868	3 416	2 818	2 090	43 886	kWh					
acumulado entregue à rede, passível de remuneração (AC)	877	2 171	3 356	4 925	6 576	8 556	10 561	12 399	14 258	15 550	16 528	17 264	17 264	kWh					
<b>Avaliação do desempenho</b>																			
rendimento global:	15%	da energia incidente		produtividade técnica	1631 kWh/kW instalado														
rendimento relativo:	82%	(performance ratio)		i.e.	306 kWh/m <sup>2</sup> instalado														
				exploração real	1170 kWh/kW instalado														
				i.e.	220 kWh/m <sup>2</sup> instalado														
<b>Análise para DL 153/2014 (Unidades de Produção Distribuída)</b>																			
Potência do sistema:	37.5 kW	— deve ser menor que a potência contratada																	
61 150 kWh <	109 881 kWh	[produção anual < consumo anual]																	
Passível de remuneração:	17 264 kWh																		

Sistema 2



Relatório de simulação de sistema solar fotovoltaico																																							
<b>Sumário</b>																																							
Instalação em : (Lisboa)		energia solar incidente:		387 284 kWh/ano		<b>Índices de desempenho</b>																																	
199.6 m² de módulos LONGI LR6-72HPH-375M		produção fotovoltaica potencial (DC):		68 662 kWh/ano		produtividade técnica:		1631 kWh/kW instalado																															
montagem fixa		perdas de sistema (DC):		-1 845 kWh/ano		aproveitado:		1123 kWh/kW instalado																															
com inclinação 35° e orientação 0°.		perdas e consumos parasíticos (AC):		-2 994 kWh/ano		rendimento relativo:		82% (performance ratio)																															
Potência: 37.5 kW (nominal)		produção (AC):		61 150 kWh/ano		i.e.		15% da energia incidente																															
		autoconsumo (AC):		42 107 kWh/ano		necessidades cobertas:		39%																															
<b>Local e clima</b>																																							
NUTS III: Grande Lisboa				Município: Lisboa				Local: Parque das Nações				elevação: Grande Lisboa malbedo: 22%																											
<b>obstruções do horizonte</b>																																							
azimute:		E		-85°		-80°		-75°		-70°		-65°		-60°		-55°		-50°		NE		-40°		-35°		-30°		-25°		-20°		-15°		-10°		-5°		S	
altura angular:		3		3		3		3		3		3		3		3		3		3		3		3		3		3		3		3		3		3			
azimute:		S		5°		10°		15°		20°		25°		30°		35°		40°		NW		50°		55°		60°		65°		70°		75°		80°		85°		W	
altura angular:		3		3		3		3		3		3		3		3		3		3		3		3		3		3		3		3		3		3		3	
<b>Configuração e operação do sistema solar fotovoltaico</b>																																							
Sistema fotovoltaico ligado à rede, com 100 módulos LONGI LR6-72HPH-375M (199.6 m²) com inclinação 35° e orientação 0°.																																							
Potência nominal da instalação 37.5 kW; módulos organizados em 10 fileiras (strings). A tensão máxima é 404 V.																																							
Degradação máxima do rendimento dos módulos: 0.0% por ano (informação não utilizada em cálculos).																																							
Perdas ambientais: 0.5% por variação espectral, 0.5% por deposição de poeiras e sujidades sobre os módulos.																																							
Perdas eléctricas (DC): 1.0% na interconexão de módulos, 0.7% perdas resistivas gerais.																																							
Perdas operacionais: 6 horas (diurnas) para manutenção e reparação de avarias.																																							
Bloco de inversão e controlo típico A (96%) com eficiência 96.0% (definição Europeia).																																							
Perdas de 0.5% em transmissão e transformação para ligação à rede BT. Consumos parasíticos: 0.11 kWh/ano para ventilação.																																							
Sem baterias.																																							
Sistema explorado em regime de autoconsumo.																																							
<b>Aproveitamento do recurso solar</b>																																							
<b>radiação solar directa</b>				jan		fev		mar		abr		mai		jun		jul		ago		set		out		nov		dez		anual											
horizontal (à superfície)		4.6		6.4		9.6		14.2		15.9		19.2		21.4		17.3		13.7		7.5		5.6		3.3		11.6		kWh/m².dia											
incidente nos módulos		9.1		10.7		12.6		15.3		14.8		16.7		19.1		17.7		16.6		11.3		10.4		6.8		13.4		kWh/m².dia											
absorvida pelos módulos		9.0		10.5		12.4		15.0		14.5		16.3		18.6		17.3		16.3		11.2		10.3		6.7		13.2		kWh/m².dia											
<b>radiação solar global</b>				jan		fev		mar		abr		mai		jun		jul		ago		set		out		nov		dez		anual											
no topo da atmosfera		16.1		21.3		28.4		35.2		39.8		41.7		40.6		36.8		30.7		23.6		17.5		14.5		28.9		kWh/m².dia											
na horizontal (à superfície)		8.0		11.2		16.0		20.8		24.6		27.4		28.4		24.2		19.4		13.0		9.0		6.3		17.4		kWh/m².dia											
incidente nos módulos		13.3		16.3		19.8		22.5		23.5		24.9		26.3		25.0		23.0		17.7		14.6		10.5		19.8		kWh/m².dia											
absorvida pelos módulos		13.0		15.8		19.1		21.7		22.7		23.9		25.3		24.1		22.3		17.2		14.2		10.2		19.1		kWh/m².dia											
<b>Desempenho energético</b>																																							
<b>temperatura</b>				jan		fev		mar		abr		mai		jun		jul		ago		set		out		nov		dez		anual											
ambiente (média diária)		12		12		14		15		18		21		23		23		22		19		15		13		17		°C											
nos módulos (média diurna)		36		35		38		37		39		41		48		52		53		47		45		37		42		°C											
<b>energia</b>				jan		fev		mar		abr		mai		jun		jul		ago		set		out		nov		dez		anual											
radiação solar incidente		22 331		24 545		32 842		36 057		38 932		39 804		43 527		41 456		37 113		29 508		23 656		17 514		387 284		kWh											
produção fotovoltaica (DC)		4 097		4 500		5 917		6 418		6 918		7 206		7 527		7 158		6 430		5 287		4 262		3 174		68 662		kWh											
perdas do sistema (DC)		-110		-121		-159		-172		-186		-194		-202		-192		-173		-142		-115		-85		-1 845		kWh											
consumos parasíticos (AC)		0		0		0		0		0		0		0		0		0		0		0		0		0		kWh											
outras perdas (AC)		-179		-196		-258		-280		-302		-314		-328		-312		-280		-230		-186		-138		-2 993		kWh											
produção disponível (AC)		3 649		4 008		5 270		5 716		6 161		6 418		6 703		6 375		5 727		4 709		3 796		2 826		61 150		kWh											
necessidades do edifício (AC)		9 568		8 320		9 152		8 736		9 568		9 027		9 152		9 568		8 320		9 568		9 152		8 736		108 576		kWh											
autoconsumo (AC)		2 722		2 653		3 907		3 916		4 294		4 040		4 450		4 314		3 656		3 343		2 751		2 061		42 107		kWh											
acumulado entregue à rede, passível de remuneração (AC)		926		2 282		3 644		5 445		7 313		9 484		11 737		13 797		15 868		17 234		18 278		19 044		19 044		kWh											
<b>Avaliação do desempenho</b>																																							
rendimento global:		15% da energia incidente																																					
rendimento relativo:		82% (performance ratio)																																					
<b>Análise para DL 153/2014 (Unidades de Produção Distribuída)</b>																																							
Potência do sistema:		37.5 kW																																					
61 150 kWh < 108 576 kWh																																							
Passível de remuneração:		19 044 kWh																																					

## Sistema 3



Relatório de simulação de sistema solar fotovoltaico																			
<b>Sumário</b>																			
Instalação em Parque das Nações (Lisboa)			energia solar incidente: 387 284 kWh/ano			Índices de desempenho													
199.6 m <sup>2</sup> de módulos LONGI LR6-72HPH-375M			produção fotovoltaica potencial (DC): 68 662 kWh/ano			produtividade técnica: 1631 kWh/kW instalado													
montagem fixa			perdas de sistema (DC): -1 845 kWh/ano			aproveitado: 1173 kWh/kW instalado													
com inclinação 35° e orientação 0°.			perdas e consumos parasíticos (AC): -2 994 kWh/ano			rendimento relativo: 82% (performance ratio)													
Potência: 37.5 kW (nominal)			produção (AC): 61 150 kWh/ano			i.e. 15% da energia incidente													
			autoconsumo (AC): 43 992 kWh/ano			necessidades cobertas: 27%													
<b>Local e clima</b>																			
NUTS III: Grande Lisboa			Município: Lisboa			Local: Parque das Nações			elevação: Grande Lisboa malbedo: 22%										
obstruções do horizonte																			
azimute:	E	-85°	-80°	-75°	-70°	-65°	-60°	-55°	-50°	NE	-40°	-35°	-30°	-25°	-20°	-15°	-10°	-5°	S
altura angular:	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
azimute:	S	5°	10°	15°	20°	25°	30°	35°	40°	NW	50°	55°	60°	65°	70°	75°	80°	85°	W
altura angular:	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
<b>Configuração e operação do sistema solar fotovoltaico</b>																			
Sistema fotovoltaico ligado à rede, com 100 módulos LONGI LR6-72HPH-375M (199.6 m <sup>2</sup> ) com inclinação 35° e orientação 0°.																			
Potência nominal da instalação 37.5 kW; módulos organizados em 10 fileiras (strings). A tensão máxima é 404 V.																			
Degradação máxima do rendimento dos módulos: 0.0% por ano (informação não utilizada em cálculos).																			
Perdas ambientais: 0.5% por variação espectral, 0.5% por deposição de poeiras e sujidades sobre os módulos.																			
Perdas eléctricas (DC): 1.0% na interconexão de módulos, 0.7% perdas resistivas gerais.																			
Perdas operacionais: 6 horas (diurnas) para manutenção e reparação de avarias.																			
Bloco de inversão e controlo típico A (96%) com eficiência 96.0% (definição Europeia).																			
Perdas de 0.5% em transmissão e transformação para ligação à rede BT.																			
Consumos parasíticos: 0.11 kWh/ano para ventilação.																			
Sem baterias.																			
Sistema explorado em regime de autoconsumo.																			
<b>Aproveitamento do recurso solar</b>																			
radiação solar directa																			
	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	anual						
horizontal (à superfície)	4.6	6.4	9.6	14.2	15.9	19.2	21.4	17.3	13.7	7.5	5.6	3.3	11.6	kWh/m <sup>2</sup> .dia					
incidente nos módulos	9.1	10.7	12.6	15.3	14.8	16.7	19.1	17.7	16.6	11.3	10.4	6.8	13.4	kWh/m <sup>2</sup> .dia					
absorvida pelos módulos	9.0	10.5	12.4	15.0	14.5	16.3	18.6	17.3	16.3	11.2	10.3	6.7	13.2	kWh/m <sup>2</sup> .dia					
radiação solar global																			
	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	anual						
no topo da atmosfera	16.1	21.3	28.4	35.2	39.8	41.7	40.6	36.8	30.7	23.6	17.5	14.5	28.9	kWh/m <sup>2</sup> .dia					
na horizontal (à superfície)	8.0	11.2	16.0	20.8	24.6	27.4	28.4	24.2	19.4	13.0	9.0	6.3	17.4	kWh/m <sup>2</sup> .dia					
incidente nos módulos	13.3	16.3	19.8	22.5	23.5	24.9	26.3	25.0	23.0	17.7	14.6	10.5	19.8	kWh/m <sup>2</sup> .dia					
absorvida pelos módulos	13.0	15.8	19.1	21.7	22.7	23.9	25.3	24.1	22.3	17.2	14.2	10.2	19.1	kWh/m <sup>2</sup> .dia					
<b>Desempenho energético</b>																			
temperatura																			
	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	anual						
ambiente (média diária)	12	12	14	15	18	21	23	23	22	19	15	13	17	°C					
nos módulos (média diurna)	36	35	38	37	39	41	48	52	53	47	45	37	42	°C					
energia																			
	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	anual						
radiação solar incidente	32 331	24 545	32 842	36 057	38 932	39 804	43 527	41 456	37 113	29 508	23 656	17 514	387 284	kWh					
produção fotovoltaica (DC)	4 097	4 500	5 917	6 418	6 918	7 206	7 527	7 158	6 430	5 287	4 262	3 174	68 662	kWh					
perdas do sistema (DC)	-110	-121	-159	-172	-186	-194	-202	-192	-173	-142	-115	-85	-1 845	kWh					
consumos parasíticos (AC)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	kWh					
outras perdas (AC)	-179	-196	-258	-280	-302	-314	-328	-312	-280	-230	-186	-138	-2 993	kWh					
produção disponível (AC)	3 649	4 008	5 270	5 716	6 161	6 418	6 703	6 375	5 727	4 709	3 796	2 826	61 150	kWh					
necessidades do edifício (AC)	14 350	12 478	13 726	13 102	14 350	13 539	13 726	14 350	12 478	14 350	13 726	13 102	162 838	kWh					
autoconsumo (AC)	2 772	2 714	4 087	4 162	4 533	4 252	4 720	4 558	3 871	3 416	2 818	2 090	43 992	kWh					
acumulado entregue à rede, passível de remuneração (AC)	877	2 171	3 354	4 908	6 536	8 496	10 479	12 296	14 151	15 444	16 422	17 158	17 158	kWh					
<b>Avaliação do desempenho</b>																			
rendimento global: 15% da energia incidente			produtividade técnica: 1631 kWh/kW instalado																
rendimento relativo: 82% (performance ratio)			i.e. 306 kWh/m <sup>2</sup> instalado																
			exploração real: 1173 kWh/kW instalado																
			i.e. 220 kWh/m <sup>2</sup> instalado																
<b>Análise para DL 153/2014 (Unidades de Produção Distribuída)</b>																			
Potência do sistema: 37.5 kW			- deve ser menor que a potência contratada																
61 150 kWh < ##### kWh			[produção anual < consumo anual]																
Passível de remuneração: 17 158 kWh																			

Sistema 4



Relatório de simulação de sistema solar fotovoltaico																			
<b>Sumário</b>																			
Instalação em Parque das Nações (Lisboa)			energia solar incidente: 387 284 kWh/ano			índices de desempenho													
199.6 m² de módulos LONGI LR6-72HPH-375M			produção fotovoltaica potencial (DC): 68 662 kWh/ano			produtividade técnica: 1631 kWh/kW instalado													
montagem fixa com inclinação 35° e orientação 0°.			perdas de sistema (DC): -1 845 kWh/ano			aproveitado: 1092 kWh/kW instalado													
Potência: 37.5 kW (nominal)			perdas e consumos parasíticos (AC): -2 994 kWh/ano			rendimento relativo: 82% (performance ratio)													
			produção (AC): 61 150 kWh/ano			i.e. 15% da energia incidente													
			autoconsumo (AC): 40 948 kWh/ano			necessidades cobertas: 23%													
<b>Local e clima</b>																			
NUTS III: Grande Lisboa			Município: Lisboa			Local: Parque das Nações			elevação: Grande Lisboa malbedo: 22%										
obstruções do horizonte																			
azimute:	E	-85°	-80°	-75°	-70°	-65°	-60°	-55°	-50°	NE	-40°	-35°	-30°	-25°	-20°	-15°	-10°	-5°	S
altura angular:	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
azimute:	S	5°	10°	15°	20°	25°	30°	35°	40°	NW	50°	55°	60°	65°	70°	75°	80°	85°	W
altura angular:	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
<b>Configuração e operação do sistema solar fotovoltaico</b>																			
Sistema fotovoltaico ligado à rede, com 100 módulos LONGI LR6-72HPH-375M (199.6 m²) com inclinação 35° e orientação 0°.																			
Potência nominal da instalação 37.5 kW, módulos organizados em 10 fileiras (strings). A tensão máxima é 404 V.																			
Degradação máxima do rendimento dos módulos: 0.0% por ano (informação não utilizada em cálculos).																			
Perdas ambientais: 0.5% por variação espectral, 0.5% por deposição de poeiras e sujidades sobre os módulos.																			
Perdas eléctricas (DC): 1.0% na interconexão de módulos, 0.7% perdas resistivas gerais.																			
Perdas operacionais: 6 horas (diurnas) para manutenção e reparação de avarias.																			
Bloco de inversão e controlo típico A (96%) com eficiência 96.0% (definição Europeia).																			
Perdas de 0.5% em transmissão e transformação para ligação à rede BT. Consumos parasíticos: 0.11 kWh/ano para ventilação.																			
Sem baterias.																			
Sistema explorado em regime de autoconsumo.																			
<b>Aproveitamento do recurso solar</b>																			
radiação solar directa																			
		jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	anual					
horizontal (à superfície)		4.6	6.4	9.6	14.2	15.9	19.2	21.4	17.3	13.7	7.5	5.6	3.3	11.6 kWh/m².dia					
incidente nos módulos		9.1	10.7	12.6	15.3	14.8	16.7	19.1	17.7	16.6	11.3	10.4	6.8	13.4 kWh/m².dia					
absorvida pelos módulos		9.0	10.5	12.4	15.0	14.5	16.3	18.6	17.3	16.3	11.2	10.3	6.7	13.2 kWh/m².dia					
radiação solar global																			
		jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	anual					
no topo da atmosfera		16.1	21.3	28.4	35.2	39.8	41.7	40.6	36.8	30.7	23.6	17.5	14.5	28.9 kWh/m².dia					
na horizontal (à superfície)		8.0	11.2	16.0	20.8	24.6	27.4	28.4	24.2	19.4	13.0	9.0	6.3	17.4 kWh/m².dia					
incidente nos módulos		13.3	16.3	19.8	22.5	23.5	24.9	26.3	25.0	23.0	17.7	14.6	10.5	19.8 kWh/m².dia					
absorvida pelos módulos		13.0	15.8	19.1	21.7	22.7	23.9	25.3	24.1	22.3	17.2	14.2	10.2	19.1 kWh/m².dia					
<b>Desempenho energético</b>																			
temperatura																			
		jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	anual					
ambiente (média diária)		12	12	14	15	18	21	23	23	22	19	15	13	17 °C					
nos módulos (média diurna)		36	35	38	37	39	41	48	52	53	47	45	37	42 °C					
energia																			
		jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	anual					
radiação solar incidente		22 331	24 545	32 842	36 057	38 932	39 804	43 527	41 456	37 113	29 508	23 656	17 514	387 284 kWh					
produção fotovoltaica (DC)		4 097	4 500	5 917	6 418	6 918	7 206	7 527	7 158	6 430	5 287	4 262	3 174	68 662 kWh					
perdas do sistema (DC)		-110	-121	-159	-172	-186	-194	-202	-192	-173	-142	-115	-85	-1 845 kWh					
consumos parasíticos (AC)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0 kWh					
outras perdas (AC)		-179	-196	-258	-280	-302	-314	-328	-312	-280	-230	-186	-138	-2 993 kWh					
produção disponível (AC)		3 649	4 008	5 270	5 716	6 161	6 418	6 703	6 375	5 727	4 709	3 796	2 826	61 150 kWh					
necessidades do edifício (AC)		15 548	13 520	14 872	14 196	15 548	14 669	14 872	15 548	13 520	15 548	14 872	14 196	176 436 kWh					
autoconsumo (AC)		2 692	2 593	3 801	3 815	4 139	3 873	4 293	4 172	3 576	3 236	2 702	2 057	40 948 kWh					
acumulado entregue à rede, passível de remuneração (AC)		957	2 373	3 841	5 742	7 764	10 103	12 513	14 716	16 866	18 339	19 433	20 202	20 202 kWh					
<b>Avaliação do desempenho</b>																			
rendimento global:	15%	da energia incidente		produtividade técnica:	1631 kWh/kW instalado														
rendimento relativo:	82%	(performance ratio)		i.e.	306 kWh/m² instalado														
				exploração real:	1092 kWh/kW instalado														
				i.e.	205 kWh/m² instalado														
<b>Análise para DL 153/2014 (Unidades de Produção Distribuída)</b>																			
Potência do sistema:	37.5 kW	— deve ser menor que a potência contratada																	
61 150 kWh <	176 436 kWh	[produção anual < consumo anual]																	
Passível de remuneração:	20 202 kWh																		

## APÊNDICE J – CARGAS TÉRMICAS

Espaços	Arrefecimento			Aquecimento		
	Carga de Ventilação + Infiltração [kW]	Envolvente + Ganhos internos + <i>OpenStudio</i> [kW]	Carga da Total [kW]	Carga de Ventilação [kW]	Carga da Envolvente + Ventilação Sensível <i>OpenStudio</i> [kW]	Carga da Total [kW]
P-1-1-Gabinete	0,307	1,200	1,51	0,205	0,941	1,145
P-1-2-Gabinete	0,307	1,248	1,56	0,205	0,900	1,105
P-1-3-Bolsa de Espera	0,512	1,585	2,10	0,341	1,439	1,780
P-1-5-Gabinete	0,307	1,298	1,61	0,205	1,009	1,213
P-1-6-Gabinete	0,307	0,979	1,29	0,205	0,967	1,171
P-1-7-Gabinete	0,307	1,203	1,51	0,205	0,884	1,088
P-1-8-Gabinete	0,307	1,063	1,37	0,205	0,838	1,043
P-1-9-Sala Pessoal	0,614	1,565	2,18	0,409	1,672	2,081
P-1-10-Gabinete	0,307	1,578	1,89	0,205	1,058	1,262
P-1-11-Gabinete	0,307	1,476	1,78	0,205	0,937	1,142
P-1-12-Gabinete	0,307	1,414	1,72	0,205	0,945	1,149
P-1-14-Gabinete Grupos	1,092	2,900	3,99	0,727	2,827	3,554
P-1-18-Circulacao Espera	0,614	2,371	2,99	0,409	2,198	2,607
P-1-19-Atendimento	0,307	2,500	2,81	0,205	1,965	2,170
P-1-24-Sala RX	0,307	0,752	1,06	0,205	0,926	1,131
P-1-26-Comando	0,102	0,432	0,53	0,068	0,237	0,305
P0-27-Gabinete	0,307	1,330	1,64	0,205	1,010	1,215
P0-28-Gabinete	0,307	1,368	1,67	0,205	0,928	1,132
P0-29-Gabinete	0,307	1,527	1,83	0,205	1,049	1,253
P0-30-Circulacao	1,365	4,190	5,56	0,909	4,327	5,236
P0-31-Gabinete	0,307	1,536	1,84	0,205	1,118	1,322
P0-32-Gabinete	0,307	1,467	1,77	0,205	0,970	1,174
P0-33-Gabinete	0,307	1,461	1,77	0,205	0,979	1,183
P0-34-Sala Tratamentos	0,307	2,003	2,31	0,205	1,286	1,491
P0-35-Secretariado	0,307	2,066	2,37	0,205	1,509	1,714
P0-37-Atrio	4,095	13,733	17,83	2,727	5,722	8,448
P0-40-Gabinete	0,307	1,942	2,25	0,205	1,277	1,481
P0-41-Gabinete	0,307	1,524	1,83	0,205	0,985	1,190
P0-42-Gabinete	0,307	1,525	1,83	0,205	0,971	1,176
P0-43-Gabinete	0,307	1,588	1,90	0,205	1,074	1,279
P0-44-Circulacao	1,365	4,517	5,88	0,909	4,162	5,071
P0-45-Gabinete	0,307	1,561	1,87	0,205	1,064	1,269
P0-46-Gabinete	0,307	1,421	1,73	0,205	0,955	1,159
P0-47-Gabinete	0,307	1,555	1,86	0,205	1,365	1,570
P0-52-Gabinete	0,205	1,188	1,39	0,136	0,876	1,012

Espaços	Arrefecimento			Aquecimento		
	Carga de Ventilação + Infiltração [kW]	Envolvente + Ganhos internos + <i>OpenStudio</i> [kW]	Carga da Total [kW]	Carga de Ventilação [kW]	Carga da Envolvente + Ventilação Sensível <i>OpenStudio</i> [kW]	Carga da Total [kW]
P0-53-Gabinete Iso	0,137	0,856	0,99	0,091	0,551	0,642
P0-57-Gabinete	0,307	1,681	1,99	0,205	0,972	1,177
P0-58-Gabinete	0,307	1,704	2,01	0,205	1,004	1,209
P0-59-Sala de Tratamentos	0,307	1,463	1,77	0,205	0,991	1,196
P0-70-Sala Colheitas	0,307	1,241	1,55	0,205	1,006	1,210
P0-71-Gabinete	0,307	1,454	1,76	0,205	0,982	1,186
P0-72-Gabinete	0,307	1,464	1,77	0,205	1,031	1,236
P0-76-Sala Movimento	0,853	3,369	4,22	0,568	2,704	3,272
P0-77-Gabinete Poli	0,307	1,490	1,80	0,205	1,018	1,222
P1-78-Gabinete	0,307	1,494	1,80	0,205	1,270	1,474
P1-79-Gabinete	0,307	1,480	1,79	0,205	1,169	1,373
P1-80-Gabinete	0,307	1,693	2,00	0,205	1,343	1,548
P1-81-Circulacao	0,683	0,572	1,25	0,454	0,423	0,878
P1-82-Gabinete	0,307	1,463	1,77	0,205	1,359	1,564
P1-83-Gabinete	0,307	1,505	1,81	0,205	1,193	1,398
P1-84-Gabinete	0,307	1,518	1,83	0,205	1,200	1,404
P1-85-Sala Tratamentos	0,307	2,075	2,38	0,205	1,422	1,626
P1-86-Secretariado	0,307	2,290	2,60	0,205	1,685	1,890
P1-87-Hall	3,071	12,284	15,36	2,045	10,123	12,168
P1-89-Atendimento	1,024	1,929	2,95	0,682	1,652	2,334
P1-91-Gabinete	0,307	1,667	1,97	0,205	1,426	1,630
P1-92-Gabinete	0,307	1,389	1,70	0,205	1,205	1,409
P1-93-Gabinete	0,307	1,343	1,65	0,205	1,199	1,403
P1-94-Gabinete	0,307	1,393	1,70	0,205	1,348	1,553
P1-95-Circulacao	0,683	0,350	1,03	0,454	0,450	0,904
P1-96-Gabinete	0,307	1,392	1,70	0,205	1,363	1,568
P1-97-Gabinete	0,307	1,332	1,64	0,205	1,293	1,497
P1-102-Sala Reunioes	1,092	3,290	4,38	0,727	3,611	4,339
P1-105-Gabinete	0,307	1,644	1,95	0,205	1,166	1,370
P1-106-Gabinete	0,307	1,828	2,14	0,205	1,227	1,431
P1-107-Gabinete	0,307	1,826	2,13	0,205	1,235	1,439
P1-108-Sala de Tratamentos	0,307	1,925	2,23	0,205	1,319	1,523
P1-117-Gabinete	0,307	1,659	1,97	0,205	1,215	1,419
P1-118-Gabinete	0,307	1,757	2,06	0,205	1,218	1,422
P1-119-Gabinete	0,307	1,796	2,10	0,205	1,248	1,452
P1-120-Gabinete	0,307	1,587	1,89	0,205	1,153	1,357

Espaços	Arrefecimento			Aquecimento		
	Carga de Ventilação + Infiltração [kW]	Envolvente + Ganhos internos + <i>OpenStudio</i> [kW]	Carga da Total [kW]	Carga de Ventilação [kW]	Carga da Envolvente + Ventilação Sensível <i>OpenStudio</i> [kW]	Carga da Total [kW]
P1-123-Sala Pessoal	1,365	3,913	5,28	0,909	3,846	4,755
			200,80			156,02
		(W/m <sup>2</sup> )	91,27		(W/m <sup>2</sup> )	70,92

## APÊNDICE K – SISTEMA 1: RESUMO DOS CÁLCULOS PARA DETERMINAÇÃO DA CLASSE ENERGÉTICA

Consumo anual de Energia Final (por tipo de uso)						
Edifício	Energia Útil	Energia Final			Energia Primária	
Aquecimento	18029 kWh	4828 kWh	1.99 kWh/m <sup>2</sup>	4.98 kWh <sub>EP</sub> /m <sup>2</sup>		
Aquecimento (Gás)						
Arrefecimento	174475 kWh	31569 kWh	13.04 kWh/m <sup>2</sup>	32.59 kWh <sub>EP</sub> /m <sup>2</sup>		
Águas Quentes Sanitárias (AQS)	9552 kWh	3205 kWh	1.32 kWh/m <sup>2</sup>	3.31 kWh <sub>EP</sub> /m <sup>2</sup>		
Águas Quentes Sanitárias (AQS) - Piscina						
Humidificação/Desumidificação						
Iluminação	29831 kWh	29831 kWh	12.32 kWh/m <sup>2</sup>	30.80 kWh <sub>EP</sub> /m <sup>2</sup>		
Equipamentos	56373 kWh	56373 kWh	23.28 kWh/m <sup>2</sup>	58.20 kWh <sub>EP</sub> /m <sup>2</sup>		
Bombas   Ventiladores   climatização	40736 kWh	40736 kWh	16.82 kWh/m <sup>2</sup>	42.06 kWh <sub>EP</sub> /m <sup>2</sup>		
Elevadores, Escadas Rolantes etc.	3262 kWh	3262 kWh	1.35 kWh/m <sup>2</sup>	3.37 kWh <sub>EP</sub> /m <sup>2</sup>		
Ventiladores   Bombas   Outros	1094 kWh	1094 kWh	0.45 kWh/m <sup>2</sup>	1.13 kWh <sub>EP</sub> /m <sup>2</sup>		
Iluminação Exterior	1833 kWh	1833 kWh	0.76 kWh/m <sup>2</sup>	1.89 kWh <sub>EP</sub> /m <sup>2</sup>		
Equipamentos - Gás						
<b>Referência</b>						
Aquecimento	15686 kWh	5229 kWh	2.16 kWh/m <sup>2</sup>	5.40 kWh/m <sup>2</sup>		
Aquecimento (Gás)						
Arrefecimento	148792 kWh	51307 kWh	21.19 kWh/m <sup>2</sup>	52.97 kWh/m <sup>2</sup>		
Águas Quentes Sanitárias (AQS)	9552 kWh	3411 kWh	1.41 kWh/m <sup>2</sup>	3.52 kWh/m <sup>2</sup>		
Águas Quentes Sanitárias (AQS) - Piscina						
Humidificação/Desumidificação						
Iluminação	51756 kWh	51756 kWh	21.37 kWh/m <sup>2</sup>	53.43 kWh/m <sup>2</sup>		
Equipamentos	56373 kWh	56373 kWh	23.28 kWh/m <sup>2</sup>	58.20 kWh/m <sup>2</sup>		
Bombas   Ventiladores   climatização	144944 kWh	144944 kWh	59.86 kWh/m <sup>2</sup>	149.64 kWh/m <sup>2</sup>		
Elevadores, Escadas Rolantes etc.	3262 kWh	3262 kWh	1.35 kWh/m <sup>2</sup>	3.37 kWh/m <sup>2</sup>		
Ventiladores   Bombas   Outros	1094 kWh	1094 kWh	0.45 kWh/m <sup>2</sup>	1.13 kWh/m <sup>2</sup>		
Iluminação Exterior	1833 kWh	1833 kWh	0.76 kWh/m <sup>2</sup>	1.89 kWh/m <sup>2</sup>		
Equipamentos - Gás						
Consumo anual de Energia Final (por fonte de energia)						
Edifício	Total	Energia Final por Área		Energia Primária por Área		
Electricidade	128846 kWh	53.21 kWh/m <sup>2</sup>	133.02 kWh/m <sup>2</sup>			
Combustíveis Fósseis						
Outros Combustíveis Renováveis	162453 kWh	67.09 kWh/m <sup>2</sup>	67.09 kWh/m <sup>2</sup>			
Solar Térmico						
Solar Fotovoltaico	43886 kWh	18.12 kWh/m <sup>2</sup>	45.3077 kWh/m <sup>2</sup>			
<b>Índices de Eficiência Energética</b>						
Edifício	Edifício	Referência				
IEE <sub>S</sub>	180.82 kWhEP/(m <sup>2</sup> .ano)	264.96 kWhEP/(m <sup>2</sup> .ano)				
IEE <sub>T</sub>	64.59 kWhEP/(m <sup>2</sup> .ano)	64.59 kWhEP/(m <sup>2</sup> .ano)				
IEE <sub>REN</sub>	112.39 kWhEP/(m <sup>2</sup> .ano)					
IEE	133.02 kWhEP/(m <sup>2</sup> .ano)	329.55 kWhEP/(m <sup>2</sup> .ano)				
Ren <sub>C&amp;S</sub>	11.40					
IEE <sub>fóssil,S</sub>	68.43 kWhEP/(m <sup>2</sup> .ano)					
R	0.26	A				

## APÊNDICE L – SISTEMA 2: RESUMO DOS CÁLCULOS PARA DETERMINAÇÃO DA CLASSE ENERGÉTICA

Consumo anual de Energia Final (por tipo de uso)						
Edifício	Energia Útil		Energia Final		Energia Primária	
Aquecimento	20374	kWh	4557	kWh	1.88 kWh/m <sup>2</sup>	4.71 kWh <sub>EP</sub> /m <sup>2</sup>
Aquecimento (Gás)		kWh		kWh	kWh/m <sup>2</sup>	kWh <sub>EP</sub> /m <sup>2</sup>
Arrefecimento	198479	kWh	29967	kWh	12.38 kWh/m <sup>2</sup>	30.94 kWh <sub>EP</sub> /m <sup>2</sup>
Águas Quentes Sanitárias (AQS)	9552	kWh	3205	kWh	1.32 kWh/m <sup>2</sup>	3.31 kWh <sub>EP</sub> /m <sup>2</sup>
Águas Quentes Sanitárias (AQS) - Piscina		kWh		kWh	kWh/m <sup>2</sup>	kWh <sub>EP</sub> /m <sup>2</sup>
Humidificação/Desumidificação		kWh		kWh	kWh/m <sup>2</sup>	kWh <sub>EP</sub> /m <sup>2</sup>
Iluminação	29831	kWh	29831	kWh	12.32 kWh/m <sup>2</sup>	30.80 kWh <sub>EP</sub> /m <sup>2</sup>
Equipamentos	56373	kWh	56373	kWh	23.28 kWh/m <sup>2</sup>	58.20 kWh <sub>EP</sub> /m <sup>2</sup>
Bombas   Ventiladores   climatização	40736	kWh	40736	kWh	16.82 kWh/m <sup>2</sup>	42.06 kWh <sub>EP</sub> /m <sup>2</sup>
Elevadores, Escadas Rolantes etc.	3262	kWh	3262	kWh	1.35 kWh/m <sup>2</sup>	3.37 kWh <sub>EP</sub> /m <sup>2</sup>
Ventiladores   Bombas   Outros	1094	kWh	1094	kWh	0.45 kWh/m <sup>2</sup>	1.13 kWh <sub>EP</sub> /m <sup>2</sup>
Iluminação Exterior	1833	kWh	1833	kWh	0.76 kWh/m <sup>2</sup>	1.89 kWh <sub>EP</sub> /m <sup>2</sup>
Equipamentos - Gás		kWh		kWh	kWh/m <sup>2</sup>	kWh <sub>EP</sub> /m <sup>2</sup>
Referência						
Aquecimento	14542	kWh	4847	kWh	2.00 kWh/m <sup>2</sup>	5.00 kWh/m <sup>2</sup>
Aquecimento (Gás)		kWh		kWh	kWh/m <sup>2</sup>	kWh/m <sup>2</sup>
Arrefecimento	142227	kWh	49044	kWh	20.25 kWh/m <sup>2</sup>	50.63 kWh/m <sup>2</sup>
Águas Quentes Sanitárias (AQS)	9552	kWh	3411	kWh	1.41 kWh/m <sup>2</sup>	3.52 kWh/m <sup>2</sup>
Águas Quentes Sanitárias (AQS) - Piscina		kWh		kWh	kWh/m <sup>2</sup>	kWh/m <sup>2</sup>
Humidificação/Desumidificação		kWh		kWh	kWh/m <sup>2</sup>	kWh/m <sup>2</sup>
Iluminação	51756	kWh	51756	kWh	21.37 kWh/m <sup>2</sup>	53.43 kWh/m <sup>2</sup>
Equipamentos	56373	kWh	56373	kWh	23.28 kWh/m <sup>2</sup>	58.20 kWh/m <sup>2</sup>
Bombas   Ventiladores   climatização	144944	kWh	144944	kWh	59.86 kWh/m <sup>2</sup>	149.64 kWh/m <sup>2</sup>
Elevadores, Escadas Rolantes etc.	3262	kWh	3262	kWh	1.35 kWh/m <sup>2</sup>	3.37 kWh/m <sup>2</sup>
Ventiladores   Bombas   Outros	1094	kWh	1094	kWh	0.45 kWh/m <sup>2</sup>	1.13 kWh/m <sup>2</sup>
Iluminação Exterior	1833	kWh	1833	kWh	0.76 kWh/m <sup>2</sup>	1.89 kWh/m <sup>2</sup>
Equipamentos - Gás		kWh		kWh	kWh/m <sup>2</sup>	kWh/m <sup>2</sup>
Consumo anual de Energia Final (por fonte de energia)						
Edifício	Total	Energia Final por Área		Energia Primária por Área		
Electricidade	128753	kWh	53.17	kWh/m <sup>2</sup>	132.92	kWh/m <sup>2</sup>
Combustíveis Fósseis		kWh		kWh/m <sup>2</sup>		kWh/m <sup>2</sup>
Outros Combustíveis Renováveis	190675	kWh	78.74	kWh/m <sup>2</sup>	78.74	kWh/m <sup>2</sup>
Solar Térmico		kWh		kWh/m <sup>2</sup>		kWh/m <sup>2</sup>
Solar Fotovoltaico	42107	kWh	17.39	kWh/m <sup>2</sup>	43.4711	kWh/m <sup>2</sup>
Índices de Eficiência Energética						
Edifício	Edifício		Referência			
IEE <sub>S</sub>	190.55 kWhEP/(m2.ano)		262.23 kWhEP/(m2.ano)			
IEE <sub>T</sub>	64.59 kWhEP/(m2.ano)		64.59 kWhEP/(m2.ano)			
IEE <sub>REN</sub>	122.21 kWhEP/(m2.ano)		_____			
IEE	132.92 kWhEP/(m2.ano)		326.82 kWhEP/(m2.ano)			
Ren <sub>C&amp;S</sub>	12.39					
IEE <sub>fóssil,S</sub>	68.33 kWhEP/(m2.ano)					
R	0.26		A			

## APÊNDICE M – SISTEMA 3: RESUMO DOS CÁLCULOS PARA DETERMINAÇÃO DA CLASSE ENERGÉTICA

Consumo anual de Energia Final (por tipo de uso)						
Edifício	Energia Útil		Energia Final		Energia Primária	
Aquecimento	24387	kWh	5973	kWh	2.47 kWh/m <sup>2</sup>	6.17 kWh <sub>EP</sub> /m <sup>2</sup>
Aquecimento (Gás)		kWh		kWh	kWh/m <sup>2</sup>	kWh <sub>EP</sub> /m <sup>2</sup>
Arrefecimento	463720	kWh	88986	kWh	36.75 kWh/m <sup>2</sup>	91.87 kWh <sub>EP</sub> /m <sup>2</sup>
Águas Quentes Sanitárias (AQS)	9552	kWh	3205	kWh	1.32 kWh/m <sup>2</sup>	3.31 kWh <sub>EP</sub> /m <sup>2</sup>
Águas Quentes Sanitárias (AQS) - Piscina		kWh		kWh	kWh/m <sup>2</sup>	kWh <sub>EP</sub> /m <sup>2</sup>
Humidificação/Desumidificação		kWh		kWh	kWh/m <sup>2</sup>	kWh <sub>EP</sub> /m <sup>2</sup>
Iluminação	29831	kWh	29831	kWh	12.32 kWh/m <sup>2</sup>	30.80 kWh <sub>EP</sub> /m <sup>2</sup>
Equipamentos	56373	kWh	56373	kWh	23.28 kWh/m <sup>2</sup>	58.20 kWh <sub>EP</sub> /m <sup>2</sup>
Bombas   Ventiladores   climatização	35381	kWh	35381	kWh	14.61 kWh/m <sup>2</sup>	36.53 kWh <sub>EP</sub> /m <sup>2</sup>
Elevadores, Escadas Rolantes etc.	3262	kWh	3262	kWh	1.35 kWh/m <sup>2</sup>	3.37 kWh <sub>EP</sub> /m <sup>2</sup>
Ventiladores   Bombas   Outros	1094	kWh	1094	kWh	0.45 kWh/m <sup>2</sup>	1.13 kWh <sub>EP</sub> /m <sup>2</sup>
Iluminação Exterior	1833	kWh	1833	kWh	0.76 kWh/m <sup>2</sup>	1.89 kWh <sub>EP</sub> /m <sup>2</sup>
Equipamentos - Gás		kWh		kWh	kWh/m <sup>2</sup>	kWh <sub>EP</sub> /m <sup>2</sup>
Referência						
Aquecimento	16833	kWh	5611	kWh	2.32 kWh/m <sup>2</sup>	5.79 kWh/m <sup>2</sup>
Aquecimento (Gás)		kWh		kWh	kWh/m <sup>2</sup>	kWh/m <sup>2</sup>
Arrefecimento	451159	kWh	155572	kWh	64.24 kWh/m <sup>2</sup>	160.61 kWh/m <sup>2</sup>
Águas Quentes Sanitárias (AQS)	9552	kWh	3411	kWh	1.41 kWh/m <sup>2</sup>	3.52 kWh/m <sup>2</sup>
Águas Quentes Sanitárias (AQS) - Piscina		kWh		kWh	kWh/m <sup>2</sup>	kWh/m <sup>2</sup>
Humidificação/Desumidificação		kWh		kWh	kWh/m <sup>2</sup>	kWh/m <sup>2</sup>
Iluminação	51756	kWh	51756	kWh	21.37 kWh/m <sup>2</sup>	53.43 kWh/m <sup>2</sup>
Equipamentos	56373	kWh	56373	kWh	23.28 kWh/m <sup>2</sup>	58.20 kWh/m <sup>2</sup>
Bombas   Ventiladores   climatização	86107	kWh	86107	kWh	35.56 kWh/m <sup>2</sup>	88.90 kWh/m <sup>2</sup>
Elevadores, Escadas Rolantes etc.	3262	kWh	3262	kWh	1.35 kWh/m <sup>2</sup>	3.37 kWh/m <sup>2</sup>
Ventiladores   Bombas   Outros	1094	kWh	1094	kWh	0.45 kWh/m <sup>2</sup>	1.13 kWh/m <sup>2</sup>
Iluminação Exterior	1833	kWh	1833	kWh	0.76 kWh/m <sup>2</sup>	1.89 kWh/m <sup>2</sup>
Equipamentos - Gás		kWh		kWh	kWh/m <sup>2</sup>	kWh/m <sup>2</sup>
Consumo anual de Energia Final (por fonte de energia)						
Edifício	Total	Energia Final por Área		Energia Primária por Área		
Electricidade	181947	kWh	75.14	kWh/m <sup>2</sup>	187.84	kWh/m <sup>2</sup>
Combustíveis Fósseis		kWh		kWh/m <sup>2</sup>		kWh/m <sup>2</sup>
Outros Combustíveis Renováveis	399494	kWh	164.97	kWh/m <sup>2</sup>	164.97	kWh/m <sup>2</sup>
Solar Térmico		kWh		kWh/m <sup>2</sup>		kWh/m <sup>2</sup>
Solar Fotovoltaico	43992	kWh	18.17	kWh/m <sup>2</sup>	45.42	kWh/m <sup>2</sup>
Índices de Eficiência Energética						
Edifício	Edifício		Referência			
IEE <sub>S</sub>	333.64 kWhEP/(m2.ano)		312.26 kWhEP/(m2.ano)			
IEE <sub>T</sub>	64.59 kWhEP/(m2.ano)		64.59 kWhEP/(m2.ano)			
IEE <sub>REN</sub>	210.39 kWhEP/(m2.ano)		_____			
IEE	187.84 kWhEP/(m2.ano)		376.85 kWhEP/(m2.ano)			
Ren <sub>C&amp;S</sub>	21.34					
IEE <sub>fóssil,S</sub>	123.25 kWhEP/(m2.ano)					
R	0.39	A				

## APÊNDICE N – SISTEMA 4: RESUMOS DOS CÁLCULOS PARA DETERMINAÇÃO DA CLASSE ENERGÉTICA

Consumo anual de Energia Final (por tipo de uso)						
Edifício	Energia Útil		Energia Final		Energia Primária	
Aquecimento	20682	kWh	5502	kWh	2.27 kWh/m <sup>2</sup>	5.68 kWh <sub>EP</sub> /m <sup>2</sup>
Aquecimento (Gás)		kWh		kWh	kWh/m <sup>2</sup>	kWh <sub>EP</sub> /m <sup>2</sup>
Arrefecimento	395799	kWh	98845	kWh	40.82 kWh/m <sup>2</sup>	102.05 kWh <sub>EP</sub> /m <sup>2</sup>
Águas Quentes Sanitárias (AQS)	9552	kWh	3205	kWh	1.32 kWh/m <sup>2</sup>	3.31 kWh <sub>EP</sub> /m <sup>2</sup>
Águas Quentes Sanitárias (AQS) - Piscina		kWh		kWh	kWh/m <sup>2</sup>	kWh <sub>EP</sub> /m <sup>2</sup>
Humidificação/Desumidificação		kWh		kWh	kWh/m <sup>2</sup>	kWh <sub>EP</sub> /m <sup>2</sup>
Iluminação	29831	kWh	29831	kWh	12.32 kWh/m <sup>2</sup>	30.80 kWh <sub>EP</sub> /m <sup>2</sup>
Equipamentos	56373	kWh	56373	kWh	23.28 kWh/m <sup>2</sup>	58.20 kWh <sub>EP</sub> /m <sup>2</sup>
Bombas   Ventiladores   climatização	39433	kWh	39433	kWh	16.28 kWh/m <sup>2</sup>	40.71 kWh <sub>EP</sub> /m <sup>2</sup>
Elevadores, Escadas Rolantes etc.	3262	kWh	3262	kWh	1.35 kWh/m <sup>2</sup>	3.37 kWh <sub>EP</sub> /m <sup>2</sup>
Ventiladores   Bombas   Outros	1094	kWh	1094	kWh	0.45 kWh/m <sup>2</sup>	1.13 kWh <sub>EP</sub> /m <sup>2</sup>
Iluminação Exterior	1833	kWh	1833	kWh	0.76 kWh/m <sup>2</sup>	1.89 kWh <sub>EP</sub> /m <sup>2</sup>
Equipamentos - Gás		kWh		kWh	kWh/m <sup>2</sup>	kWh <sub>EP</sub> /m <sup>2</sup>
Referência						
Aquecimento	18908	kWh	6303	kWh	2.60 kWh/m <sup>2</sup>	6.51 kWh/m <sup>2</sup>
Aquecimento (Gás)		kWh		kWh	kWh/m <sup>2</sup>	kWh/m <sup>2</sup>
Arrefecimento	410269	kWh	141472	kWh	58.42 kWh/m <sup>2</sup>	146.06 kWh/m <sup>2</sup>
Águas Quentes Sanitárias (AQS)	9552	kWh	3411	kWh	1.41 kWh/m <sup>2</sup>	3.52 kWh/m <sup>2</sup>
Águas Quentes Sanitárias (AQS) - Piscina		kWh		kWh	kWh/m <sup>2</sup>	kWh/m <sup>2</sup>
Humidificação/Desumidificação		kWh		kWh	kWh/m <sup>2</sup>	kWh/m <sup>2</sup>
Iluminação	51756	kWh	51756	kWh	21.37 kWh/m <sup>2</sup>	53.43 kWh/m <sup>2</sup>
Equipamentos	56373	kWh	56373	kWh	23.28 kWh/m <sup>2</sup>	58.20 kWh/m <sup>2</sup>
Bombas   Ventiladores   climatização	90160	kWh	90160	kWh	37.23 kWh/m <sup>2</sup>	93.08 kWh/m <sup>2</sup>
Elevadores, Escadas Rolantes etc.	3262	kWh	3262	kWh	1.35 kWh/m <sup>2</sup>	3.37 kWh/m <sup>2</sup>
Ventiladores   Bombas   Outros	1094	kWh	1094	kWh	0.45 kWh/m <sup>2</sup>	1.13 kWh/m <sup>2</sup>
Iluminação Exterior	1833	kWh	1833	kWh	0.76 kWh/m <sup>2</sup>	1.89 kWh/m <sup>2</sup>
Equipamentos - Gás		kWh		kWh	kWh/m <sup>2</sup>	kWh/m <sup>2</sup>
Consumo anual de Energia Final (por fonte de energia)						
Edifício	Total	Energia Final por Área		Energia Primária por Área		
Electricidade	198432	kWh	81.94	kWh/m <sup>2</sup>	204.86	kWh/m <sup>2</sup>
Combustíveis Fósseis		kWh		kWh/m <sup>2</sup>		kWh/m <sup>2</sup>
Outros Combustíveis Renováveis	318480	kWh	131.52	kWh/m <sup>2</sup>	131.52	kWh/m <sup>2</sup>
Solar Térmico		kWh		kWh/m <sup>2</sup>		kWh/m <sup>2</sup>
Solar Fotovoltaico	40948	kWh	16.91	kWh/m <sup>2</sup>	42.27	kWh/m <sup>2</sup>
Índices de Eficiência Energética						
Edifício	Edifício		Referência			
IEE <sub>S</sub>	314.06 kWhEP/(m2.ano)		302.60 kWhEP/(m2.ano)			
IEE <sub>T</sub>	64.59 kWhEP/(m2.ano)		64.59 kWhEP/(m2.ano)			
IEE <sub>REN</sub>	173.79 kWhEP/(m2.ano)		_____			
IEE	204.86 kWhEP/(m2.ano)		367.19 kWhEP/(m2.ano)			
Ren <sub>C&amp;S</sub>	17.62					
IEE <sub>fóssil,S</sub>	140.27 kWhEP/(m2.ano)					
R	0.46	A				

---

## **ANEXO A – PEÇAS DESENHADAS DO PROJETO DE AVAC**

101 – Planta do Piso -1

102 – Planta do Piso 0

103 – Planta do Piso 1

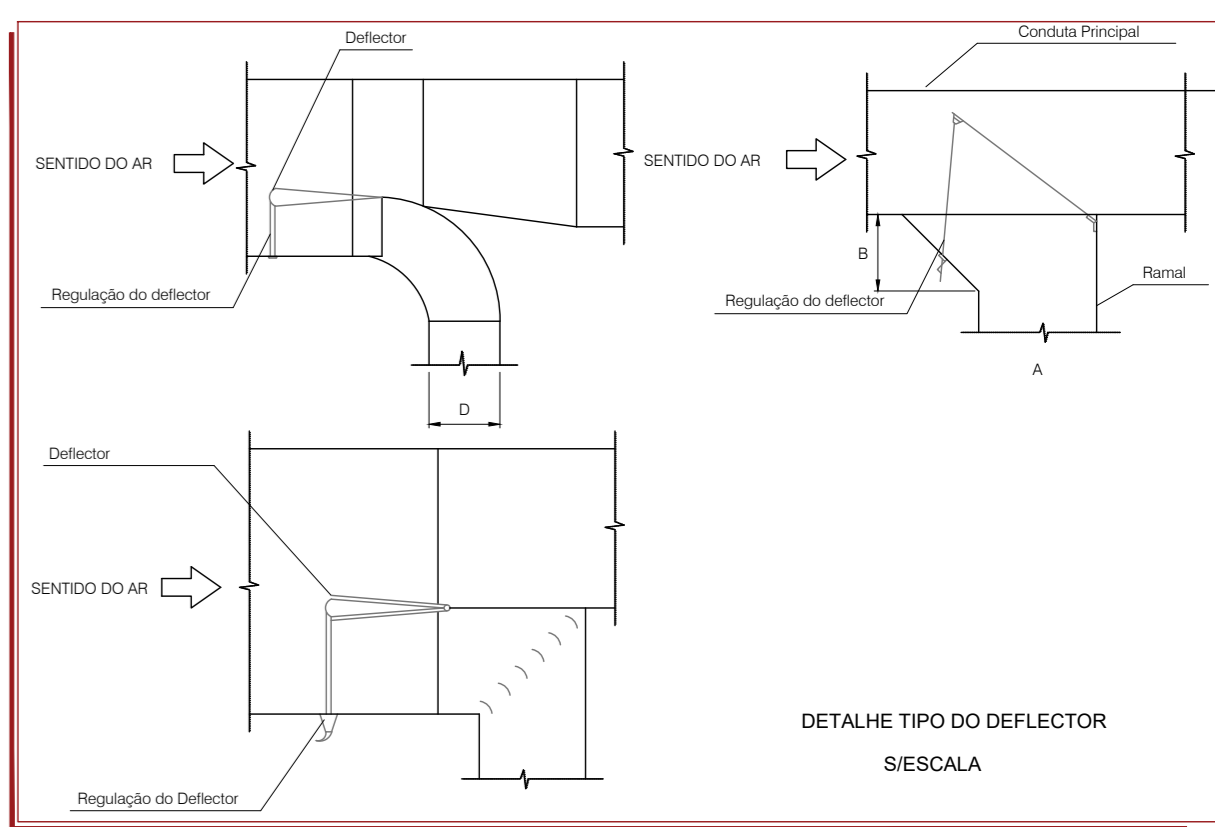
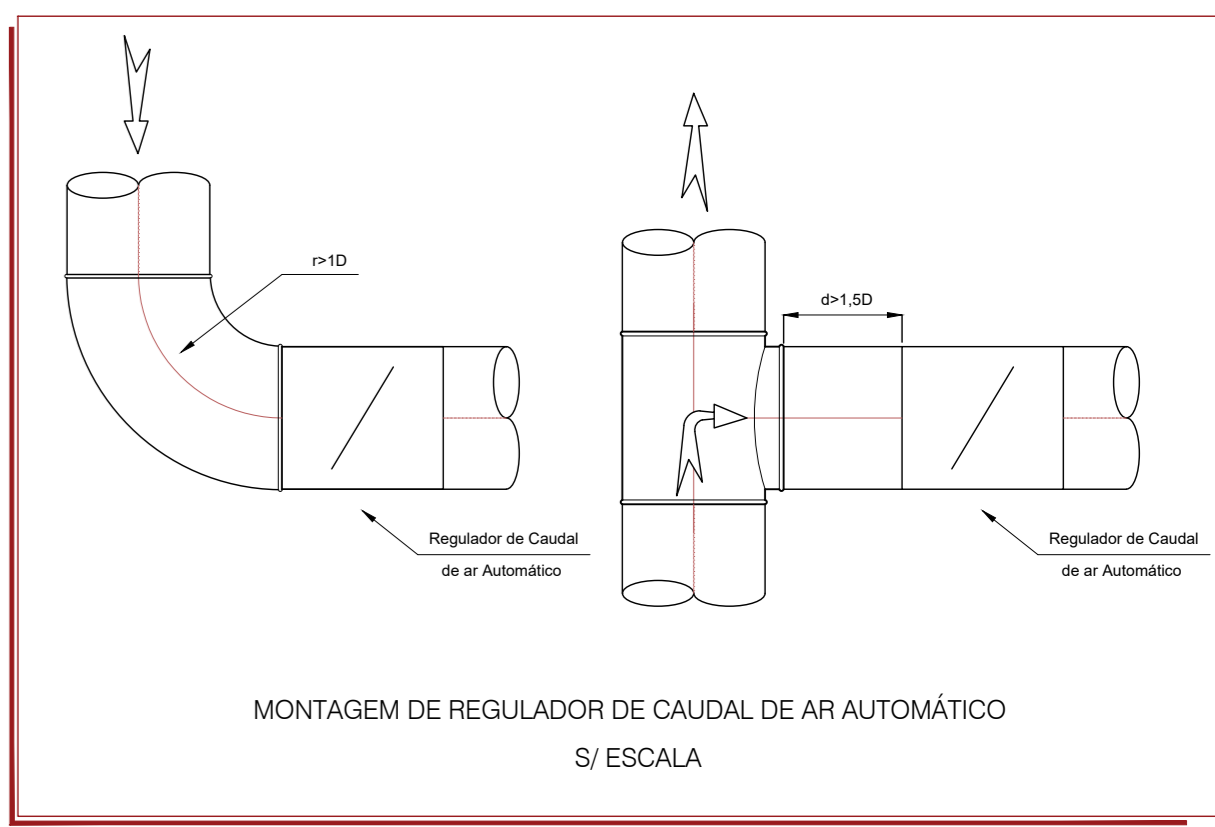




- LEGENDA**
- UE - Unidades Exteriores de Expansão Directa
  - UI - Unidades Interiores de Expansão Directa
  - UVRC - Unidade de ventilação com Recuperação de Calor
  - VE - Ventilador extração
  - VEIS - Ventilador extração, das Instalações Sanitárias
  - DAQ/BC - Depósito Água Quente, com Bomba de Calor
  - DCI - Difusor Circular de Insuflação, do tipo DAU 03
  - GI - Greija de Insuflação de dupla deflexão
  - GR - Greija de Retorno de simples deflexão
  - GLI - Greija linear de Insuflação
  - GE - Greija de Extração de simples deflexão
  - GP - Greija de porta
  - GEXT - Greija exterior
  - PV - Porta de Visita às condutas
  - BE - Boca de extração
  - R - Registro de caudal
  - RC - Registro de caudal Constante - automático
  - RAR - Registro de caudal anti-retorno
  - RCF - Registro corta fogo

Descrição	Material	Quantidade	Observações
Conduta de ar	Alumínio	1000m	
Conduta de ar	Alumínio	1000m	
Conduta de ar	Alumínio	1000m	
Conduta de ar	Alumínio	1000m	
Conduta de ar	Alumínio	1000m	
Conduta de ar	Alumínio	1000m	
Conduta de ar	Alumínio	1000m	
Conduta de ar	Alumínio	1000m	
Conduta de ar	Alumínio	1000m	
Conduta de ar	Alumínio	1000m	

- NOTAS**
- AS CONDUTAS DE AR SEÃO ISOLADAS ACUSTICAMENTE, CASO SEJA NECESSÁRIO.
  - NÃO ABRIR ROZOS EM PAREDES E LAJES ACIDAS, SEM CONSULTAR A FISCALIZAÇÃO.
  - TODAS AS FIXAÇÕES SÃO EXECUTADAS COM ANILHAS DE BORRACHA.
  - TODAS AS ARCAS APRESENTADAS SERVEM DE REFERÊNCIA PARA O DIMENSIONAMENTO, O QUE NÃO INVALIDA A UTILIZAÇÃO DE OUTROS FABRICANTES DE QUALIDADE E CARACTERÍSTICAS EQUIVALENTES
  - TODAS AS MEDIDAS DEVERÃO SER VERIFICADAS EM OBRA.



**PORTAS DE VISITA**

Conduta rectangular

Conduta circular

Conduta rectangular	Conduta circular
Dimensões	Dimensões
a x b	Ø
150 x 150	150
200 x 200	200
250 x 250	250
300 x 300	300
350 x 350	350
400 x 400	400
450 x 450	450

Revista	Data	Descrição	Proj.	Desen.	Aprov.
00	03/2021		MM	MM	JM

Projeto: **JM PROJECT**

Local: **Unidade de Saúde Familiar**

Execução: **INSTALAÇÕES MECÂNICAS**

Desenho: **Implantação Geral dos Equipamentos - Planta do Piso 0**

Auto: **03/2021**

Projeto: **092 00 MEC 00 102 PE 00 PL**



