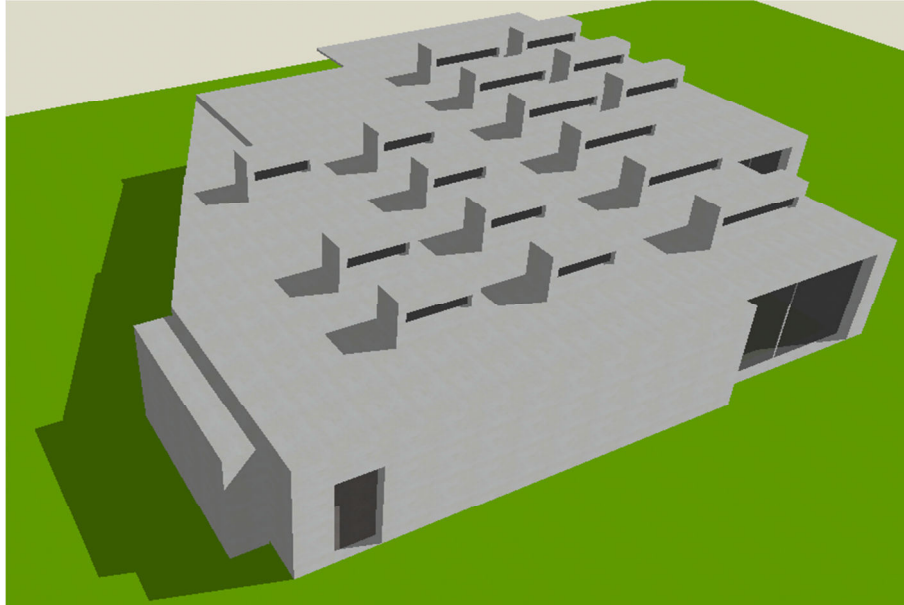




INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA
Área Departamental de Engenharia Mecânica



Projeto de AVAC e Classificação Energética de uma cafetaria

INÊS ALVES DE FRIAS PINTO
(Licenciada em Engenharia do Ambiente)

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

Orientador (es):

Professora Doutora Cláudia Séneca Casaca
Professor Doutor Guilherme Carrilho da Graça

Júri:

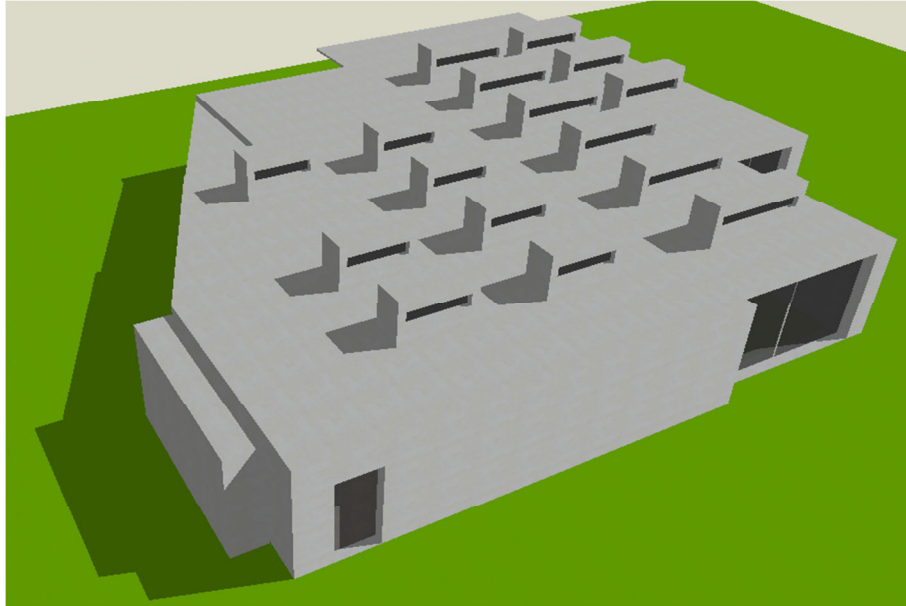
Presidente: Professor Doutor Jorge Filipe Oliveira Mendonça e Costa
Vogais:
Professor Doutor Armando Teófilo dos Santos Pinto
Professor Especialista João Antero Cardoso
Professora Doutora Cláudia Séneca Casaca
Professor Doutor Guilherme Carrilho da Graça

Dezembro de 2013



ISEL

INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA
Área Departamental de Engenharia Mecânica



Projeto de AVAC e Classificação Energética de uma cafetaria

INÊS ALVES DE FRIAS PINTO
(Licenciada em Engenharia do Ambiente)

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

Orientador (es):

Professora Doutora Cláudia Séneca Casaca
Professor Doutor Guilherme Carrilho da Graça

Júri:

Presidente: Professor Doutor Jorge Filipe Oliveira Mendonça e Costa
Vogais:
Professor Doutor Armando Teófilo dos Santos Pinto
Professor Especialista João Antero Cardoso
Professora Doutora Cláudia Séneca Casaca
Professor Doutor Guilherme Carrilho da Graça

Dezembro de 2013

Agradecimentos

Este Trabalho de Final de Mestrado representa o terminar de dois anos em que conciliei a minha vida profissional com a de estudante, um desafio que se veio a revelar mais intenso do que eu esperava inicialmente.

Neste momento, quero agradecer à professora Cláudia Casaca por ter aceite ser minha orientadora e por toda a disponibilidade que sempre teve para me receber (muitas vezes fora de horas...), esclarecer e orientar.

Quero agradecer ao meu chefe e também orientador, Engenheiro Guilherme Carrilho da Graça, não só pela ajuda ao longo do desenvolvimento deste trabalho mas também pela compreensão que várias vezes demonstrou durante estes últimos dois anos, que me permitiu conciliar os estudos com o meu trabalho na NaturalWorks.

Quero agradecer ao meu colega Pedro Paredes, por partilhar comigo todo o seu conhecimento de projeto de AVAC e por todas as vezes que a sua paciência foi maior que as minhas olheiras. Quero agradecer também à minha colega Maria Lerer pela ajuda nas simulações em *Energyplus* e por ouvir os meus desabafos.

Obrigado aos meus pais, pelo apoio essencial que me deram e que tantas vezes facilitou a minha vida.

Por fim, quero agradecer ao Gomes por ter sido incansável na paciência, compreensão e carinho e por todos os momentos em que me fez ganhar confiança, serenidade e motivação.

Resumo

O antigo Centro de Iniciação Artística Infantil (CIAI) da Fundação Calouste Gulbenkian (FCG) irá sofrer obras de remodelação resultantes num edifício cujo espaço principal é uma cafetaria. Este trabalho pretende apresentar o projeto de Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado (AVAC), o projeto de Sistema Solar Térmico (SST) e a classificação energética das novas instalações.

A determinação das potências de climatização do edifício foi efetuada com recurso a dois *softwares* de simulação térmica: *Carrier HAP* e *Energyplus*. As potências térmicas obtidas são ligeiramente diferentes com ambos os programas no dimensionamento de unidades terminais mas sem expressão no momento de seleção de equipamentos. As potências térmicas da Unidade de Tratamento de Ar (UTA) apresentaram diferenças significativas, possivelmente relacionados com o modo de caracterização da recuperação de calor com cada programa.

Foi utilizado o *software Solterm* para análise e dimensionamento do SST, revelando-se uma ferramenta útil e intuitiva no apoio a projeto e à estimativa de consumos energéticos do edifício.

Enquadrando-se o edifício no Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização de Edifícios (RSECE), calculou-se o Indicador de Eficiência Energética (IEE) para atribuição da sua classe. Efetuaram-se, em *HAP* e *Energyplus*, simulações em condições nominais para dois cenários de funcionamento da UTA: caudal de ar constante e caudal variável. Concluiu-se que os consumos energéticos anuais são visivelmente inferiores quando o caudal da UTA é variável. No entanto, no caso do edifício estudado, essas diferenças não se refletem na classe energética. O edifício apresenta classe energética B.

Palavras-chave: Simulação térmica, projeto, AVAC, SST, IEE, classe energética

Abstract

The antique Artistic Initiation Child Centre of the Fundação Calouste Gulbenkian will be refurbished. The main space of the new building will be a cafeteria. The main goals of this thesis are to present the project of Heating, Ventilation and Air Conditioning (HVAC) and the project of the Solar Thermal System (STS) for the new installations and the energy class, according to the portuguese current regulation.

The thermal power necessities of the building were determined using two thermal simulation *softwares*: *Carrier HAP* and *Energyplus*. The results obtained for the design of the terminal units are slightly different with both programs, but with no relevance in the selection of the equipments. The thermal power of the Air Handling Unit (AHU) showed significant differences, probably related to the characterization of heat recovery with each program.

The STS project was supported by *Solterm software* simulations, which revealed to be an useful and intuitive tool for the equipment design and for the analysis of the energy consumption of the building.

Since the building is covered by the portuguese regulation Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização de Edifícios (RSECE), the Energy Efficiency Indicator (EEI) was calculated in order to determine its energy class. Thermal simulations were carried out by *HAP* and *Energyplus*, considering the nominal conditions established in the regulation and two different sceneries for the AHU: constante air volume and variable air volume. According to the obtained results, the annual energetic consumptions are significantly lower for the AHU VAV scenery. However, those differences do not influence the energy class. The building energy class is B.

Keywords: design, HVAC, STS, EEI, energy class

Siglas e Acrónimos

A	Área
ADENE	Agência para a Energia
AN	Ar Novo
AQS	Águas Quentes Sanitárias
ASHRAE	American Society of Heating Refrigeration and Air-Conditioning Engineers
AVAC	Aquecimento, Ventilação e Ar-Condicionado
C_A	Airflow coefficient (Coeficiente de descarga)
COP	Coefficient Of Performance (Coeficiente de desempenho)
EER	Energy Efficiency Ratio (Eficiência energética)
FF	Fator de Forma
FCi	Fator de correção climática de inverno
FR	Coeficiente de radiação
FU	Coeficiente de utilização
FCv	Fator de correção climática de verão
GTC	Gestão Técnica Centralizada
HAP	Hourly Analysis Program
IEE	Indicador de Eficiência Energética
Pd	Pé direito
Q_{AN}	Caudal de ar novo
Q_{ext}	Caudal de extração
Q_{ins}	Caudal de insuflação
RCCTE	Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios
RPH	Renovações Por Hora
RSECE	Regulamento dos Sistemas Energéticos e de Climatização de Edifícios
SCE	Sistema de Certificação Energética
SST	Sistema Solar Térmico
V	Volume
VC	Ventiloconvector
UTA	Unidade de Tratamento de Ar

Índice

1	Introdução	1
1.1	A importância de climatizar e ventilar	1
1.2	Condições interiores de conforto.....	2
1.3	Condições exteriores.....	4
1.4	Cargas térmicas.....	7
1.5	A conceção de instalações de ventilação e climatização.....	9
1.6	Objetivos e organização do trabalho	11
2	Caracterização do edifício.....	13
2.1	Descrição do edifício.....	13
2.2	Caudais de ar a insuflar e extrair	16
2.2.1	Caudais mínimos de ar novo	16
2.2.2	Necessidades de renovação de ar.....	19
2.2.3	Balanço de caudais	20
2.3	Ganhos internos	22
2.3.1	Iluminação	22
2.3.2	Equipamentos elétricos.....	23
2.3.3	Ocupação	25
2.3.4	Perfis de utilização.....	25
2.4	Envolvente exterior.....	26
2.4.1	Envolvente exterior opaca	26
2.4.1.1	Paredes exteriores	26
2.4.1.2	Pontes térmicas planas	27
2.4.1.3	Cobertura exterior	27
2.4.1.4	Pavimento em contacto com o solo	28
2.4.2	Envolvente exterior envidraçada	28
2.4.2.1	Janelas e portas	28
2.4.2.2	Claraboias	29

2.5	Infiltrações	31
3 Projeto de Aquecimento Ventilação e Ar Condicionado		
	(AVAC).....	35
3.1	Simulação Térmica Dinâmica	35
3.1.1	Simulação com Carrier <i>HAP</i>	36
3.1.1.1	Modelação do edifício	36
3.1.1.2	Metodologia de simulação	38
3.1.2	Simulação com <i>Energypius</i>	39
3.1.2.1	Modelação do edifício	39
3.1.2.2	Metodologia de simulação	42
3.1.3	Resultados de simulações	43
3.2	Sistema de AVAC	47
3.2.1	Descrição do sistema de AVAC	47
3.2.2	Controlo da instalação	48
3.2.3	Critérios adotados em projeto.....	50
3.2.3.1	Admissão e rejeição de ar	50
3.2.3.2	Níveis de ruído	50
3.2.3.3	Velocidade do ar no interior dos espaços	51
3.3	Dimensionamento do sistema de AVAC.....	52
3.3.1	Principais equipamentos	52
3.3.1.1	Bomba de calor	52
3.3.1.2	Unidade de Tratamento de Ar.....	54
3.3.1.3	Ventiloconvectores	55
3.3.1.4	Sistema de climatização tipo monosplit.....	57
3.3.1.5	Ventiladores	59
3.3.1.6	<i>Hotte</i> da Copa	60
3.3.2	Rede aeráulica.....	60
3.3.2.1	Rede de condutas	60
3.3.2.2	Difusores	61
3.3.2.3	Grelhas	62
3.3.2.4	Válvulas de extração	63

3.3.2.5	Atenuadores Acústicos	63
3.3.2.6	Outros acessórios da rede aerúlica	64
3.3.3	Rede hidráulica	65
3.3.3.1	Rede de tubagem	65
3.3.3.2	Volante térmico	67
3.3.3.3	Outros acessórios da rede hidráulica	67
4	Projeto de Sistema Solar Térmico (SST)	69
4.1	Simulação <i>Solterm</i>	69
4.2	Principais equipamentos do SST	71
4.2.1	Coletores solares	71
4.2.2	Rede de tubagem	71
4.2.3	Dissipador de calor	72
4.2.4	Depósito de acumulação de AQS	72
4.2.5	Bomba de circulação	73
4.2.6	Vaso de expansão	73
5	Classificação energética do edifício	75
5.1	Enquadramento regulamentar	75
5.2	Pressupostos de cálculo do IEE	78
5.3	Simulação energética em condições nominais	82
5.3.1	Simulação em condições nominais com <i>HAP</i>	82
5.3.2	Simulação em condições nominais com <i>Energyplus</i>	84
5.4	Resultados de simulação	85
5.5	Determinação da classe energética do edifício	88
6	Conclusões	91
7	Referências Bibliográficas	95
Anexo A	97
Anexo A.1	– Eficiência de ventilação na cafeteria	99

Anexo A.2 – Plantas de arquitetura com mobiliário	101
Anexo A.3 – Projeto de Iluminação	103
Anexo A.4 – Projeto de alimentações específicas	107
Anexo A.5 – Determinação dos coeficientes de transmissão térmica da envolvente exterior	109
Anexo A.6 – Determinação das infiltrações de ar exterior	111
 Anexo B.....	 115
Anexo B.1 - Dimensionamento da rede aerúlica.....	117
Anexo B.2 - Dimensionamento da rede hidráulica	119
 Anexo C.....	 121
Anexo C.1 – Relatório da simulação em <i>Solterm</i>	123
Anexo C.2 – Cálculo do volume do vaso de expansão	129
 Anexo D	 131
Anexo D.1 – Lista de desenhos	133
Anexo D.2 - Desenhos dos projetos de AVAC e de SST	135
 Anexo E.....	 149
Anexo E.1 – Resumo de <i>inputs</i> de simulação em condições nominais .	151
Anexo E.2 – Cálculo do fator de forma do edifício	153
Anexo E.3 – Estimativa do número anual de horas de funcionamento da bomba de circulação do SST	155
Anexo E.4 – Cálculo de IEEs	157

Índice de Figuras

Figura 1.1 – Relação entre temperatura operativa ótima, atividade e vestuário.....	3
Figura 1.2 – Zonas climáticas em Portugal Continental.....	6
Figura 1.3 – Balanço energético num edifício.....	7
Figura 1.4 – Balanço energético no corpo humano.....	8
Figura 1.5 – Sistema de climatização de um edifício.....	10
Figura 2.1 – Localização do edifício a intervir no recinto da Fundação Calouste Gulbenkian.....	13
Figura 2.2 – Alterações previstas no edifício (amarelo – a demolir, encarnado – a construir).....	14
Figura 2.3 – Edifício remodelado.....	15
Figura 2.4 – Claraboias do edifício (a azul) – cobertura.....	30
Figura 2.5 – Claraboias do edifício (a azul) – corte na zona da cafetaria.....	30
Figura 3.1 – Envolvente exterior da Cafetaria - <i>HAP</i>	37
Figura 3.2 – Modelo tridimensional do edifício, planta – <i>DesignBuilder</i>	40
Figura 3.3 – Modelo tridimensional do edifício, vista Nascente – <i>DesignBuilder</i>	41
Figura 3.4 – Modelo tridimensional do edifício, alçado Noroeste – <i>DesignBuilder</i>	41
Figura 5.1 - Regulamentação aplicável a cada tipo de edifício.....	76
Figura 5.2 – Escala de classes energéticas de edifícios.....	76
Figura A.1 – Identificação de teto falso e zona sem teto falso na cafetaria (corte).....	99
Figura A.2 – Identificação de zonas com e sem teto falso na cafetaria (planta).....	100
Figura A.3 – Mobiliário da cafetaria, 28 lugares (planta).....	101
Figura A.4 – Mobiliário do Dialogue Cafe, 4 lugares (planta).....	101
Figura A.5 – Mobiliário do gabinete, 1 posto de trabalho (planta).....	102
Figura A.6 – Planta de iluminação normal - Cafetaria.....	103
Figura A.7 – Planta de iluminação normal – Dialogue Cafe.....	103

Figura A.8 – Planta de iluminação normal – Gabinete.....	104
Figura A.9 – Planta de iluminação normal – Copa.....	104
Figura A.10 – Planta de iluminação normal – IS senhoras, IS homens, Circulação 6 .	105
Figura A.11 – Planta de iluminação normal – Vestiários, IS Mob. Condicionada, Economato, Circulação 9 e Área Técnica	105
Figura A.12 – Planta de iluminação normal – Arrumo/ Economato	106
Figura A.13 – Planta de alimentações específicas – Dialogue Cafe	107
Figura A.14 – Planta de alimentações específicas – Copa	108
Figura A.15 – Determinação da classe de exposição do edifício	111
Figura A.16 – Valores convencionais de RPH.....	112
Figura A.17 – Determinação do valor de C_A	114
Figura A.18 – Determinação do valor de R_p	114

Índice de Tabelas

Tabela 2.1 – Determinação do tipo de atividade e caudais de ar novo a insuflar, segundo o RSECE [8].....	18
Tabela 2.2 – Determinação de caudais de ar novo a insuflar em cada espaço segundo EN 15251:2007 [10]	19
Tabela 2.3a – Renovações por hora mínimas de ar a considerar por tipo de espaços não climatizados.....	19
Tabela 2.3b – Renovações por hora mínimas de ar a considerar por tipo de espaços não climatizados.....	20
Tabela 2.4 – Renovações por hora mínimas de ar e correspondente caudal nos espaços não climatizados	20
Tabela 2.5 – Caudais a insuflar e extrair	21
Tabela 2.6a – Determinação de densidade de iluminação em cada espaço.....	22
Tabela 2.6b – Determinação de densidade de iluminação em cada espaço	23
Tabela 2.7a – Determinação de densidade de equipamentos em cada espaço	24
Tabela 2.7b – Determinação de densidade de equipamentos em cada espaço	25
Tabela 2.8 – Caracterização das janelas e portas.....	29
Tabela 2.9 – Caracterização das claraboias	30
Tabela 2.10 – Determinação de infiltrações em cada espaço (RPH).....	33
Tabela 3.1 – Resultados de simulação – <i>HAP</i>	44
Tabela 3.2 – Resultados de simulação - <i>Energyplus</i>	44
Tabela 3.3 – Pressão sonora de referência para os vários espaços do edifício.....	51
Tabela 3.4 – Características da bomba de calor selecionada.....	53
Tabela 3.5 – Características da UTA selecionada	55
Tabela 3.6 – Características de ventiloconvectores selecionados	57
Tabela 3.7 – Características do sistema monosplit selecionado.....	58
Tabela 3.8 – Características de ventiladores selecionados	59

Tabela 3.9 – Características de difusores lineares selecionados	61
Tabela 3.10 – Características de grelhas selecionadas	62
Tabela 3.11 – Características de atenuadores selecionados	64
Tabela 4.1 – Perfil de consumos de AQS	70
Tabela 4.2 – Resultados <i>Solterm</i>	70
Tabela 4.3 – Características da bomba de circulação do SST selecionada	73
Tabela 4.4 – Características do vaso de expansão do SST selecionado	74
Tabela 5.1 – Valores de IEE e classes energéticas para edifícios de tipologia “Pronto-a-comer”	78
Tabela 5.2 – Condições nominais para edifícios de tipologia “Pronto-a-comer”	78
Tabela 5.3 – Fatores de correção climática do edifício em estudo	79
Tabela 5.4 – Fatores de conversão entre energia útil e energia primária	80
Tabela 5.5 – Necessidades térmicas térmica anuais do edifício – UTA com caudal constante	85
Tabela 5.6 – Necessidades térmicas térmica anuais do edifício – UTA com caudal variável	86
Tabela 5.7 – IEEs e classes energéticas do edifício	89
Tabela A.1 – Tabela de siglas – projeto de alimentações específicas	108
Tabela A.2 – Cálculo do U das paredes exteriores	109
Tabela A.3 – Cálculo do U dos pilares	109
Tabela A.4 – Cálculo do U da cobertura – fluxo de calor ascendente	110
Tabela A.5 – Cálculo do U da cobertura – fluxo de calor descendente	110
Tabela A.6 – Cálculo das infiltrações de ar exterior (sistema de AVAC desligado) ...	112
Tabela B.1 – Dimensionamento da rede aerúlica (método da perda de carga constante)	117
Tabela B.2 – Dimensionamento da rede hidráulica (método da velocidade máxima admissível)	119
Tabela E.1 – Cálculo do fator de forma do edifício	153

Tabela E.2 – Simulação em <i>HAP</i> , UTA com caudal constante, com recuperação de calor	159
Tabela E.3 – Simulação em <i>HAP</i> , UTA com caudal constante, sem recuperação de calor	160
Tabela E.4 – Simulação em <i>Energyplus</i> , UTA com caudal constante, com recuperação de calor	161
Tabela E.5 – Simulação em <i>HAP</i> , UTA com caudal variável, com recuperação de calor	162
Tabela E.6 – Simulação em <i>HAP</i> , UTA com caudal variável, sem recuperação de calor	163
Tabela E.7 – Simulação em <i>Energyplus</i> , UTA com caudal variável, com recuperação de calor	164

Índice de Equações

Equação 2.1	32
Equação 3.1	51

1 Introdução

1.1 A importância de climatizar e ventilar

Numa sala fechada a energia libertada por pessoas e equipamentos eleva a temperatura do ar interior. A ocupação e alguns tipos de atividades resultam na libertação de CO₂ e de vapor de água, por vezes também na formação de odores. As trocas de calor entre o interior e o exterior dos edifícios através das envolventes opacas e envidraçadas levam, muitas vezes, a ganhos exagerados durante a estação mais quente e a perdas excessivas durante os meses mais frios. Ao fim de algum tempo, a degradação da qualidade do ar e o desmedido aumento ou diminuição da temperatura interior, tornam impossível a permanência de pessoas numa sala.

A entrada de ar novo e a saída de ar viciado em espaços fechados permite reduzir fortemente a concentração de gases, vapores e a quantidade de partículas em suspensão no seu interior, repondo níveis de qualidade do ar indispensáveis à saúde de ocupantes e à conservação de equipamentos e materiais [1]. Por estas razões, a ventilação dos edifícios desempenha um papel fundamental para a sua adequada utilização e longevidade.

Os ganhos e perdas de calor de um espaço associados à renovação do ar interior, juntamente com os que ocorrem através das suas envolventes e com os ganhos resultantes das atividades que nele tomam lugar, conduzem à definição de “carga térmica”. A carga térmica é a quantidade de calor que deve ser colocada ou retirada de uma zona do edifício para que as condições interiores de temperatura e humidade se mantenham dentro do intervalo de valores pretendidos [2]. As cargas térmicas são vulgarmente tratadas recorrendo a sistemas mecânicos de climatização.

1.2 Condições interiores de conforto

O principal objetivo de um sistema de Aquecimento Ventilação e Ar Condicionado (AVAC) é proporcionar condições, “em que o estado da mente expressa satisfação com o ambiente térmico circundante”, segundo a norma *ASHRAE 55* [3]. Esta definição deixa em aberto tanto o conceito de “estado da mente” como o de “satisfação” e, no fundo, realça corretamente que a sensação de “conforto” é um processo cognitivo que envolve vários fatores físicos, fisiológicos e psicológicos [3], nomeadamente a idade, o estado de saúde, o vestuário e o nível de atividade.

Verificou-se que condições interiores agradáveis para os ocupantes não influenciam apenas o seu bem estar físico mas também a sua produtividade, rendimento e até taxas de acidentes no trabalho. Temperaturas do ar interior demasiado elevadas ou demasiado reduzidas diminuem a atividade cerebral humana e a capacidade para desempenhar operações manuais. Também gradientes térmicos elevados, resultantes de diferenças de temperatura acentuadas, por exemplo entre a zona dos pés e a da cabeça dos ocupantes, provocam sensação de desconforto.

Para compreender a interação entre um ocupante e o meio que o rodeia e em que é que esta afeta a sensação de conforto térmico, é importante identificar as trocas de calor que ocorrem entre o ar ambiente e as pessoas. A determinação da taxa de calor libertada por uma pessoa para o ambiente circundante pode ser obtida pela multiplicação entre a área superficial do seu corpo e o calor metabólico correspondente ao seu nível de atividade. É usual caracterizar a taxa de calor metabólico por unidade de área de corpo em termos da unidade *met* ($1 \text{ met} = 58,2 \text{ W/m}^2$). Também o vestuário afeta fortemente as trocas entre os ocupantes e o meio. A medição do nível de isolamento térmico do vestuário é usualmente efetuada na unidade *clo* ($1 \text{ clo} = 0,155 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C/W}$) [2].

Uma forma (entre outras) de avaliar a sensação de conforto térmico consiste na aplicação da teoria desenvolvida por Fanger, segundo a qual é estabelecida uma relação entre a resistência térmica do vestuário dos ocupantes, o seu nível de atividade e a temperatura operativa ótima. Este método baseia-se em dois índices que caracterizam a resposta de um grande grupo de indivíduos à sensação de conforto térmico em

ambientes com diferentes condições. A Figura 1.1 traduz a relação entre estas diferentes variáveis sob a forma gráfica. Importa referir que a temperatura operativa combina efeitos de convecção e radiação através de uma média ponderada que inclui a temperatura de bolbo seco do ar interior e a temperatura média das superfícies existentes no ambiente (temperatura radiante média) [2].

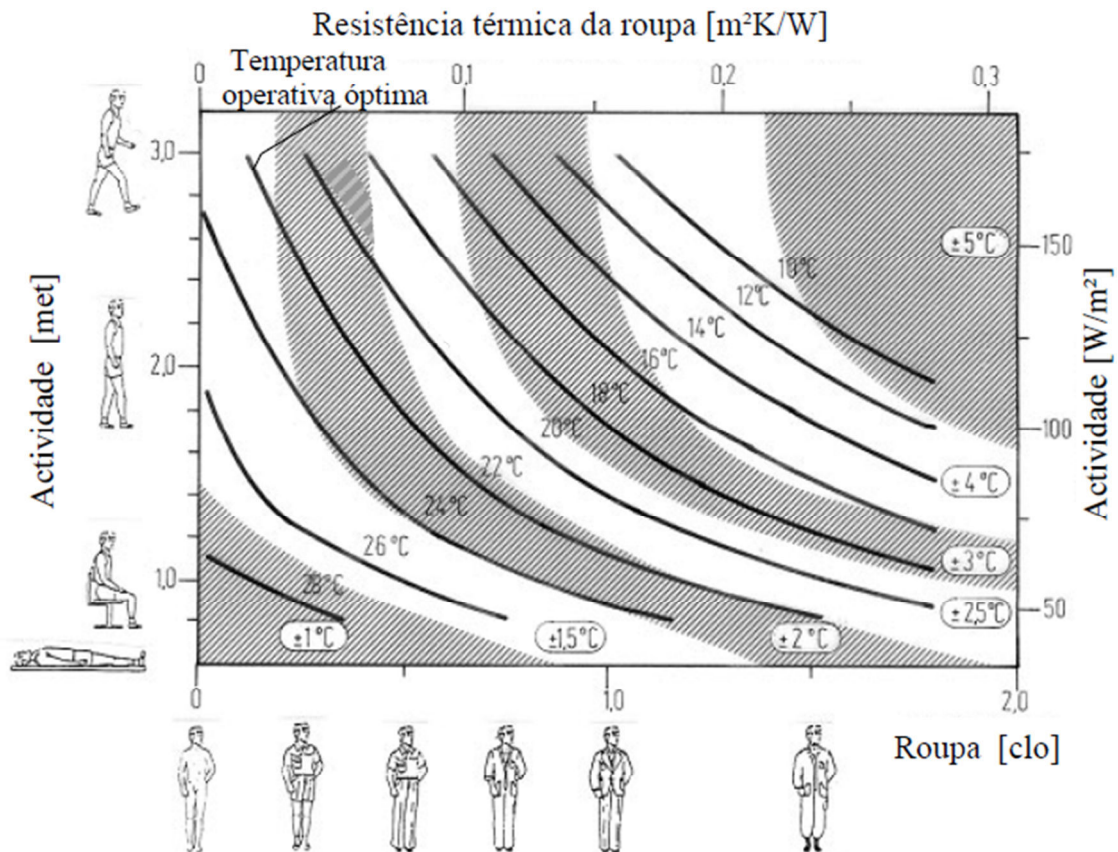


Figura 1.1 – Relação entre temperatura operativa óptima, atividade e vestuário
 Fonte: Adaptado de [4]

As correntes de ar numa sala podem provocar arrefecimentos indesejados, devidos a convecção. Por esta razão, também a velocidade do ar no interior dos edifícios afeta a sensação de conforto dos seus ocupantes.

A humidade do ar é outro parâmetro importante na definição de condições interiores de conforto. A humidade relativa do ar interior não deve ser inferior a 30%, sob risco dos

ocupantes poderem ter sintomas como pele seca e dificuldades respiratórias. Por outro lado, esta também não deve ser superior a 70%, o que poderia provocar mau estar devido à forte redução nas trocas de calor por sudação [2].

Os contaminantes ambientais, ao afetarem a pureza e higiene do ar, traduzem-se também no nível de conforto e podem constituir um perigo potencial ao nível da saúde dependendo dos valores das suas concentrações e do tempo de exposição dos ocupantes. A degradada qualidade do ar pode provocar uma simples deteção sensorial ou pode, em casos extremos em que resulte de elevadas concentrações de poluentes tóxicos, ser letal.

À semelhança do que acontece com outros seres vivos, também o Homem depende de oxigénio para sobreviver. A quantidade mínima de oxigénio exigida pelo metabolismo humano em repouso é cerca de 0,2 l/s, ou seja cerca de 1 l/s de ar atmosférico (21% de oxigénio). Para atividades mais intensas a quantidade de ar novo disponível terá de ser superior. A disponibilidade de oxigénio no ar de um espaço fechado é um dos fatores que mais afeta a saúde e bem estar dos seus utilizadores.

Pode concluir-se que as condições de conforto no interior dos edificios dependem da temperatura, do gradiente de temperaturas, da velocidade, dos teores de oxigénio e humidade e da quantidade de contaminantes e partículas do ar interior. Apesar dos limites de tolerância a cada um destes parâmetros poderem variar ligeiramente de pessoa para pessoa, todos eles têm influência na sensação de conforto dos seres humanos.

1.3 Condições exteriores

O desempenho dos sistemas de condicionamento de ar é fortemente influenciado pelas variações climáticas que se verificam em cada dia ao longo do ano. O ambiente exterior num determinado local é caracterizado por diversos parâmetros, tais como a temperatura, a humidade, a velocidade e direção do vento, a nebulosidade, a qualidade do ar e a precipitação. A temperatura e a humidade do ar numa região devem-se

essencialmente à ação do vento e da radiação solar, enquanto que a qualidade do ar exterior é maioritariamente afetada pela atividade humana.

A evolução da temperatura do ar atmosférico ao longo do dia e ao longo do ano é significativamente influenciada pela variação anual e diária da radiação solar que incide na superfície terrestre. A variação da declinação da terra ao longo do ano justifica as evoluções que ocorrem na temperatura exterior nos diferentes meses, a variação da intensidade da radiação solar incidente devida ao movimento de rotação do planeta do nascer ao pôr do sol, explica a evolução diária das temperaturas [2].

Um fluxo de radiação térmica ao incidir numa superfície (numa parede ou vidro, por exemplo) subdivide-se em três componentes radiativas: refletida (uma parte da energia retorna à atmosfera), absorvida (componente da radiação que é absorvida e acumulada termicamente pelas moléculas da superfície) e transmitida (componente da radiação que atravessa a superfície sem sofrer alterações, o que acontece apenas nas superfícies transparentes). A compreensão desta decomposição da radiação térmica é muito importante para perceber os fenómenos de transferência e transmissão de calor que ocorrem através das envolventes exteriores dos edifícios.

A ação do vento é um fator também com grande influência no clima. Basicamente, os ventos são massas de ar em movimento provocado por variações da pressão atmosférica devidas ao desigual aquecimento verificado nos continentes e nos mares. Os ventos provenientes do interior dos continentes tornam o clima de uma região seco, enquanto os provenientes dos mares, com conteúdos de humidade elevados, tornam o clima húmido. A velocidade do vento afeta também as trocas de calor entre um edifício e o exterior devidas a efeitos de convecção [2].

O conhecimento das condições exteriores a que um edifício está sujeito tem uma importância fulcral no dimensionamento de sistemas de climatização e no estudo do seu desempenho energético.

Face à variabilidade das condições do clima exterior, o RCCTE [5] apresenta dados climáticos médios para cada concelho de Portugal Continental e para as Regiões Autónomas, distinguindo três zonas climáticas, tanto na estação de aquecimento (zonas climáticas de Inverno: I_1 , I_2 e I_3) como na estação de arrefecimento (zonas climáticas de

Verão: V_1 , V_2 e V_3). Estas zonas climáticas são influenciadas pelos dados climáticos médios, mas também pela altitude e distância à costa. A zona I_1 é a mais fria durante o Inverno e a zona V_1 a mais quente no Verão. A Figura 1.2 apresenta as zonas climáticas definidas no RCCTE para Portugal Continental [5].

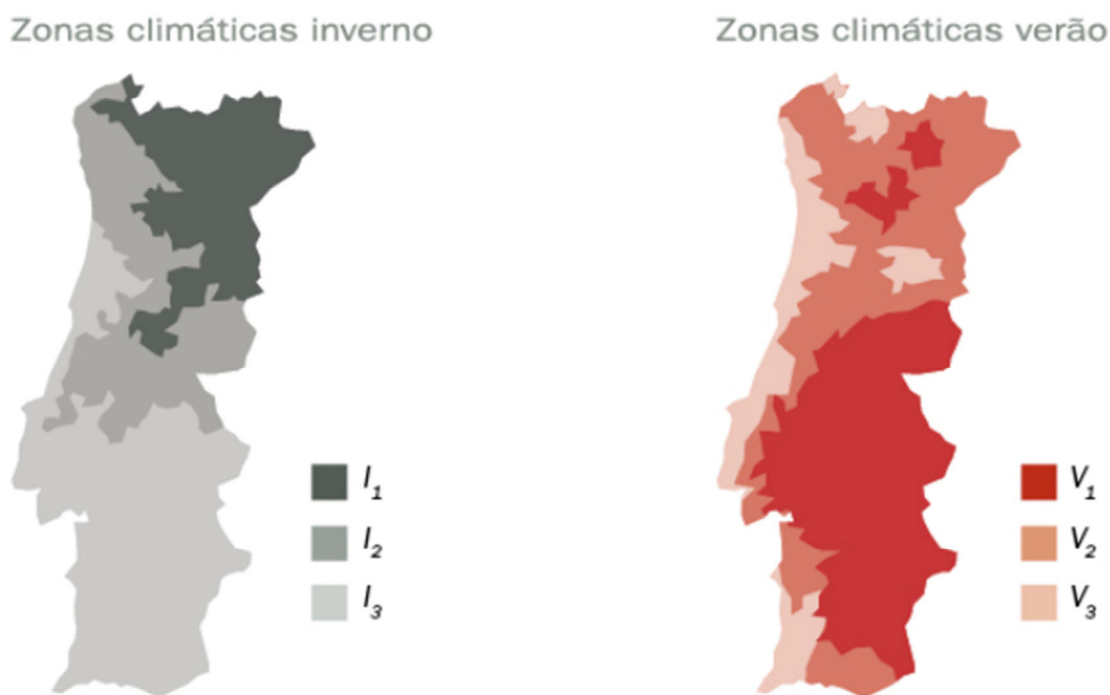


Figura 1.2 – Zonas climáticas em Portugal Continental
Fonte: [6]

A definição destas zonas, juntamente com outros dados climáticos de referência também apresentados no RCCTE [5] para cada concelho, nomeadamente a duração da estação de aquecimento, a temperatura exterior de projeto e o número de graus dias, fornecem importantes informações a projetistas de AVAC, quando se pretende efetuar o dimensionamento de sistemas sem recorrer a complexas simulações térmicas. Os requisitos da qualidade térmica das envolventes exteriores de edifícios abrangidos pelo Sistema de Certificação Energética (SCE) são função da zona climática em que se encontram.

1.4 Cargas térmicas

A radiação incidente nos edifícios e a diferença de temperaturas entre o interior e o exterior originam um fluxo de calor através das suas envolventes. A diferença de humidade específica entre o interior e o exterior do edifício resulta num fluxo de massa que atravessa as envolventes exteriores. As trocas de calor e massa entre o ambiente interior e exterior traduzem-se em carga térmica sensível e latente. Também as infiltrações de ar exterior nos espaços interiores resultam numa carga térmica sensível e latente. A utilização do edifício (ocupação, iluminação, utilização de equipamentos) leva a que se liberte calor e vapor de água. Todos estes fenómenos resultam em carga térmica, que tem de ser removida (caso seja positiva) ou cedida (caso seja negativa) para que o espaço interior se mantenha nas condições desejadas. A Figura 1.3 representa os fluxos de calor que resultam na carga térmica de um edifício, em situação de verão e de inverno.

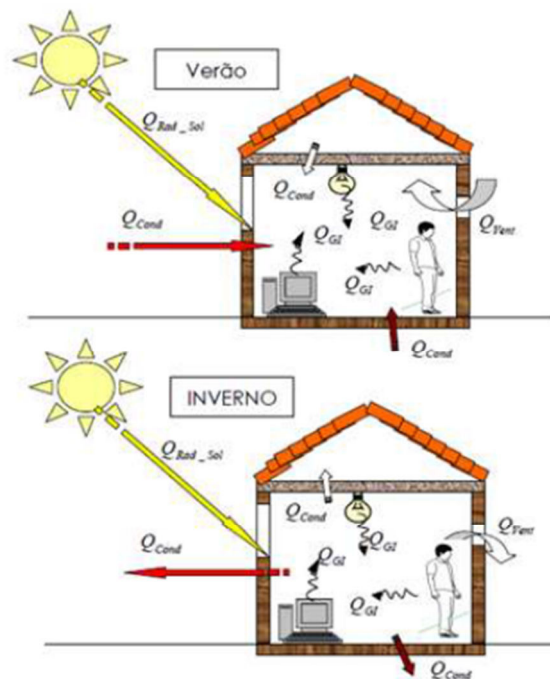


Figura 1.3 – Balanço energético num edifício
Fonte: Adaptado de [4]

No caso da ocupação é, na maioria dos casos, considerado que a carga térmica é igual ao metabolismo dos ocupantes. O metabolismo é função da atividade desenvolvida. A carga latente, carga sensível por convecção e carga sensível por radiação libertadas pelos ocupantes dependem também das condições de temperatura, humidade e velocidade do ar interior. A Figura 1.4 apresenta o balanço térmico no corpo humano.

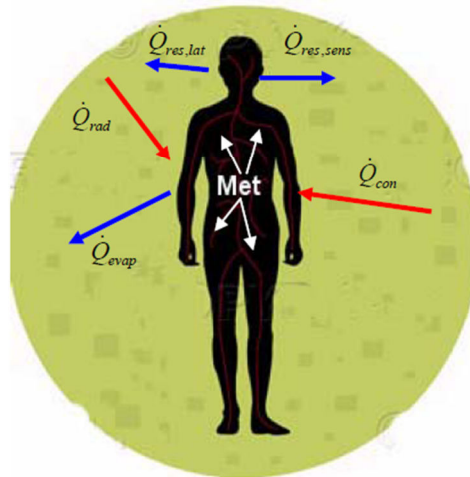


Figura 1.4 – Balanço energético no corpo humano
Fonte: [4]

No caso do cálculo de cargas térmicas devidas a equipamentos, é usual ser considerado um fator de potência e de simultaneidade.

As cargas térmicas devidas a infiltrações do ar exterior devem ser também consideradas, na caracterização de um espaço. No entanto, não é fácil a sua quantificação devido à incerteza em relação à efetiva utilização de janelas e portas e ao desconhecimento, muitas vezes, das condições do vento [1]

O caudal de ar novo a insuflar nos edifícios é responsável, normalmente, por cerca de 20 a 40% da carga térmica que os sistemas de AVAC têm de eliminar [2]. A contabilização da energia necessária para tratamento de ar novo pode ser feita conhecendo os caudais a insuflar e as condições interiores e exteriores de temperatura e humidade.

No domínio do AVAC é necessário calcular as cargas térmicas a tratar em cada zona de um edifício. A importância da determinação das cargas térmicas cobre dois aspetos fundamentais:

- o dimensionamento de equipamentos do sistema de climatização;
- a determinação do consumo de energia da instalação.

Atualmente, o cálculo das cargas térmicas é, na maioria dos casos, efetuado através de programas informáticos.

1.5 A conceção de instalações de ventilação e climatização

A forma mais comum de resolver as cargas térmicas de um edifício é fazer com que as zonas a tratar sejam atravessadas por um fluido que arrefece (cede calor ao espaço) ou aquece (ganha calor do espaço), consoante existam cargas térmicas negativas (calor em défice no espaço) ou positivas (calor em excesso no espaço), e que tem de ser repostas nas suas condições iniciais, para poder ser novamente utilizado [1]. É neste princípio base que assentam a maioria dos sistemas de AVAC, apesar de existirem algumas alternativas para aquecer ou arrefecer o interior de edifícios, como é o caso por exemplo dos processos radiativos [1].

O fluido que distribui energia pelo edifício (fluido térmico) pode ser água, uma solução aquosa (água glicolada ou salmoura), ar, termofluido (geralmente um óleo) ou ainda gases, em aplicações especiais. Existem também várias alternativas para aquecer e arrefecer o fluido térmico e diferentes soluções para a distribuição e introdução da energia térmica em cada espaço.

A conceção do sistema de distribuição e extração de ar deve ter em conta os efeitos de contaminação produzidos por fontes pontuais no interior dos ambientes. Podendo estes ser controlados através da criação de pressões diferenciais, utilizando ventiladores de extração e colocando criteriosamente os dispositivos terminais de insuflação e de extração (grelhas e difusores). Deste modo, os contaminantes podem ser evacuados

1.6 Objetivos e organização do trabalho

O presente trabalho foi realizado no âmbito da unidade curricular Trabalho de Final de Mestrado (TFM) do mestrado em Engenharia Mecânica, perfil de Energia, Refrigeração e Climatização do Instituto Superior de Engenharia de Lisboa (ISEL).

Este trabalho pretende apresentar o projeto de AVAC de um edifício cujo principal espaço é uma cafeteria. Um dos objetivos estabelecidos foi determinar as cargas térmicas a tratar em cada espaço com recurso a simulações efetuadas em dois *softwares*: *Carrier HAP* e *Energyplus*. Incluem-se também nos objetivos do trabalho a realização do projeto do Sistema Solar Térmico (SST) do edifício, o enquadramento regulamentar (RSECE/ RCCTE) e a determinação da classe energética da fração.

Este documento foi organizado em seis capítulos. No capítulo 1, Introdução, são apresentados alguns conceitos teóricos relevantes ao desenvolvimento do trabalho, bem como os seus objetivos e organização.

O capítulo 2 pretende caracterizar pormenorizadamente o edifício a estudar sendo apresentada a sua localização, arquitetura, ocupação esperada, iluminação e equipamentos previstos, soluções construtivas adotadas, caudais de ar a insuflar e a extrair e caudais de infiltrações de ar exterior a considerar.

No capítulo 3 apresentam-se as metodologias adotadas para determinação das potências de climatização a instalar, recorrendo a simulação térmica dinâmica nos *softwares HAP* e *Energyplus*, bem como os resultados obtidos e o dimensionamento dos principais equipamentos, rede aerúlica e rede hidráulica do sistema de AVAC.

O capítulo 4 é dedicado ao projeto de SST do edifício, sendo apresentada a estimativa dos consumos de Águas Quentes Sanitárias (AQS), os resultados obtidos na simulação do sistema com o *software Solterm* e o dimensionamento dos principais equipamentos.

O enquadramento regulamentar do edifício é feito no capítulo 5, onde são também apresentadas as metodologias e resultados de simulações efetuadas no *HAP* e no

Energyplus, em condições nominais de funcionamento, para determinação do IEE e da classe energética da fração.

O trabalho termina com o capítulo 6, onde são apresentadas as conclusões mais relevantes.

Do conjunto de anexos, importa salientar o Anexo D, onde são apresentados os desenhos dos projetos de AVAC e de SST, incluindo implantação de equipamentos e traçados de redes de fluidos e esquemas de princípio, que faziam também parte dos objetivos propostos para este TFM.

2 Caracterização do edifício

2.1 Descrição do edifício

A Fundação Calouste Gulbenkian pretende realizar uma intervenção no antigo Centro de Iniciação Artística Infantil (CIAI), localizado dentro do perímetro do conjunto dos Edifícios e Jardim da Fundação (ver Figura 2.1).

O edifício em estudo situa-se junto à entrada Nascente da Fundação, na Rua Marquês de Sá da Bandeira, e encontra-se encerrado há vários anos, por questões relacionadas com a insalubridade dos espaços. A construção tem uma configuração irregular, aproximando-se de uma forma triangular, com uma fachada paralela à rua e apresenta dois pisos, um dos quais, enterrado.

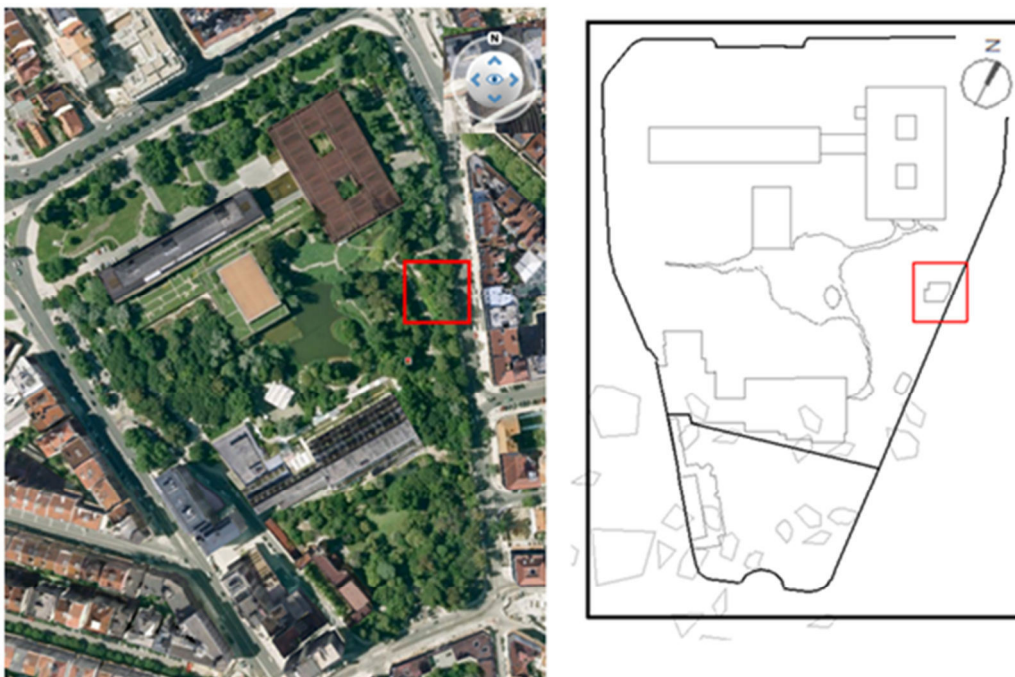


Figura 2.1 – Localização do edifício a intervir no recinto da Fundação Calouste Gulbenkian
Fonte: Adaptado de *GoogleEarth*

A intervenção prevê a eliminação da cave e a demolição da área superior correspondente no piso térreo, ficando o edifício com apenas um piso.

O programa inclui a instalação de um Dialogue Cafe, um pequeno espaço preparado para videoconferências, que possibilita ao cidadão comum comunicar “cara a cara” com outros cidadãos, em Dialogue Cafes de outras cidades do mundo. Prevê-se também a criação de uma área de cafetaria, com uma generosa esplanada voltada a sul e para o jardim. Os grandes vãos envidraçados, em paredes opostas da cafetaria, permitem criar uma continuidade visual entre o espaço interior e o jardim e esplanada.

No interior, o espaço irá dividir-se em áreas de público e áreas de serviço.

Na Figura 2.2 e na Figura 2.3 apresentam-se as demolições (a amarelo) e novas construções (a encarnado) propostas pela arquitetura e a planta do edifício remodelado.

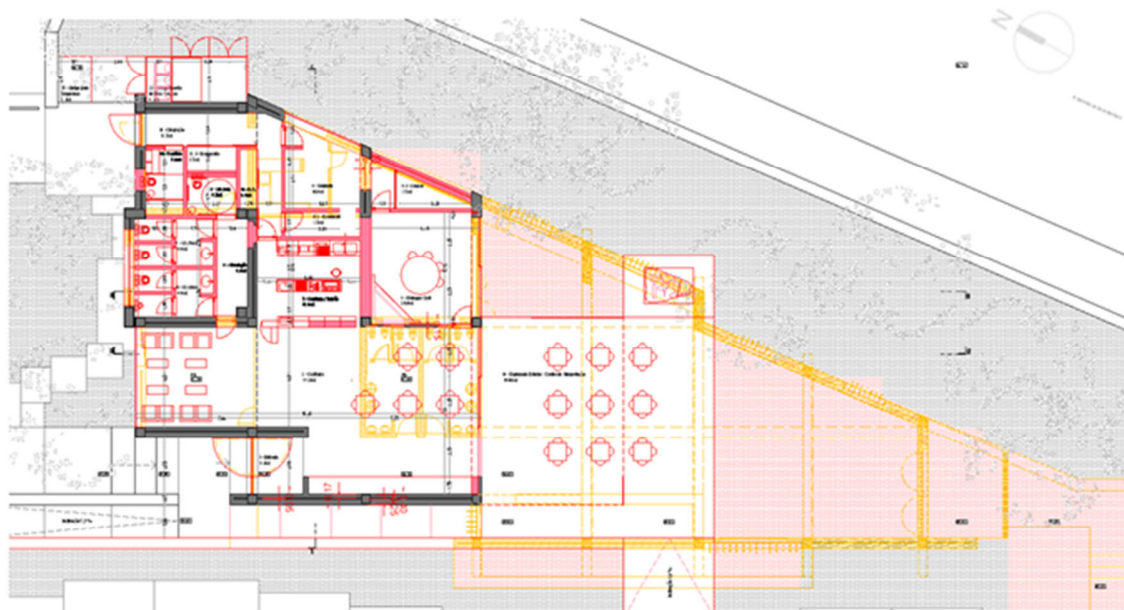


Figura 2.2 – Alterações previstas no edifício (amarelo – a demolir, encarnado – a construir)

Fonte: Projeto de arquitetura – Dialogue Cafe

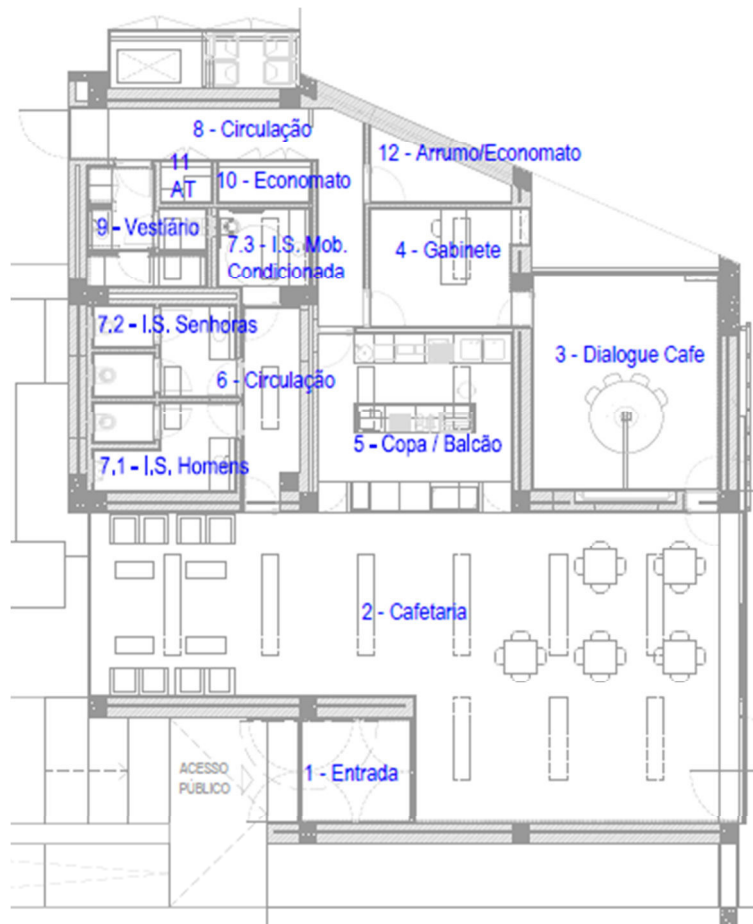


Figura 2.3 – Edifício remodelado
 Fonte: Adaptado de Projeto de arquitetura – Dialogue Cafe

Tratando-se de um edifício de serviços, foram identificados os espaços em que deverão ser asseguradas condições interiores de conforto térmico e qualidade do ar adequada recorrendo ao Regulamento dos Sistemas Energéticos e de Climatização de Edifícios (DL. 79/2006, de 4 de Abril – RSECE [8]): a cafeteria, o Dialogue Cafe e o gabinete. De notar que existe também uma copa, que apesar de não ter diretamente exigências de ar novo segundo o RSECE, é um espaço que comunica em permanência com a cafeteria através do balcão e onde se irão encontrar funcionários do edifício. Apesar das áreas técnicas, instalações sanitárias e arrumos não estarem abrangidos pelo regulamento, são locais onde é necessário assegurar renovações de ar, de modo a garantir a remoção de odores, impedir a acumulação de humidade, manter a salubridade no interior do edifício e promover a longevidade de materiais e equipamentos.

2.2 Caudais de ar a insuflar e extrair

2.2.1 Caudais mínimos de ar novo

Na determinação do caudal de ar novo a insuflar em cada espaço, é importante ter em consideração a eficiência do sistema de ventilação. A eficiência de ventilação define-se como a razão entre o caudal de ar novo que efetivamente chega à zona ocupada de um dado espaço e o caudal de ar novo insuflado no mesmo. Há sempre algum ar insuflado que é extraído, sem que passe na proximidade dos ocupantes. Segundo a Agência para a Energia (ADENE), devem ser utilizados os seguintes valores de eficiência de ventilação, de acordo com as situações seguidamente descritas:

- 60% – nos casos em que a insuflação e a extração são ambas feitas pelo teto, ou junto deste e próximas entre si, sem medidas específicas para reduzir o risco de curto-circuito do ar entre elas;
- 70% – nos casos que se enquadrem numa situação intermédia entre as descritas para utilização dos valores de eficiência de 60% e 80%, por exemplo, quando apenas ocorre curto-circuito relativamente a uma parte dos difusores/grelhas de insuflação;
- 80% – nos espaços com boa estratégia de distribuição do ar insuflado, incluindo situações com insuflação e extração (ambas) no teto ou junto deste, desde que exista cumulativamente:
 - i. Minimização do risco de curto-circuito, através da maximização da distância insuflação - extração, ou de estratégias que otimizem o percurso efetivo do jacto de ar de insuflação na zona ocupada;
 - ii. Difusores de alta indução, bem distribuídos;
 - iii. Extração em “zonas mortas” do campo do escoamento;

- 90 % - situações em que a insuflação se faz numa zona junto ao pavimento e a extração junto ao teto sem hipótese de curto circuito, ou outro tipo de insuflação em que a mistura é excelente e se aproxima da eficiência de sistemas do tipo por deslocamento (“displacement”) [9].

No edifício em estudo não será instalado um sistema do tipo “displacement” por limitações arquitetónicas. A solução de insuflação de ar discutida com a equipa de arquitetura desde uma fase inicial passa pela instalação de difusores lineares, encastrados no teto falso e uniformemente distribuídos pelo espaço ocupado. A principal razão para ser adotada esta solução prende-se com o facto dos difusores lineares poderem acompanhar a métrica das claraboias (descritas no capítulo 2.5.2.2) e das luminárias, conjugando diferentes especialidades numa solução harmoniosa.

Também se pretende uma solução discreta para a extração de ar nos diferentes espaços, enquadrada com os elementos de construção. Serão instaladas grelhas contínuas de parede ou sancas no teto para extração de ar.

Com base nas soluções de insuflação e extração propostas, foi considerada uma eficiência de ventilação de 70%, para a generalidade do edifício. Apenas numa parte da cafetaria terá de ser previsto um sistema ligeiramente diferente e com uma eficiência de ventilação mais baixa (60%), uma vez que a inexistência de teto falso não permite a instalação de difusores. Foi calculada uma eficiência total de 68% para a cafetaria, a metodologia adotada para determinação deste valor pode ser consultada no anexo A.1.

O número de ocupantes da cafetaria, do Dialogue Café e do gabinete foi definido com base no mobiliário apresentado nos desenhos do projeto de arquitetura, que podem ser consultados no anexo A.2.

Adicionalmente aos 28 ocupantes que se podem encontrar na cafetaria, será de esperar mais um ocupante, o empregado de mesa, pelo que foi considerada uma ocupação total de 29 pessoas neste espaço.

Uma vez que a copa se encontra em contacto permanente com a cafetaria através do balcão, não será insuflado ar novo directamente neste espaço, apenas será considerada

extração. Desta forma assegura-se a renovação do ar na copa sem o risco de serem transferidos odores indesejáveis para o espaço mais nobre do edifício, a cafeteria.

A Tabela 2.1 identifica os espaços do edifício que apresentam exigências regulamentares de caudais de ar novo, o tipo de atividade de cada local segundo o RSECE [8], o número de ocupantes, a área, a eficiência de ventilação e os caudais mínimos a insuflar para que seja cumprido o regulamento. No caso dos espaços com tipo de atividade “gabinetes”, em que o RSECE estabelece caudal de ar novo mínimo por ocupante e por metro quadrado de área útil, será adotado o maior dos dois valores calculados.

Tabela 2.1 – Determinação do tipo de atividade e caudais de ar novo a insuflar, segundo o RSECE [8]

Esp. nº	Designação	Tipo de atividade	A (m ²)	Nº ocup	AN (m ³ /h.ocup)	AN (m ³ /h.m ²)	η	Q _{AN} mín. (m ³ /h)
2	Cafeteria	Salas refeições	92,9	29	35	0	0,68	1500
3	Dialogue Cafe	Gabinetes	23,4	4	35	5	0,7	200
4	Gabinete	Gabinetes	9,5	1	35	5	0,7	70

Foram também determinados os caudais mínimos de ar novo recorrendo à norma EN15251:2007 [10]. Esta norma define categorias da qualidade do ambiente interior, segundo as quais são definidos os critérios para dimensionamento dos sistemas de um edifício [10]. Uma vez que estas categorias estão diretamente relacionadas com as expectativas dos ocupantes, assumiu-se que nos espaços sem ocupação permanente não há necessidade de insuflação de ar novo. Estipulou-se que o edifício deve apresentar categoria II relativamente à qualidade do ar interior, por se tratar de uma grande remodelação e por se pretender uma boa qualidade do ambiente interior. Uma vez que não será permitido fumar e não se prevê a utilização de materiais de construção e acabamentos não ecologicamente limpos, consideram-se as emissões no interior do edifício “very low”. A Tabela 2.2 apresenta os caudais de ar novo mínimos a insuflar

em cada espaço, determinados segundo o método baseado na ocupação e nos componentes do edifício definido na norma EN 15251:2007 [10].

Tabela 2.2 – Determinação de caudais de ar novo a insuflar em cada espaço segundo EN 15251:2007 [10]

Esp. nº	Designação	Categoria	Emissões do edifício	Ar Novo (m ³ /h)
2	Cafetaria	II	very low	1255
3	Dialogue Café	II	very low	190
4	Gabinete	II	very low	55

Será utilizado, para cada espaço, o maior dos caudais de ar novo determinado por ambos os métodos (RSECE [8] e método baseado na ocupação e componentes do edifício da EN 15257:2007 [10]). Conforme se pode verificar por comparação dos resultados apresentados na Tabela 2.1 e na Tabela 2.2, é a legislação nacional (RSECE [8]) que apresenta os valores mais exigentes.

2.2.2 Necessidades de renovação de ar

Conforme referido no capítulo 2.1, deverão ser asseguradas renovações do ar interior mesmo nos espaços sem caudais de ar novo impostos pela legislação. Por consulta de bibliografia relativa ao número de renovações por hora de ar (RPH) aconselhável para diferentes espaços, definiram-se os valores apresentados na Tabela 2.3

Tabela 2.3a – Renovações por hora mínimas de ar a considerar por tipo de espaços não climatizados

Designação	RPH
Circulações	2
Instalações Sanitárias	10

Tabela 2.3b – Renovações por hora mínimas de ar a considerar por tipo de espaços não climatizados

Designação	RPH
Áreas técnicas	5
Arrumos	2

Fonte: adaptado de *Especificações Técnicas para Instalações de AVAC* [11]

O caudal extraído no tipo de espaços indicados na Tabela 2.3 será proveniente dos espaços onde existe insuflação de ar novo.

Tabela 2.4 – Renovações por hora mínimas de ar e correspondente caudal nos espaços não climatizados

Esp. nº	Designação	RPH mínimas	Volume (m ³)	Q mínimo (m ³ /h)
6	Circulação	10	14,4	144
7.1	IS Homens	10	16,6	166
7.2	IS Senhoras	10	16,3	163
7.3	IS Mob. Condicionada	10	9,8	98
8	Circulação	2	31,2	62
9	Vestiários	10	16,6	166
10	Economato	2	2,9	6
11	Área técnica	5	5	27
12	Arrumos/ Economato	5	5	46

2.3 Balanço de caudais

Para que seja assegurada pressão positiva nos espaços interiores, deve ser extraído um caudal cerca de 10% inferior ao caudal insuflado [12]. Esta indicação será considerada na determinação dos caudais a insuflar e extrair em cada espaço, sendo desejável que os locais climatizados, com exceção da copa, se encontrem em sobrepessão quando o sistema de AVAC se encontra a funcionar, evitando as infiltrações de ar não climatizado, proveniente de outros espaços do edifício ou do exterior. Na copa,

pretende-se uma pressão negativa, de modo a assegurar que não ocorre propagação de cheiros desta zona para o restante edifício.

A Tabela 2.5 apresenta os caudais de insuflação/extração determinados para cada espaço do edifício, tendo em conta:

- os caudais de ar novo mínimos para os espaços climatizados (apresentados no capítulo 2.2.1);
- as renovações do ar pretendidas para os locais não climatizados (apresentadas na Tabela 2.3);
- se é pretendida sobrepressão ou depressão para cada espaço.

De notar que, apesar de não existirem exigências de ar novo para as circulações, será insuflado ar na circulação 8, de modo a compensar as extrações a efetuar em alguns dos restantes espaços.

Tabela 2.5 – Caudais a insuflar e extrair

Esp. n°	Designação	A (m ²)	Pd (m)	V (m ³)	Climatizado?	Q _{ins} (m ³ /h)	Q _{ext} (m ³ /h)
2	Cafetaria	92,9	2,7	250,8	Sim	1500	710
3	Dialogue Cafe	23,4	2,7	63,2	Sim	200	180
4	Gabinete	9,5	2,7	25,7	Sim	70	60
5	Copa/ Balcão	19,7	2,5	49,3	Sim	-	200
6	Circulação	6	2,4	14,4	Não	-	-
7.1	IS Homens	6,9	2,4	16,6	Não	-	170
7.2	IS Senhoras	6,8	2,4	16,3	Não	-	170
7.3	IS Mob. Condicionada	4,1	2,4	9,8	Não	-	100
8	Circulação	13	2,4	31,2	Não	260	-
9	Vestiários	6,9	2,4	16,6	Não	-	170
10	Economato	1,2	2,4	2,9	Não	-	10
11	Área técnica	2,2	2,4	5,3	Não	-	30
12	Arrumos/ Economato	3,8	2,4	9,1	Não	-	50

Devido ao tipo de atividades que se desenvolvem na copa que originam uma elevada carga térmica de equipamentos e geram odores desagradáveis, será considerada a existência de uma *hotte* compensada. Estabeleceu-se que a *hotte* compensada deverá ter capacidade para assegurar 12 RPH da copa [11]. O caudal de ar a movimentar pela *hotte* com compensação deverá ser de 590 m³/h.

2.4 Ganhos internos

2.4.1 Iluminação

Consultando o projeto de iluminação do edifício, foi possível determinar o número e potência elétrica das luminárias de cada espaço. Determinou-se, deste modo, a densidade de iluminação (W/m²) em cada local. No anexo A.3 apresentam-se as plantas do projeto de luminotecnica para os diferentes locais do edifício.

A Tabela 2.6 apresenta a densidade de iluminação em cada espaço. De notar que a cafeteria, as instalações sanitárias e os vestiários apresentam mais do que um tipo de luminária. Todas as luminárias serão equipadas com lâmpadas fluorescentes.

Tabela 2.6a – Determinação de densidade de iluminação em cada espaço

Esp. n°	Designação	N° de luminárias	Potência/luminária (W)	Potência total iluminação (W)	Densidade iluminação (W/m ²)
2	Cafeteria	6+3	80+70	690,0	7,4
3	Dialogue Café	3	90	270,0	11,5
4	Gabinete	2	100	200	21,1
5	Copa/ Balcão	2	80	160	8,1
6	Circulação	1	50	50	8,3
7.1	IS Homens	2+1	35+45	111	16,1
7.2	IS Senhoras	2+1	35+45	111	16,3
7.3	IS Mob. Condicionada	2	65	130	31,7

Tabela 2.6b – Determinação de densidade de iluminação em cada espaço

Esp. nº	Designação	Nº de luminárias	Potência/luminária (W)	Potência total iluminação (W)	Densidade iluminação (W/m ²)
8	Circulação	9	20	180	13,8
9	Vestiários	1+1+2	90+25+20	155	22,5
10	Economato	2	40	80	66,7
11	Área técnica	0	0	0	0
12	Arrumos/ Economato	4	20	80	21,1

2.4.2 Equipamentos elétricos

Consultando o projeto de alimentações específicas do edifício, foi possível identificar os equipamentos previstos para a copa e para o Dialogue Cafe. O projeto de alimentações específicas destes espaços pode ser consultado no Anexo A.4.

Na copa, parte da carga térmica libertada pelos equipamentos em funcionamento é removida juntamente com o caudal de ar extraído pela *hotte*.

No Dialogue Cafe, adicionalmente ao ecrã previsto no projeto de alimentações específicas, foi considerada a utilização de quatro computadores portáteis (laptop), um por cada utilizador.

No gabinete, foram considerados os equipamentos tipicamente associados a um posto de trabalho de escritório.

A determinação dos ganhos de calor radiante por equipamentos elétricos do Dialogue Cafe, da copa e do gabinete teve como base os valores típicos recomendados nos manuais da *ASHRAE* [3]. Segundo o *ASHRAE Fundamental Handbook de 2009* [3], para determinar os ganhos de calor de um espaço devidos ao funcionamento de um equipamento, deve ser considerado o consumo energético desse equipamento associado aos coeficientes de radiação (F_R) e de utilização (F_U). O coeficiente de utilização aplicado à potência elétrica do equipamento, permite obter o consumo energético médio

do aparelho. O coeficiente de radiação relaciona o consumo energético médio do aparelho com calor que radia [3].

Na cafetaria e restantes espaços do edifício, à falta de informação adicional, assumiu-se a densidade de equipamentos definida no anexo XV do RSECE para edifícios de tipologia “Pronto-a-Comer” (30 W/m²) [8].

A Tabela 2.7 apresenta as cargas e densidade de equipamentos determinadas para cada espaço.

Tabela 2.7a – Determinação de densidade de equipamentos em cada espaço

Esp. nº	Designação	Equip.	Pot. Ele. (W)	F _R	F _U	Carga (W)	Densidade equip. (W/m ²)
2	Cafetaria	RSECE					30
3	Dialogue Cafe	Monitor CTS	110	0,67	1	73,7	
		Laptops (4x)	4x36	0,75	1	4x27	
		TOTAL				182	7,8
4	Gabinete	Computador	65	0,75	1	48,75	
		Monitor	70	0,75	1	52,5	
		Impressora	215	0,55	1	118,25	
		Fax	15	0,75	1	11,25	
		TOTAL				231	24
5	Copa/ Balcão	Forno	5510	0,2	0,14	154	
		Torradeira	1700	0,11	0,64	120	
		Tostadeira	1700	0,38	0,55	355	
		Máquina de sumos	150	0,15	0,2	4,5	
		Bancada refrigerada	791	0,45	0,41	146	
		Máquina de lavar loiça	1690	0,27	0,34	155	
		Moinho de café	180	0,15	0,2	5,4	
		Máquina de café	2403	0,15	0,33	119	
TOTAL				1059	481		
6	Circulação	RSECE	-	-	-	-	30

Tabela 2.7b – Determinação de densidade de equipamentos em cada espaço

Esp. nº	Designação	Equip.	Pot. Ele. (W)	F _R	F _U	Carga (W)	Densidade equip. (W/m ²)
7.1	IS Homens	RSECE	-	-	-	-	30
7.2	IS Senhoras	RSECE	-	-	-	-	30
7.3	IS Mob. Condicionada	RSECE	-	-	-	-	30
8	Circulação	RSECE	-	-	-	-	30
9	Vestiários	RSECE	-	-	-	-	30
10	Economato	RSECE	-	-	-	-	30
11	Área técnica	RSECE	-	-	-	-	30
12	Arrumos/ Economato	RSECE	-	-	-	-	30

2.4.3 Ocupação

A ocupação a considerar em cada espaço foi determinada com base no mobiliário das plantas de arquitetura, foi indicada anteriormente (verificar Tabela 2.1) e utilizada na determinação de caudais de ar novo mínimos a insuflar. Adicionalmente, assumiram-se 3 ocupantes na copa, para que seja considerada a carga devida à ocupação neste espaço.

Definiram-se os seguintes níveis de atividade para cada espaço climatizado, por se entender que são os que melhor traduzem o comportamento esperado para os ocupantes:

- Cafetaria – atividade sedentária (160 W/ ocupante);
- Gabinete e Dialogue Cafe – trabalho de escritório (132 W/ ocupante);
- Copa – atividade média (220 W/ ocupante).

2.4.4 Perfis de utilização

Para definir os perfis de utilização de equipamentos e de ocupação da cafetaria e do Dialogue Cafe, foram considerados os “padrões de referência de utilização dos

edifícios” indicados no anexo XV do RSECE [8] e o horário de funcionamento da Fundação Calouste Gulbenkian (das 9 às 18 horas). Apesar do acesso ao público ser apenas das 9 às 18 horas, considerou-se que existirá alguma utilização do edifício pelos funcionários uma hora antes e uma hora depois deste período. Assim, estima-se que a cafetaria e o Dialogue Café apresentem perfis de utilização de equipamentos e de ocupação semelhantes aos definidos no RSECE entre 9 às 18 horas. Entre as 8-9h e as 18-19h, assumiu-se o menor valor diário do padrão de utilização de RSECE. Será considerada a tipologia “Pronto-a-comer” para o espaço de cafetaria e “Escritórios” para o espaço de Dialogue Cafe.

Na copa e no gabinete, por serem espaços destinados aos funcionários do edifício, prevê-se que a ocupação seja de 100% das 8 às 19h.

Na copa, serão instalados equipamentos que funcionam em permanência (como é o caso da bancada refrigerada). Por esta razão, foi assumido que 15% dos equipamentos deste espaço se mantêm a funcionar durante a noite. No gabinete, foi considerada a utilização de 100% dos equipamentos das 8 às 19 h.

Foi assumido que a iluminação do edifício se mantém ligada na totalidade das 8 às 19h.

2.5 Envolvente exterior

2.5.1 Envolvente exterior opaca

2.5.1.1 Paredes exteriores

As paredes exteriores do edifício são compostas por dupla alvenaria de tijolo furado com pano interior de 0,11 m de espessura e pano exterior de 0,20 m, com caixa-de-ar de 0,05 m de espessura, com revestimento interior em reboco com 0,01 m de espessura massa volúmica 2000 kg/m^3 e condutibilidade térmica $1,8 \text{ W/m}^\circ\text{C}$. [13] Está previsto o revestimento exterior destas envolventes com 0,06 m de argamassa térmica composta por agregados de poliestireno expandido moldado (EPS) com condutibilidade térmica

0,07 W/m°C [14] Com exceção das instalações sanitárias, em que o acabamento interior será em pedra mármore amaciada, o acabamento interior será em estuque pintado. O acabamento exterior das paredes será numa fina camada de betão, de cor clara. As paredes exteriores apresentam coeficiente de transmissão térmica $U=0,48$ W/m²°C. No anexo A.5 pode consultar-se a tabela com os dados utilizados para determinação do coeficiente de transmissão térmica das paredes exteriores do edifício.

2.5.1.2 Pontes térmicas planas

Foram identificadas zonas de ponte térmica plana nos desenhos de arquitetura, correspondentes a pilares de betão, com espessura de 0,4 m, massa volúmica superior a 2300 kg/m³ e condutibilidade térmica 2 W/m°C [13], com revestimento interior em reboco de 0,01 m de espessura, com massa volúmica superior a 2000 kg/m³ e condutibilidade térmica 1,8 W/m°C [13]. Está previsto o revestimento exterior destas envolventes com 0,06 m de argamassa composta por agregados de poliestireno expandido moldado (EPS) com condutibilidade térmica não superior a 0,07 W/m°C [14]. O acabamento interior destes elementos será estuque pintado. Os pilares apresentam um coeficiente de transmissão térmica $U=0,78$ W/m²°C. A cor exterior dos pilares será clara. No anexo A.5 pode consultar-se a tabela com os dados utilizados para determinação do coeficiente de transmissão térmica dos pilares do edifício.

2.5.1.3 Cobertura exterior

A cobertura do edifício será plana, com teto falso interior em gesso cartonado com caixa-de-ar, laje de betão de 0,2 m, com massa volúmica de 2300 kg/m³ e condutibilidade térmica 2 W/m°C, betonilha (para formação de pendente) com 0,05 m de espessura, massa volúmica de 2000 kg/m³ e condutibilidade térmica não inferior a 1,65 W/m°C e isolamento térmico exterior em placa de poliestireno expandido extrudido com espessura de 0,10 m e condutibilidade térmica de 0,035 W/m°C, revestida por seixo rolado [13]. A solução de cobertura apresenta um coeficiente de

transmissão térmica $0,3 \text{ W/m}^2\text{°C}$ tanto em regime de fluxo de calor ascendente como descendente. A cor exterior da cobertura será clara. No anexo A.5 pode consultar-se a tabela com os dados utilizados para determinação do coeficiente de transmissão térmica da cobertura do edifício.

2.5.1.4 Pavimento em contacto com o solo

Está previsto isolamento térmico no pavimento, acima da laje existente e sob betonilha a colocar. O isolamento será prolongado de modo a isolar as pontes térmicas lineares na junção do pavimento com as envolventes exteriores verticais. O isolamento destas pontes térmicas será assegurado em todo o perímetro do edifício.

O isolamento térmico apresenta uma resistência de $0,88 \text{ m}^2\text{°C.W}$ [13].

2.5.2 Envoltente exterior envidraçada

2.5.2.1 Janelas e portas

Segundo o mapa de vãos do projeto de arquitetura, todas as caixilharias do edifício serão metálicas, com corte térmico e com classificação de permeabilidade ao ar de 3. Identificam-se no edifício vãos fixos, vãos de abertura giratória e vãos de abertura de correr.

Os vidros de todos os vãos serão duplos compostos por vidro exterior de 6 mm com capa de baixa emissividade, caixa de ar de 16 mm e vidro interior de 6 mm.

Existem elementos que sombreiam alguns dos vãos do edifício. O vão da cafetaria orientado a sul, será sombreado por uma pala em betão. O vão do Dialogue Café e o vão do gabinete serão sombreados pelo próprio edifício (que produz um efeito semelhante a palas verticais, para estes vãos) e por uma pala exterior horizontal.

A Tabela 2.8 apresenta as características dos vãos envidraçados do edifício.

Tabela 2.8 – Caracterização das janelas e portas

Coeficiente de transmissão térmica do vidro ($W/m^2 \cdot ^\circ C$) [15]	1,4
Coeficiente de transmissão térmica das caixilharias ($W/m^2 \cdot ^\circ C$)	4,5
Coeficiente de sombreamento [15]	0,4
Fator solar do vidro [15]	0,32

2.5.2.2 Claraboias

O edifício será dotado de claraboias, distribuídas pelos diferentes espaços, conforme se pode verificar na Figura 2.4. As claraboias apresentam uma geometria pouco convencional, apresentando vidros verticais e não horizontais, como é habitual. A Figura 2.5 apresenta um corte do edifício na zona da cafeteria, sendo identificados a azul os vidros das claraboias.

Segundo o mapa de vãos do projeto de arquitetura, as caixilharias das claraboias serão metálicas, com corte térmico e classe de permeabilidade ao ar 3, fixas ou de abertura giratória. Os vidros serão duplos com vidro exterior de 6 mm com capa de baixa emissividade, caixa-de-ar de 16 mm e vidro interior de 6 mm. A Tabela 2.9 apresenta as características das claraboias do edifício.

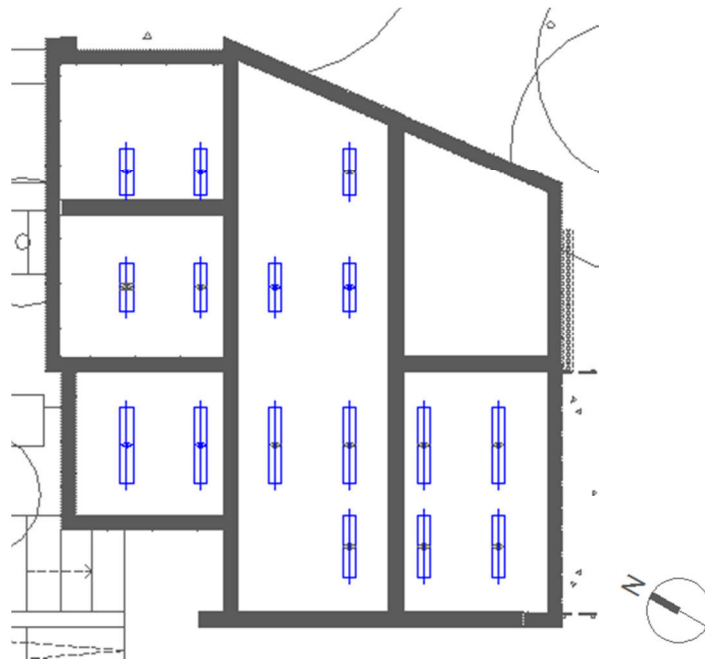


Figura 2.4 – Claraboias do edifício (a azul) – cobertura
 Fonte: Adaptado de projeto de arquitetura – Dialogue Café

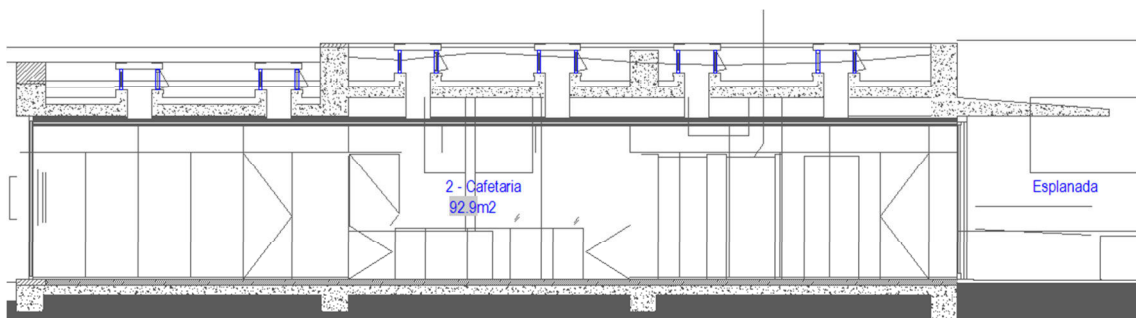


Figura 2.5 – Claraboias do edifício (a azul) – corte na zona da cafeteria
 Fonte: Adaptado de projeto de arquitetura – Dialogue Café

Tabela 2.9 – Caracterização das claraboias

Coeficiente de transmissão térmica do vidro ($W/m^2 \cdot ^\circ C$) [15]	1,4
Coeficiente de transmissão térmica das caixilharias ($W/m^2 \cdot ^\circ C$)	4,5
Coeficiente de sombreamento [15]	0,4
Fator solar do vidro [15]	0,32

2.6 Infiltrações

Quando o sistema de ventilação do edifício se encontra ligado, os espaços climatizados estão em sobrepressão e não ocorrem infiltração de ar proveniente do exterior através da envolvente. Assim, na generalidade dos espaços, será assumido que apenas quando o sistema desliga podem ocorrer infiltrações de ar exterior.

Para determinar a taxa de renovações por hora devidas a infiltrações, recorreu-se à metodologia apresentada no RCCTE para cálculo deste parâmetro [5].

Considerou-se uma classe de exposição 1 por se tratar de um edifício em meio urbano com menos de 10 m de altura. No Anexo A.6, podem verificar-se mais pormenorizadamente os dados considerados para determinação da infiltração nos diversos espaços, recorrendo à metodologia do RCCTE [5].

Dado o tipo de utilização da cafetaria, é de esperar que durante o período de funcionamento entrem e saiam ocupantes diversas vezes. É de prever que a abertura frequente das portas exteriores resulte numa infiltração de ar significativa, que tem de ser tida em consideração na caracterização deste espaço. O caudal de infiltração através de portas depende da área da porta, do diferencial de pressão entre o exterior e o interior do edifício, do coeficiente de descarga da porta quando está aberta e da fração de tempo que se encontra aberta. Obter o coeficiente de descarga, nestes casos, é complicado uma vez que este vai variando à medida que a porta abre e fecha. Para simplificar estes cálculos, a *ASHRAE* desenvolveu um gráfico que combina o coeficiente de descarga de portas à medida que abrem e fecham com a fração de tempo que se encontram abertas, considerando um determinado nível de utilização. Este gráfico apresenta o coeficiente de descarga em função do número de pessoas que utilizam a porta por hora e pode ser consultado na Figura A.17 do Anexo A.6.

No manual *ASHRAE Fundamentals 2009* [3] é proposta a seguinte metodologia para cálculo das infiltrações devido à utilização de portas automáticas em edifícios de serviços:

$$Q = C_A \times A \times R_p$$

Equação 2.1

Sendo Q o caudal de infiltração (l/s), C_A o coeficiente de descarga da porta obtido com base no número de utilizadores por hora e na consulta do gráfico publicado no manual *ASHRAE Fundamentals 2009* [3] e apresentado na Figura A.17 do Anexo A.6., A é a área de porta (m^2) e R_p um valor relacionado com o diferencial de pressão entre o interior e o exterior do edifício, determinado por consulta de um gráfico publicado no manual *ASHRAE Fundamentals 2009* e apresentado na Figura A.18 do Anexo A.6, que tem em consideração a diferença entre a temperatura do ar exterior e interior e a altura do edifício em análise [3].

A metodologia proposta pela *ASHRAE* foi adaptada ao caso em estudo tendo em consideração que, ao contrário do que acontece com as portas automáticas, quando as portas são manuais não é comum que seja aberta a totalidade da porta cada vez que entra ou sai um utilizador.

Existem duas portas na cafetaria, cada uma com área de $5,7 m^2$, dividida em duas folhas de $2,7 m^2$. Assumiu-se que apenas uma das folhas da porta é aberta quando uma pessoa entra ou sai da cafetaria e ainda que não é aberta na totalidade mas apenas $2/3$ ($A=1,8 m^2$).

Assumiu-se que, durante uma hora, entram e saem 28 pessoas da cafetaria (número total de lugares sentados no seu interior), tendo sido obtido um coeficiente de descarga de $30 l/s.m^2.Pa^{0,5}$, como se pode verificar no Anexo A.6.

Para o edifício em estudo, com altura de 3 m e valores de $T_{interior} - T_{exterior}$ compreendidos entre os -7 e $15^\circ C$, o valor de R_p é sensivelmente $4,5 Pa^{0,5}$, como se pode verificar no Anexo A.6. Assim, determinou-se que, durante o período de funcionamento, a infiltração de ar exterior na cafetaria será de 3,5 RPH.

$$RPH = \frac{Q_{infiltra\tilde{c}\tilde{a}\tilde{o}} (m^3/h)}{V_{cafetaria} (m^3)} = \frac{C_A \times A \times R_p \times 3,6}{V_{cafetaria}}$$

$$= \frac{30 l/(s.m^2.Pa^{0,5}) \times 1,8 m^2 \times 4,5 Pa^{0,5} \times 3,6}{250,8 m^3} = 3,5 RPH$$

Durante o período em que a cafeteria está encerrada, a infiltração de ar exterior foi determinada segundo a mesma metodologia dos restantes espaços do edifício (método do RCCTE [5]).

As infiltrações determinadas para cada espaço são as apresentadas na Tabela 2.10

Tabela 2.10 – Determinação de infiltrações em cada espaço (RPH)

Esp. nº	Designação	RPH infiltrações
2	Cafeteria	0,85/ 3,5
3	Dialogue Cafe	0,85
4	Gabinete	0,85
5	Copa/ Balcão	0,75
6	Circulação	0,75
7.1	IS Homens	0,75
7.2	IS Senhoras	0,75
7.3	IS Mob. Condicionada	0,75
8	Circulação	0,85
9	Vestiários	0,75
10	Economato	0,75
11	Área técnica	0,75
12	Arrumos/ Economato	0,75

3 Projeto de Aquecimento Ventilação e Ar Condicionado (AVAC)

3.1 Simulação Térmica Dinâmica

A utilização de programas informáticos para a simulação térmica de edifícios tem vindo a ganhar força entre os projetistas de AVAC. O recurso a estas ferramentas permite a simulação de situações reais e a obtenção de dados de estudo bastante fidedignos, muito úteis tanto para análise de desempenho energético dos edifícios como para o ensaio de diferentes soluções de projeto. Existem, hoje em dia, diversos programas informáticos de simulação.

A norma ASHRAE 140 especifica procedimentos para avaliar as capacidades técnicas de programas informáticos de simulação térmica de edifícios [16]. O conjunto de testes apresentado nesta norma consiste em:

1. Testes comparativos baseados na envolvente térmica dos edifícios, cargas internas e desempenho de equipamentos de AVAC
2. Testes analíticos de verificação do desempenho de equipamentos AVAC [16].

Segundo a legislação nacional atualmente em vigor (RSECE [8]), deverão ser utilizados *softwares* de simulação térmica dinâmica acreditados pela norma *ASHRAE 140 -2004* [17], para efeitos de verificação dos requisitos aplicáveis.

No presente trabalho, o dimensionamento dos principais equipamentos do sistema de AVAC foi efetuado com base em resultados de simulações dinâmicas, executadas em dois *softwares* acreditados pela norma ASHRAE 140: *Carrier HAP* e *Energyplus* [16]. Desta forma, pretende-se recorrer a diferentes ferramentas de que os projetistas de AVAC dispõem atualmente para dimensionar equipamentos e verificar se a utilização de programas distintos pode afetar significativamente os equipamentos de climatização selecionados.

Para que os resultados obtidos com os dois programas sejam comparáveis, é necessário que sejam assumidos os mesmos pressupostos e utilizado o mesmo ficheiro climático em ambos.

Os Índices de Eficiência Energética de referência (IEE_{ref}) apresentados no RSECE foram determinados utilizando a base de dados climática do programa *Solterm* (versão 5) [18]. Por esta razão, nas simulações realizadas, foi utilizado um ficheiro climático que inclui dados do ficheiro climático do *Solterm* para o concelho de Lisboa e alguns dados adicionais (como por exemplo a velocidade do vento), convertido para o formato “.epw”, que pode ser lido tanto pelo *Energyplus* como pelo *HAP*. Este ficheiro climático é disponibilizado no mesmo *website* onde se pode fazer download do *Energyplus* [16].

Pretende-se que os espaços com ocupação permanente sejam mantidos nas condições de conforto de referência apresentadas no RCCTE ou seja, temperatura do ar de 20°C para a estação de aquecimento e de 25°C para a estação de arrefecimento. Considerou-se, então, que as temperaturas interiores de todos os espaços climatizados devem manter-se dentro do intervalo 20-25°C, sempre que o edifício estiver em funcionamento.

3.1.1 Simulação com Carrier *HAP*

3.1.1.1 Modelação do edifício

Foram introduzidos no *HAP* todos os dados relativos aos diferentes espaços do edifício a climatizar, apresentados no capítulo 2 (ganhos internos, envolventes exteriores, infiltração e perfis de utilização).

De notar que no *HAP* são introduzidas as zonas a climatizar uma a uma, individualmente e não o edifício como um todo.

Para que sejam consideradas as trocas de calor de uma zona climatizada com os espaços adjacentes, é necessário preencher, no menu *partitions*, a área do elemento de separação (parede ou teto), o seu coeficiente de transmissão térmica e a temperatura máxima e

mínima dos espaços adjacentes. De notar também que este programa apenas permite a introdução de duas adjacências a cada zona térmica.

A geometria peculiar das claraboias deste edifício é difícil de modelar no *HAP*, uma vez que os vãos envidraçados são verticais e não horizontais, como usualmente costumam ser. Optou-se por introduzir estes elementos como se fossem vãos nas paredes, visto que considera-los vãos horizontais de cobertura seria muito penalizador para o edifício e menos representativo da realidade.

O efeito de elementos de sombreamento exteriores aos vãos envidraçados (palas e a geometria do próprio edifício) foi também considerado no programa.

A Figura 3.1 apresenta, a título de exemplo, a introdução da envolvente exterior da cafeteria no *HAP*. Os elementos de 1 a 3 tratam-se das paredes exteriores, com os respetivos envidraçados e sombreamentos por palas. O elemento 4 é uma ponte térmica plana (pilar) existente numa das paredes. As claraboias encontram-se representadas nos elementos 5 a 8.

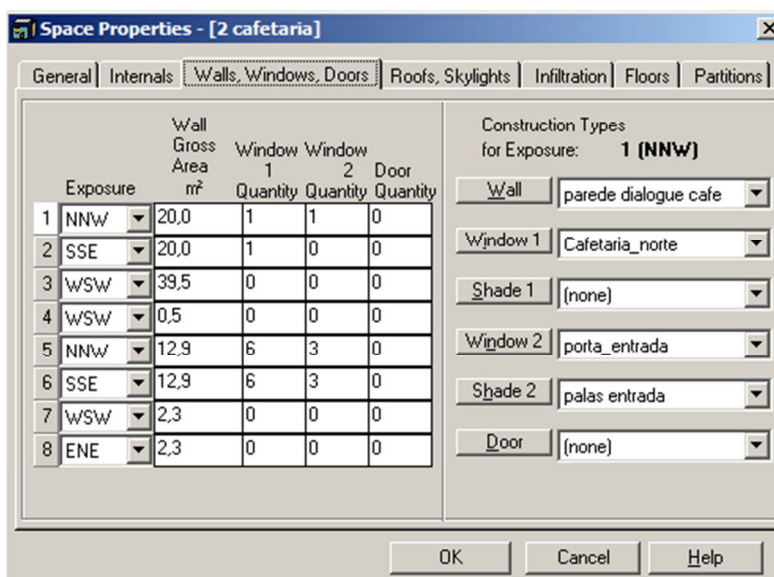


Figura 3.1 – Envolvente exterior da Cafeteria - *HAP*

Uma vez que os espaços climatizados estarão em sobrepressão quando o sistema de AVAC se encontrar em funcionamento, considerou-se que apenas existem infiltrações

quando este está desligado, com exceção da cafeteria. Durante o dia, espera-se uma infiltração correspondente a 3,5 RPH na cafeteria devido à entrada e saída de ocupantes com frequência (verificar capítulo 2.6). Uma vez que no *HAP* não é possível considerar variação dos caudais de infiltração de acordo com o funcionamento do sistema de AVAC, optou-se por considerar o valor constante de 3,5 RPH neste espaço (24 horas por dia).

3.1.1.2 Metodologia de simulação

Em fase de dimensionamento, em que os equipamentos do sistema de AVAC não foram ainda definidos, a opção foi simular o edifício com um tipo de equipamento indefinido (*equipment type undefined*, no menu *air system properties* do *HAP*) e um sistema do tipo volume de ar constante para uma única zona (*CAV – Single zone*).

Cada zona térmica foi tratada por um sistema *CAV – single zone*. A simulação de cada sistema permitiu obter as potências térmicas necessárias para climatização, em cada hora do ano, considerando as trocas de calor através da envolvente opaca e envidraçada, as renovações de ar devidas a infiltrações e os ganhos térmicos interiores. Determinou-se, assim, a potência de arrefecimento e de aquecimento dos equipamentos terminais a instalar em cada espaço.

Foi criada uma zona térmica adicional (zona virtual) sem envolvente exterior, sem infiltrações e sem cargas internas, em que foi introduzido o caudal de ar novo total a insuflar no edifício. À semelhança das restantes zonas simuladas, associou-se à zona virtual um sistema indefinido *CAV – single zone*. A zona virtual representa a unidade de tratamento de ar (UTA) a instalar no edifício. Visto que este espaço não apresenta trocas de calor com o exterior nem cargas internas, as potências térmicas obtidas para climatização correspondem apenas à neutralização do ar novo. Foi considerada a recuperação de calor no sistema definido para a zona virtual. Desta forma, determinaram-se as potências de arrefecimento e de aquecimento da UTA.

No *HAP* define-se o termostato de cada zona indicando qual a temperatura interior pretendida em período de arrefecimento e em período de aquecimento, quando o espaço se encontra ocupado e desocupado. As temperaturas pretendidas para cada período, que no caso em estudo foram 25°C em estação de arrefecimento e 20°C em estação de aquecimento quando as zonas estão ocupadas, são utilizadas em conjunto com um valor de tolerância (*throttling range*), que no caso de estudo foi +/- 2°C. Isto significa que o sistema entra em arrefecimento assim que a zona atinge 25°C e em aquecimento assim que atinge 20°C, podendo a temperatura interior oscilar no máximo até aos 25+2°C e no mínimo até aos 20-2°C, em momentos de pico de calor e de pico de frio, respectivamente. Para a zona virtual, que simula a UTA, construiu-se o termostato 21-0,1 °C/ 24+0,1 °C, por serem estas as temperaturas a que se pretende que o ar seja insuflado no edifício no inverno e no verão, respetivamente

3.1.2 Simulação com *Energyplus*

3.1.2.1 Modelação do edifício

A construção do modelo geométrico do edifício diretamente no *software Energyplus* não é fácil nem intuitiva. No entanto, podem ser utilizados outros programas que possibilitam criar modelos tridimensionais de forma simples e exportar os dados para um ficheiro “.idf”, que pode ser trabalhado e simulado em *Energyplus*. O *DesignBuilder* e o *Google Sketchup* (com o plugin *Open Studio*) são dois *softwares* de interface amigável que podem ser utilizados para construir modelos de edifícios e exportá-los para o formato “.idf”.

No presente trabalho, foi utilizado o *software DesignBuilder* para produzir o modelo tridimensional do edifício e introduzir as soluções construtivas adotadas. A Figura 3.2, Figura 3.3 e Figura 3.4. apresentam imagens do modelo construído.

A utilização do *DesignBuilder* para modelação do edifício, permite criar uma geometria fiel à realidade, nomeadamente das claraboias. No modelo podem incluir-se também palas e outros elementos exteriores de sombreamento, como “component blocks”.

Devido a efeitos de estratificação, não é expectável que o ar que se encontra nas zonas de claraboias se misture homogeneamente com o ar da restante zona térmica. Para obter resultados mais realistas, foi criado um vidro de separação virtual entre a zona de claraboias e a restante zona térmica. Este vidro virtual tem uma espessura muito reduzida (1 mm), elevada condutibilidade térmica (3 W/m°C) e elevada transmitância e emissividade (0,95), de forma a permitir trocas de calor entre ambas as zonas e a não ser um obstáculo à passagem da radiação solar. Considerou-se uma transferência de ar entre as zonas de claraboias e as zonas ocupadas correspondente a 1 RPH do volume de cada claraboia. Desta forma, pretendeu-se incluir no modelo de simulação o efeito de estratificação do ar.



Figura 3.2 – Modelo tridimensional do edifício, planta – *DesignBuilder*

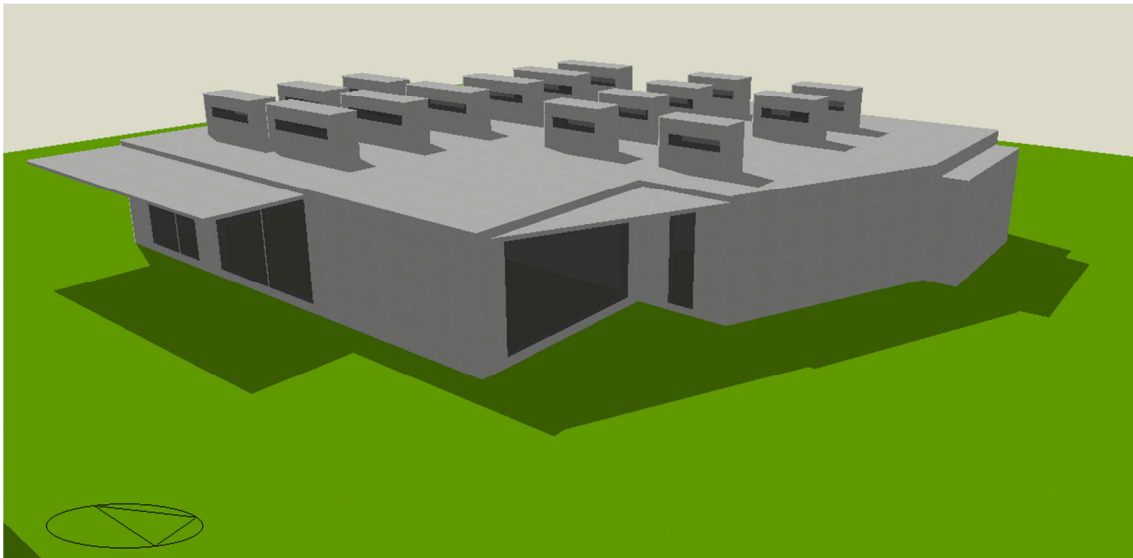


Figura 3.3 – Modelo tridimensional do edifício, vista Nascente – *DesignBuilder*



Figura 3.4 – Modelo tridimensional do edifício, alçado Noroeste – *DesignBuilder*

O modelo foi exportado para formato “.idf” e, no *Energyplus*, foram introduzidos os dados relativos aos diferentes espaços a climatizar, apresentados no capítulo 2 (ganhos internos, infiltrações e perfis de utilização).

Uma vez que o *Energyplus* permite considerar um perfil de caudais de infiltração de ar exterior variável hora a hora, foi possível caracterizar a infiltração na cafetaria com

pormenor, considerando-se 3,5 RPH quando o edifício está a ser utilizado e 0,85 RPH quando não está (capítulo 2.6).

O ar extraído nas instalações sanitárias, arrumos, áreas técnicas e copa é proveniente dos espaços onde é insuflado ar novo. No modelo de simulação incluíram-se os caudais de transferência que circulam de uns espaços para os outros no interior do edifício.

3.1.2.2 Metodologia de simulação

Adotando o mesmo critério aplicado à simulação em *HAP*, para determinação de potências de climatização, não foi pormenorizadamente caracterizado cada equipamento do sistema de AVAC, uma vez que estes ainda não estavam definidos nesta fase do trabalho. Foi utilizado o objeto mais simples para simular sistemas de climatização em *Energyplus*, o *Ideal Loads Air System*.

Em cada zona climatizada foi considerado um objeto *Ideal Loads Air System*. A simulação do edifício permitiu obter os pedidos térmicos de cada espaço, em cada hora do ano, para que sejam mantidas as temperaturas de conforto pretendidas. Desta forma, foi possível determinar a potência de arrefecimento e de aquecimento das unidades terminais de cada zona. Foi construído um termóstato, associado ao *Ideal Loads Air System* de cada zona, indicando que as temperaturas interiores devem oscilar entre 20 e 25°C, quando os espaços estão ocupados.

À semelhança do que foi efetuado na simulação em *HAP*, também no *Energyplus* foi criada uma zona virtual de envolventes exteriores adiabáticas e sem qualquer tipo de cargas internas, onde se introduziu o caudal de ar novo a insuflar no edifício. Visto que esta zona não apresenta trocas de calor com o exterior nem cargas internas, os seus pedidos energéticos anuais correspondem à neutralização do caudal de ar novo. Assim, as potências térmicas obtidas para a climatização da zona virtual correspondem às potências que a UTA deve apresentar para tratamento do caudal de ar novo previsto em projeto. O termóstato associado ao *Ideal Load Air System* da zona virtual foi 21-24 °C, quando o edifício está em funcionamento.

A recuperação de calor foi considerada na fase de tratamento de dados de simulação. Conhecendo as temperaturas interiores hora a hora de cada zona do edifício (um dos *outputs* da simulação) e o caudal que delas é extraído, foi determinada a temperatura do caudal de retorno à UTA e calculada a recuperação de calor a este associada. Utilizando este método, foram considerados dois pressupostos que não foi possível assumir na simulação com *HAP*:

- O caudal de ar de retorno à UTA é extraído não só das zonas onde existe insuflação mas também de alguns espaços não climatizados (área técnicas, arrumos), tal como irá ocorrer na realidade.
- O caudal de retorno à UTA é inferior ao caudal insuflado, já que em projeto foi definido que parte do ar insuflado é extraído nas instalações sanitárias e na copa e diretamente encaminhado para o exterior, sem retornar à UTA.

3.1.3 Resultados de simulações

É natural que o pedido máximo de arrefecimento ou aquecimento da cafetaria não ocorra exatamente no mesmo momento que o do Dialogue Café ou do gabinete, já que os espaços apresentam características bastante diferentes entre si (tanto ao nível da envolvente exterior como de cargas internas). Por esta razão, a determinação da potência total de arrefecimento e aquecimento a instalar no edifício não deve ser feita através do simples somatório do máximo de pedidos de cada espaço, que poderia resultar num sobredimensionamento do sistema. Foram somados os pedidos de calor e de frio dos vários espaços e da UTA em cada hora do ano, obtendo-se as necessidades térmicas totais do edifício hora a hora. Identificaram-se os momentos de pico de arrefecimento e de aquecimento do edifício e encontraram-se as potências de frio e calor do equipamento de produção térmica. A copa apresentou necessidades de arrefecimento ao longo de todo o ano e, como tal, deverá ter produção térmica autónoma dos restantes espaços, não tendo sido considerada na determinação das potências térmicas da central.

Os resultados de simulação obtidos são apresentados na Tabela 3.1 e na Tabela 3.2.

Tabela 3.1 – Resultados de simulação – HAP

	Cafeteria	Dialogue Café	Gabinete	Copa/ Balcão	UTA	Central Térmica (não inclui copa)
Potência de arrefecimento total (kW)	13,8	1,9	0,6	1,9	6	22
Potência de arrefecimento total – unidade terminal +UTA (W/m ²)	193	105	83	117		
Momento de pico	29/ Ago – 13/14h	3/ Ago – 10/11h	13/ Jul – 14/15 h	15/ Jul – 15/16 h	29/ Ago – 14/15 h	29/ Ago – 13/14h
Potência de aquecimento total (kW)	9,7	1,6	0,3	0	8,8	18
Potência de aquecimento total - unidade terminal+UTA (W/m ²)	171	103	62	31		
Momento de pico	14/ Jan – 8/9 h	15/ Fev – 8/9h	29/ Jan – 8/9h	-	31/ Jan – 8/9h	31/ Jan – 8/9h

Tabela 3.2 – Resultados de simulação - Energyplus

	Cafeteria	Dialogue Café	Gabinete	Copa/ Balcão	UTA	Central Térmica (não inclui copa)
Potência de arrefecimento total (kW)	13,9	2,5	0,9	1,7	13	28
Potência de arrefecimento total – unidade terminal +UTA (W/m ²)	254	164	141	135		
Momento de pico	29/ Ago – 13/14h	03/ Ago – 8/9h	19/ Jul – 8/9h	04/ Ago – 13/14h	29/ Ago – 14/15 h	29/ Ago – 13/14h
Potência de aquecimento total (kW)	7,4	0,75	0,08	0,01	13	21
Potência de aquecimento total - unidade terminal+UTA (W/m ²)	80	32	9	1		
Momento de pico	31/ Jan – 8/9h	29/ Jan – 8/9h	29/ Jan – 8/9h	02/ Fev – 8/9h	31/ Jan – 8/9h	31/ Jan – 8/9h

Os resultados obtidos nas simulações com ambos os programas são bastante próximos. As pequenas diferenças verificadas não são relevantes no momento de escolha dos equipamentos de climatização a instalar, com exceção da UTA.

As potências de climatização da UTA obtidas com ambos os programas apresentam diferenças muito significativas, que conseqüentemente se refletem também nas potências da central térmica. Estes resultados podem justificar-se com a diferença na modelação da recuperação de calor da UTA. No *HAP* é assumido que todo o caudal insuflado retorna à UTA à temperatura dos espaços climatizados, enquanto na simulação em *Energyplus* é considerado que apenas parte do caudal insuflado retorna à UTA (o restante é extraído nas instalações sanitárias e copa) e que algum deste caudal é proveniente de zonas não climatizadas. A recuperação de calor numa UTA depende do caudal e da temperatura do ar de retorno. Assim, é de esperar que a contribuição da recuperação de calor para reduzir a potência de climatização da UTA seja mais expressiva na simulação em *HAP*. De salientar, no entanto, que a modelação considerada com o *Energyplus* é mais fiel à situação real.

A zona de cafetaria tem uma grande quantidade de claraboias e seria de esperar que as diferentes considerações na modelação destes elementos em *HAP* e *Energyplus* resultassem numa diferença significativa entre as potências de climatização obtidas com os dois programas, no entanto, tal não se verifica. Apesar de no *Energyplus* estar a ser considerado o efeito de estratificação do ar, o que reduz a carga térmica a tratar na zona ocupada, é importante não esquecer que durante a noite a infiltração de ar exterior na cafetaria (0,85 RPH) nesta simulação é muito inferior à que foi considerada no *HAP* (3,5 RPH). Seria, então, de esperar o seguinte:

- 1) A carga térmica resultante da existência de claraboias é menor na simulação em *Energyplus*, o que devia resultar em menores potências de arrefecimento e maiores de aquecimento, do que as obtidas com o *HAP*;
- 2) Os elevados caudais de infiltração constantes assumidos no *HAP* arrefecem a cafetaria durante a noite e contribuem para que o edifício esteja a temperaturas mais baixas no início de cada dia, quando o sistema de climatização começa a funcionar, o que deveria resultar em menores potências de arrefecimento e maiores potências de aquecimento, do que as obtidas com *Energyplus*.

Pode formular-se, então, uma justificação para os valores obtidos em ambas as simulações serem tão próximos: as diferentes considerações em ambas as simulações contrabalançam-se e o resultado final obtido com ambos os métodos é semelhante.

Outra justificação para os resultados obtidos na cafeteria serem semelhantes, apesar da modelação distinta das claraboias, poderá ser a diferença na definição dos termóstatos nos dois *softwares*. No *HAP*, em períodos de pico de calor, a temperatura interior da cafeteria pode ir até 27°C (termóstato em arrefecimento - 25+2°C), enquanto no *Energyplus* ela nunca será superior a 25 °C (intervalo de conforto 20-25°C, todo o ano).

As discrepâncias entre os resultados obtidos com os dois programas podem estar também, em parte, relacionadas com a forma como cada um trata as trocas de calor entre espaços adjacentes, já que uma das diferenças relevantes na introdução de dados se prende exatamente com este aspeto.

A UTA apresenta o pico dos seus pedidos de arrefecimento e de aquecimento exatamente nos mesmos momentos do ano em ambas as simulações, 29 de agosto das 13 às 14 h e 31 de janeiro das 8 às 9 horas, respetivamente. Como a única carga a tratar nesta zona térmica corresponde à neutralização do caudal de ar novo, pode sugerir-se que talvez sejam utilizados métodos de cálculo semelhantes na determinação de necessidades térmicas para tratamento de ar em ambos os programas, para o tipo de sistemas simulados (*Ideal Loads Air System* no *Energyplus* e *undefined CAV – Single zone* no *HAP*).

Os picos de pedidos de aquecimento verificam-se em dias de inverno, no arranque do sistema de AVAC, às 8 h da manhã. Esta situação é previsível pois o edifício perde calor durante toda a noite, quando não apresenta praticamente cargas internas, não tem ganhos solares e ocorrem infiltração de ar exterior a temperatura mais baixas do que durante o dia, o que conduz a um pico de consumo assim que o sistema entra em funcionamento.

Com base nos resultados obtidos, podem definir-se pormenorizadamente as soluções de ventilação e climatização mais adequadas, seleccionar equipamentos a instalar em cada espaço, dimensionar a rede aerúlica e hidráulica e definir os traçados de condutas e tubagens.

3.2 Sistema de AVAC

3.2.1 Descrição do sistema de AVAC

Os vários espaços a climatizar apresentam diferentes utilizações e fachadas com orientações distintas, por esta razão, é aconselhável que cada zona possa manter alguma autonomia no que diz respeito à climatização. Sugere-se que sejam utilizados ventiloconvectores com capacidade de aquecimento e de arrefecimento dedicados a cada espaço.

Propõe-se a instalação de uma UTA com capacidade de aquecimento e de arrefecimento e com recuperação de calor, para assegurar o fornecimento de ar novo a todos os espaços a tratar.

Uma vez que os ventiloconvectores recirculam e climatizam ar para obter as condições interiores pretendidas, a UTA insufla apenas o caudal de ar suficiente para cumprir as exigências de ar novo.

Deverão ser previstos ventiladores dedicados apenas à extração das instalações sanitárias e da copa, que encaminhem o ar extraído diretamente para o exterior. Considerou-se importante que a extração destes espaços fosse independente do sistema de ventilação do restante edifício para que, caso seja necessário, possam ser mantidas estas extrações ligadas durante a noite, bastando para isso que se mantenham ligeiramente abertas algumas das claraboias e não sendo necessário manter todo o sistema de ventilação em funcionamento.

Outra vantagem em prever ventiladores independentes para a extração de ar das instalações sanitárias e da copa, prende-se com o facto de isso permitir uma maior flexibilidade na escolha da tecnologia de recuperação de calor da UTA. Se o ar de retorno for apenas proveniente de arrumos e áreas técnicas pode ser utilizado um permutador de placas, pois não existe o risco de contaminação do ar a insuflar.

Analisando os pedidos térmicos de cada zona do edifício ao longo do ano, conclui-se que não se justifica a instalação de um sistema a quatro tubos, visto que as necessidades

de aquecimento e de arrefecimento dos vários espaços ocorrem nos mesmos períodos, com exceção da copa, onde se verificam sempre pedidos de arrefecimento ao longo de todo o ano. Assim, propõe-se a instalação de um sistema a dois tubos para a generalidade dos espaços e de um sistema autónomo de expansão direta tipo split para a copa.

Como referido no capítulo 2.3, será prevista uma *hotte* compensada para a copa.

3.2.2 Controlo da instalação

Está previsto um sistema de gestão constituído por um computador central e controladores parciais no quadro elétrico de AVAC, com entradas digitais para registo de alarmes e avarias de equipamentos, saídas digitais para comando automático da climatização e ventilação, entradas analógicas para leitura de condições interiores (informação fornecida pelos termostatos, sondas de temperatura e sondas de CO₂) e saídas analógicas (por exemplo para o controlo do funcionamento de válvulas e registos de caudal). Existirá um PC e uma impressora associados à GTC, no gabinete. O projeto de GTC baseia-se nas seguintes considerações:

- A UTA terá o seu próprio controlador e este terá de comunicar com o sistema de gestão técnica, assim como de todos os equipamentos de controlo que integram a unidade;
- Cada ventiloconvector terá o seu próprio termóstato associado;
- A comutação calor/frio nas redes de alimentação aos ventilconvectores e à UTA deve ser afectada ao sistema de GTC por simples atuação em válvulas de comando eléctrico. Deve ser previsto “change-over” automático;
- O funcionamento dos ventiladores da copa (extração e da *hotte*) será controlado pelo sistema de GTC, sendo que deverá ser prevista também a opção de controlo manual;
- Os ventiladores de extração e os ventiloconvectores funcionam em regime de caudal constante;

- A UTA poderá funcionar em regime de caudal variável, podendo o caudal de ar novo a insuflar no conjunto total de ventiloconvectores da cafetaria variar entre 720 e 1500 m³/h. O caudal de ar novo insuflado nos restantes espaços do edifício é constante;
- Serão instaladas sondas de dióxido de carbono na cafetaria para controlo do caudal de ar novo a insuflar neste espaço;
- Registos de caudal motorizados, instalados nas condutas de insuflação de ar da UTA nos ventiloconvectores da cafetaria e nas condutas de recirculação de ar destes equipamentos, serão acionados pela GTC de modo a ajustar o caudal de ar novo e o caudal ar recirculado, conforme as necessidades do espaço.

O sistema de controlo, deverá ainda permitir a monitorização e parametrização de toda a instalação, o que obriga a instalação do seguinte equipamento de monitorização:

- Pressóstatos diferenciais para indicação do estado de colmatagem dos filtros de ar;
- Pressóstatos diferenciais para indicação do estado de colmatagem dos filtros de água;
- Indicação dos estados dos registos;
- Atuadores para controlar o estado dos registos;
- Sondagens de temperatura de ar exterior;
- Sondagens de temperatura de ar interior e respetivos controladores;
- Sondagens de temperatura da água de ida/retorno;
- Sonda de temperatura na insuflação da UTA;
- Atuadores para controlo da abertura e fecho (variável) das válvulas hidráulicas de fornecimento de água fria e quente às baterias dos ventiloconvectores e da UTA;
- Indicação do estado dos ventiladores da UTA e dos ventiladores de extracção.

3.2.3 Critérios adotados em projeto

3.2.3.1 Admissão e rejeição de ar

Conforme recomendação da ADENE, os pontos de admissão de ar novo devem respeitar as distâncias mínimas fixadas na norma ASHRAE 62,1-2007 [9]:

- 0,3 m de coberturas;
- 2,5 m do solo (evitar poeiras e outros poluentes);
- 5 m de grelhas de extração de ar interior “corrente” e consideravelmente contaminado;
- 7,5 m de ruas ou estradas de tráfego intenso e exaustão de torres de arrefecimento.

No presente projeto é necessário ter particular atenção à distância entre o ponto de admissão de ar novo da UTA e os pontos de rejeição de ar da UTA e dos ventiladores de extração das instalações sanitárias e copa.

3.2.3.2 Níveis de ruído

Os equipamentos de AVAC são uma das maiores fontes de ruído interior em edifícios. Por esta razão, é importante analisar os componentes do sistema que podem gerar ruído e, em fase de projeto, adotar medidas que permitam controlar esse ruído, resultado do próprio funcionamento de equipamentos e da passagem de ar, por exemplo em difusores, grelhas, sancas ou no interior de condutas [19].

Nos diferentes espaços do edifício, foram adotados como valores de referência os níveis de ruído de equipamentos apresentados na Tabela 3.3, com base nas exigências da legislação nacional atualmente em vigor (Decreto-Lei n.º96/2008, de 9 de Junho - Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios [20]) e nas recomendações da norma EN 15251:2007 [10]. De notar que os valores indicados na Tabela 3.3 são relativos aos níveis de pressão sonora em cada local, que têm em consideração não só a

potência sonora das fontes emissoras mas também as características dos espaços recetores, como o volume e a capacidade de absorção de som dos elementos construtivos e decorativos.

Tabela 3.3 – Pressão sonora de referência para os vários espaços do edifício

Esp. nº	Designação	Nível de pressão sonora (dB(A))	Fonte
2	Cafetaria	40	[10]
3	Dialogue Cafe	37	[20]
4	Gabinete	37	[20]
5	Copa/ Balcão	55	[10]
6	Circulação	40	[10]
7.1	IS Homens	45	[10]
7.2	IS Senhoras	45	[10]
7.3	IS Mob. Condicionada	45	[10]
8	Circulação	40	[10]
9	Vestiários	45	[10]
10	Economato	-	-
11	Área técnica	-	-
12	Arrumos/ Economato	-	-

3.2.3.3 Velocidade do ar no interior dos espaços

Segundo o RSECE, de modo a assegurar condições de conforto adequadas, a velocidade do ar no interior de zonas ocupadas não deve exceder os 0,2 m/s [8]. Tendo por base o consenso de Especialistas em Engenharia de Climatização deve usar-se, como abordagem prática, a utilização da metodologia baseada no conceito de uma taxa de circulação do ar insuflado no espaço (TC) [9]:

$$TC = \frac{\text{Caudal de ar insuflado (m}^3/\text{h)}}{\text{Volume do espaço (m}^3\text{)}}$$

Equação 3.1

O sistema deve ser dimensionado de modo a obter um valor de TC que não exceda as 8 CPH (caudal total circulado) [9]. Existem também programas de simulação de unidades terminais de difusão, que permitem determinar a velocidade do ar nos diferentes espaços do edifício.

3.3 Dimensionamento do sistema de AVAC

3.3.1 Principais equipamentos

3.3.1.1 Bomba de calor

Para selecionar o equipamento de produção térmica do edifício, foram tidos em consideração os resultados de simulação apresentados na Tabela 3.1 e na Tabela 3.2, não esquecendo dois pressupostos importantes anteriormente referidos:

- 1) A recuperação de calor da UTA na simulação em *HAP* é mais favorável do que realmente se espera que aconteça, pelo que deverão assumir-se os resultados obtidos com o *Energyplus*.
- 2) Por apresentar pedidos de arrefecimento ao longo de todo o ano, a Copa deverá ser servida por um equipamento autónomo e não pela bomba de calor que serve o restante edifício.

Desta forma, conclui-se que o equipamento selecionado deve apresentar uma potência de arrefecimento máxima igual ou superior a 28 kW e uma potência de aquecimento máxima igual ou superior a 21 kW.

Devido à limitação de espaço para instalação de equipamentos, é vantajoso que exista apenas um equipamento de produção térmica, devendo este ter capacidade de produzir frio e calor. Por esta razão, a opção recaiu sobre uma bomba de calor reversível, compacta, de condensador arrefecido a ar, otimizada para elevadas eficiências sazonais.

Por consulta de catálogos técnicos, foi selecionada uma bomba de calor com as características apresentadas na Tabela 3.4.

Tabela 3.4 – Características da bomba de calor selecionada

Designação	BC.01
Potência de arrefecimento máxima (kW)	30,6 ^(*)
Potência de arrefecimento nominal (kW)	25,8 ^(*)
EER	2,76
T ida/ retorno (°C)	7/12
Potência de aquecimento máxima (kW)	29,4 ^(**)
Potência de aquecimento nominal (kW)	24,6 ^(**)
COP	2,78
T ida/ retorno (°C)	45/40
Nível de potência sonora (dB(A))	78

(*) Temperatura ambiente = 35°C

(**) Temperatura ambiente = 7°C (BS)/ 6°C (BH)

A bomba de calor será instalada na área técnica adjacente ao edifício, de envolvente exterior grelhada. O teto da área técnica e a parede em betão deverão ser revestidos com material de elevado coeficiente de absorção sonora, a fim de minimizar os efeitos do ruído produzido pela bomba de calor.

Este equipamento é dotado de permutador de fluido refrigerante/ar em tubo de cobre alhetado a alumínio com tratamento cromático de proteção anti-corrosão, equipado com um ventilador axial de descarga vertical, diretamente acoplado a motor elétrico de velocidade variável e com pressão estática disponível de 78 Pa.

Deverá estar equipado com um compressor do tipo hermético Scroll, de velocidade variável que possibilite uma variação de capacidade da unidade entre 25% e 100 % de capacidade de forma linear.

O sistema de variação de velocidade do compressor será realizado pelo método de variação de frequência (sistema inverter).

Esta unidade possui, incorporado, um módulo hidráulico perfeitamente acessível e constituído por:

- Vaso de expansão de 10 litros. O vaso de expansão vem pressurizado de fábrica a 1 bar, com válvula de segurança regulada para 3 bar;
- Grupo eletrobomba simples em linha;
- Válvulas de seccionamento, de drenagem, de regulação e de segurança, purgador automático de ar, filtro de água, interruptor de caudal de água (fluxostato), manómetro, tomadas de pressão, sensores de temperatura de entrada e saída de água.

A unidade vem equipada de série com um controlador que permite (entre outras funções):

- Ligar / Desligar a unidade;
- Inverter o ciclo de funcionamento;
- Definir temperaturas de funcionamento em ciclo de aquecimento e arrefecimento
- Definir horários de funcionamento diários ou semanais da unidade.

3.3.1.2 Unidade de Tratamento de Ar

Recorrendo aos resultados de simulação para a potência da bateria de arrefecimento e de aquecimento da UTA e aos caudais de ar que esta deve insuflar e extrair, foi possível seleccionar um equipamento adequado à situação em estudo, consultando catálogos técnicos [21].

A unidade seleccionada é de baixo perfil, com dois ventiladores centrífugos: um de introdução de ar novo e um de extração de ar viciado.

Os motores são monofásicos de acoplamento direto, equipados com variadores de velocidade, para ajuste do caudal.

A unidade possui um recuperador de calor ar/ar de placas de alumínio corrugado, com tabuleiro de recolha de condensados

A estrutura é autoportante constituída por painéis sanduiche, de 30 mm, com isolamento de poliuretano injetado, em aço galvanizado.

Será dotada de pré-filtro G4, na admissão de ar novo, e de filtro de alta eficiência F7, após o ventilador de insuflação, cumprido as exigências de filtragem impostas pelo RSECE.

A unidade inclui uma única bateria que recebe ou água fria ou água quente (2 tubos).

A UTA será instalada no teto falso da circulação de serviço (8 – Circulação) e deverá ser encapsulada com uma caixa de pladur e lã de rocha, desmontável para efeitos de manutenção do equipamento, para atenuação do ruído radiado. A solução de envolvente desta caixa deve apresentar um índice de redução sonora (R_w) não inferior a 40 dB, sendo composta por duas placas de gesso cartonado de 13 mm e uma placa de lã de rocha de alta densidade (70kg/m^3) de 46 mm [22].

Na Tabela 3.5 podem verificar-se as características do equipamento selecionado.

Tabela 3.5 – Características da UTA selecionada

Designação	UTA.01
Potência total de arrefecimento (kW)	12,7
Potência de aquecimento (kW)	13,4
Caudal de ar nominal (m^3/h)	2100
Caudal de ar a insuflar (m^3/h)	2030
Nível de potência sonora (dB(A))	69
Pressão estática disponível (Pa)	190

3.3.1.3 Ventiloconvectores

Com base nos resultados de simulação obtidos para as potências de aquecimento e arrefecimento de cada zona, selecionaram-se ventiloconvectores, consultando catálogos técnicos [23].

Preferencialmente, a opção de projeto foi adotar ventiloconvectores de conduta que serão instalados sobre o teto falso, ocultos, e insuflam ar no espaço através de difusores lineares. O ar novo proveniente da UTA deverá ser insuflado no pleno de retorno do VC, onde se mistura com ar recirculado.

Apenas o gabinete será servido por um ventiloconvector de chão carroçado.

Importa salientar que não será adotado um único ventiloconvector para a cafeteria. Dado o elevado caudal de ar novo a insuflar neste espaço ($1500 \text{ m}^3/\text{h}$), a opção de projeto foi instalar três equipamentos, distribuídos pelo teto falso das instalações sanitárias e da copa, recebendo cada um não mais do que $500 \text{ m}^3/\text{h}$ de caudal da UTA (cerca de 40% do caudal total movimentado pelo ventiloconvector). No total, os três ventiloconvectores selecionados apresentam potência de climatização de catálogo superior à obtida por simulação dinâmica. No entanto, a opção pelo equipamento imediatamente abaixo não é viável visto que este movimentaria um caudal de ar inferior e não poderia receber todo o ar novo necessário. De modo a assegurar que o sistema não fica sobredimensionado, o que poderia comprometer o desempenho energético do edifício, será limitado o caudal de água a fornecer à bateria deste equipamento, de modo a que disponibilizem apenas as potências térmicas necessárias.

Os restantes ventiloconvectores foram selecionados tendo em conta os resultados obtidos para a potência de arrefecimento. Foram selecionados para a velocidade máxima, já que os resultados obtidos por simulação para as potências de climatização correspondem a máximos de pedidos térmicos (momentos de pico). Verifica-se que os ventiloconvectores do gabinete e da cafeteria apresentam potência de aquecimento superior à obtida nas simulações dinâmicas. O caudal de água a fornecer a estes equipamentos será limitado, de modo a que disponibilizem apenas a potência de aquecimento necessária.

A Tabela 3.6 apresenta as características dos equipamentos selecionados.

Tabela 3.6 – Características de ventiloconvectores selecionados

Designação	VC.01	VC.02	VC.03
Potência total de arrefecimento (kW)	5	2,6	1,5
Potência de aquecimento (kW)	3,5	2	1
Caudal de ar (m ³ /h)	1200	400	320
Nível de potência sonora (dB(A))	69	56	42
Pressão estática disponível (Pa)	59	71	-
Espaço que servem	Cafetaria	Dialogue Cafe	Gabinete

O primeiro metro de conduta a seguir ao VC.02 (tanto do lado da insuflação como do retorno) deverá ser constituído por conduta acústica autoportante composta por lã de vidro de elevada densidade, o que irá reduzir em cerca de 15 dB o ruído transmitido ao interior da rede de condutas [24]. À semelhança do que será feito no caso da UTA, também os ventiloconvectores serão encapsulados com caixa de pladur e lã de rocha, desmontável para efeitos de manutenção do equipamento e facilmente lavável, para atenuação do ruído radiado.

3.3.1.4 Sistema de climatização tipo monosplit

Conforme referido anteriormente a copa será servida por uma unidade de climatização autónoma de expansão direta do tipo monosplit. A unidade interior deste sistema será do tipo para ligação em conduta e será instalada no teto falso.

O sistema monosplit será dotado de permutador fluído frigorígeno/ar, em tubo de cobre alhetado a alumínio, sendo a circulação de ar conseguida por ventilador do tipo centrífugo, diretamente acoplado a motor elétrico de duas velocidades. O fluído frigorígeno será R410a.

A unidade interior é dotada de filtro de ar facilmente removível e lavável e tabuleiro de recolha de condensados. O sistema de comando e controlo desta unidade, permite a

comunicação e troca de informação com a respetiva unidade exterior, de tecnologia inverter.

A unidade exterior do sistema monosplit será de expansão direta e funcionamento reversível, tipo bomba de calor, com compressor do tipo "scroll" horizontal, apoiado sobre amortecedores de vibrações, permutador fluído frigorígeno/ar em tubo de cobre alhetado a alumínio, com tratamento anti-corrosivo de superfície. A ventilação é assegurada através de um ventilador do tipo axial, de descarga horizontal, diretamente acoplado a motor elétrico de velocidade variável.

A unidade interior deverá ser encapsulada em caixa de pladur e lã de rocha desmontável e facilmente lavável.

A Tabela 3.7 apresenta as características do equipamento selecionado.

Tabela 3.7 – Características do sistema monosplit selecionado

Designação	UI.C/ UE.C
Potência total de arrefecimento (kW)	2,4 ^(*)
Potência de arrefecimento mínima (kW)	1,3 ^(*)
EER	3,72
Potência de aquecimento (kW)	3,2 ^(**)
Potência de aquecimento mínima (kW)	1,3 ^(**)
COP	3,9
Caudal de ar (m ³ /h)	520
Nível de potência sonora (dB(A))	53 (UI)
Pressão estática disponível (Pa)	71
Espaço que serve	Copa

(*) Temperatura ambiente =35°C

(**) Temperatura ambiente = 7°C (BS)/ 6°C (BH)

3.3.1.5 Ventiladores

Para dimensionar os ventiladores do edifício, foram determinados os caudais que cada um irá extrair/ insuflar e estimadas as perdas de carga que terão de vencer. Por consulta de catálogos técnicos, foram selecionados os equipamentos mais adequados [25].

Propõe-se a instalação de um ventilador de extração dedicado às instalações sanitárias e outro dedicado à copa. Adicionalmente, na copa, será também instalado um ventilador de extração de *hotte* e um de insuflação (para compensação do ar extraído).

Os ventiladores de extração das instalações sanitárias e da copa serão de cobertura, bem como o ventilador de insuflação da *hotte*. Incorporam grelha anti-pássaros, motor monofásico de 2 velocidades, reguláveis, IP55. Serão selecionados para funcionarem na sua velocidade mais baixa.

A extração da *hotte* da copa será efetuada através de uma caixa de ventilação própria para transportar ar a 400°C/1h, fabricada em chapa de aço galvanizado, com ventilador centrífugo, acionado por motor de transmissão incorporado no interior, sistema de tensor automático sem manutenção, IP55. Este equipamento será também instalado na cobertura, incluindo os acessórios necessários para montagem no exterior.

A Tabela 3.8 apresenta as características dos equipamentos selecionados.

Tabela 3.8 – Características de ventiladores selecionados

Designação	VEX.01	VEX.02	VEX.HT	VIS.HT
Caudal de ar (m ³ /h)	610	200	590	590
Nível de pressão sonora (dB(A))	53	49	53	56
Pressão estática disponível (Pa)	50	120(*)	100	100
Espaço que servem	Inst. San. Vestiários	Copa	Hotte	Hotte

(*) é necessário acrescentar perda de carga ao troço de condutas do VEX.02

3.3.1.6 Hotte da Copa

Deverá ser considerada uma *hotte* para captação de ar na zona de confeitaria da copa. O captador estará equipado com filtros de choque, totalmente em inox, espessura 25 mm e será construída em inox mate AISI 18/10 nos painéis visíveis e em aço galvanizado nas faces traseiras e superiores.

3.3.2 Rede aerúlica

3.3.2.1 Rede de condutas

A rede de condutas foi dimensionada segundo o método da perda de carga constante, assumindo-se que esta deverá ser de 0,8 Pa/ m. Por consulta de ábacos adequados foram determinadas as dimensões das condutas, considerando os caudais de ar previstos em cada troço da rede e as dimensões comerciais de condutas metálicas.

As dimensões dos vários troços de condutas da rede aerúlica são apresentadas no anexo B.1 e indicadas nos desenhos de projeto (TFM.2013.10a11).

Todas as condutas serão constituídas em chapa de aço galvanizado e os troços por onde circula ar climatizado (ida e retorno à UTA e ligação de ventiloconectores a difusores, grelhas e sancas) serão termicamente isoladas, segundo as exigências impostas pelo Anexo III do RSECE (espessura mínima de 30 mm, λ_{ref} a 20°C \geq 0,4 W/m°C) [8].

Nas peças desenhadas (TFM.2013.10a11) é identificado o tipo de ar que circula nas diferentes condutas segundo as cores indicadas na norma EN 13779:2007 [26].

3.3.2.2 Difusores

Para dimensionamento dos difusores lineares, foi utilizado um programa de seleção destes equipamentos e utilizados os caudais previstos em projeto, foram também consultados catálogos técnicos [27]. O dimensionamento e seleção destes equipamentos baseou-se nos seguintes critérios:

- A perda de carga que introduzem na rede não pode ser superior a 25 Pa;
- O ruído que introduzem no espaço não poderá ser superior a 37 dB(A);
- Velocidade do ar na zona ocupada $\leq 0,2$ m/s.

Os difusores serão lineares, de 1 via ou 2 vias, conforme o caudal que insuflam, com pleno termicamente isolado, construídos a partir de perfil em alumínio extrudido, com defletores (em plástico) que permitem adaptar a orientação do jato de ar em qualquer situação. Concebidos para difusão do ar em espaços com pé-direito entre 2,6 a 4 m e um diferencial de +/- 15°C entre a temperatura do ar ambiente e a temperatura do ar insuflado. Os difusores incluem registo de caudal.

A Tabela 3.9 apresenta as características dos equipamentos selecionados.

Tabela 3.9 – Características de difusores lineares selecionados

Designação	Caudal de ar (m ³ /h)	Nível de pot. sonora (dB(A))	ΔP (Pa)	Nº de vias	Vel.ar zona ocup. (m/s)	Espaço
DIF.01	400	28	11	2	0,15	Cafeteria
DIF.02	400	33	16	2	0,17	Cafeteria
DIF.03	200	23	9	1	0,11	Dialogue Cafe
DIF.04	70	<15	8	1	<0,10	Gabinete
DIF.05	260	36	22	1	0,15	Copa
DIF.06	260	33	19	1	0,14	Circulação

Os difusores DIF,01, DIF,02 e DIF,04 serão dispostos ao longo das claraboias existentes na Cafeteria e no Gabinete.

3.3.2.3 Grelhas

O dimensionamento de grelhas foi feito respeitando as recomendações da ASHRAE para velocidade de passagem do ar, não devendo esta ser superior a 1,8 m/s, no caso de insuflações, e a 2,2 m/s, no caso de extrações e transferência de ar [19].

De notar que, na porta da circulação para as instalações sanitárias, será colocada uma grelha de transferência, dado o elevado caudal que passa da cafeteria para este espaço. Parte deste caudal é transferido através das frestas de porta e parte pela grelha de transferência.

A nomenclatura das grelhas indica se são interiores ou exteriores (I/ E) e se são de insuflação, extração, transferência, recirculação, admissão ou rejeição (i, e, t, r, a, r).

As grelhas seleccionadas têm permeabilidade de 60%.

A Tabela 3.10 apresenta as características dos equipamentos seleccionados.

Tabela 3.10 – Características de grelhas seleccionadas

Designação	Caudal de ar (m ³ /h)	Velocidade máx. do ar (m/s)	A _{ef} (m ²)	Dimensão (mm x mm)	Espaço
GRI.i.01	800	1,8	0,12	950x220	Cafeteria
GRI.e.01	710	2,2	0,09	700x220	Cafeteria
GRI.e.02	200	2,2	0,03	200x200	Copa
GRI.r.01	960	2,2	0,12	950x220	Cafeteria
GRI.r.02	520	2,2	0,07	500x250	Copa
GRI.t.01	300	2,2	0,04	825x100	Porta IS/ Caf.
GRE.a.01	2030	2,2	0,26	1150x400	Admissão UTA
GRE.r.01	1040	2,2	0,13	825x300	Rejeição UTA

As grelhas interiores serão constituídas em alumínio. As grelhas para extração de ar são de fiada simples e a grelha de insuflação de fiada dupla, regulável. A fixação das grelhas interiores é feita por intermédio de parafusos não visíveis no exterior.

As grelhas para admissão e rejeição de ar no edifício serão em aço galvanizado, com perfil em Z e incluem rede anti-pássaro.

3.3.2.4 Válvulas de extração

Serão instaladas válvulas de extração circulares, próprias para instalação em teto falso, incluindo ganchos de fixação e junta que assegure a manutenção e estanquidade da conduta, terão cone central fixo. Os caudais a extrair por estes elementos são muito baixos tendo sido selecionadas as válvulas mais pequenas apresentadas no catálogo consultado, adequadas para extração de caudais entre 10 e 100 m³/h.

3.3.2.5 Atenuadores Acústicos

Para evitar que se propague som através da rede de condutas tanto para o interior como para o exterior do edifício, deverão ser instalados atenuadores acústicos nas saídas e entradas da UTA.

O dimensionamento dos atenuadores acústicos tem por base três parâmetros:

- Caudal que atravessa o atenuador;
- Perda de carga admissível;
- Atenuação requerida.

No dimensionamento dos atenuadores é necessário ter em atenção que, no próprio atenuador, é regenerado ruído (que depende diretamente da velocidade de passagem do ar) e que este elemento apresenta uma perda de carga considerável, que terá de ser vencida pelos ventiladores da UTA. Para dimensionamento, definiu-se que a perda de

carga no atenuador não pode ser superior a 50 Pa e que a atenuação global deste elemento (já considerando o ruído nele regenerado devido à passagem do ar) deverá ser no mínimo 40 dB.

A Tabela 3.11 apresenta as características dos atenuadores selecionados, por consulta de catálogo.

Tabela 3.11 – Características de atenuadores selecionados

Designação	Caudal de ar (m ³ /h)	V máx. do ar (m/s)	A _{ef} (m ²)	Dimensões (AxLxC - mm)	Atenuação total (dB)
AA.01	2030	3,5	0,17	400x600x600	43
AA.02	1040	3,5	0,10	400x300x600	43

3.3.2.6 Outros acessórios da rede aerúlica

Devem ser previstos registos de caudal, de tamanho adequado à conduta em que se inserem, em todos os ramos da rede aerúlica (após cada derivação).

Devem ser previstos registos corta-fogo, de tamanho adequado à conduta em que se inserem, em todos os atravessamentos de fronteiras corta-fogo.

Devem ser previstas portas de visita distribuídas pela rede de condutas, de modo a que seja possível aceder ao interior de todos os ramos da instalação, para limpeza e manutenção. As portas de visita deverão ter dimensões adequadas às condutas em que se inserem, tal como indicado na norma EN 12097:2006 [28].

Devem ser previstos registos de caudal motorizados, conforme representado nos desenhos TFM.2013.00 e TFM.2013.10 apresentados no Anexo D, controlados pela GTC, para gestão do caudal de ar novo e caudal recirculado a tratar pelos VC.01.

3.3.3 Rede hidráulica

O fluido que distribui energia térmica desde a bomba de calor até à UTA e ventiloconectores, será água. Sendo o sistema a dois tubos, prevê-se circuito de ida e circuito de retorno, que transporta ou água fria ou água quente. Para assegurar o adequado funcionamento da instalação, a rede hidráulica será de retorno invertido.

3.3.3.1 Rede de tubagem

A determinação dos caudais de água a circular na rede hidráulica do edifício é efetuada com base nas potências térmicas de cada equipamento de climatização. Tratando-se de um sistema a dois tubos, a rede foi dimensionada para o maior valor entre o caudal a fornecer a cada equipamento em arrefecimento e em aquecimento.

Os ventiloconectores VC.02 e VC.03 foram seleccionados com base na sua potência de arrefecimento e apresentam potência de aquecimento muito superior à obtida nas simulações dinâmicas, conforme se pode verificar comparando os valores da Tabela 3.1 e da Tabela 3.2 com os valores da Tabela 3.6.

Para evitar um sobredimensionamento da rede hidráulica optou-se, então, por calcular os caudais de água quente que devem ser fornecidos aos ventiloconectores, recorrendo às potências de aquecimento obtidas por simulação. Utilizaram-se as potências de aquecimento obtidas com *HAP*, por serem mais conservativas do que as obtidas com *Energyplus*.

Os caudais de arrefecimento são os de catálogo para o VC.02 e para o VC.03.

No caso do VC.01, seleccionado em função do caudal de ar que insufla, foi limitado o caudal de água fornecido, de modo a que o equipamento disponibilize apenas potências de climatização próximas das obtidas por simulação.

Os caudais de água fornecidos aos ventiloconvectores correspondem à potência de arrefecimento apresentada na Tabela 3.6, que é muito próxima da obtida nas simulações térmicas.

Como se trata de um sistema a dois tubos, o diâmetro de tubagem é calculado com base no maior valor entre o caudal de água quando o edifício está em arrefecimento e o caudal de água quando o edifício está em aquecimento.

A rede hidráulica do edifício será em cobre, tal como a tubagem do sistema monosplit que serve a copa.

Para dimensionamento das tubagens hidráulicas adotou-se o critério da velocidade máxima admissível. Geralmente não são utilizadas velocidades de circulação da água superiores a 2 m/s para dimensionamento da rede hidráulica. Por outro lado, de forma a evitar a deposição de partículas que circulam no sistema, a velocidade da água também não deve ser inferior a 0,6 m/s [1]. Estipulou-se que a velocidade da água nas tubagens deve ser próxima de 1 m/s. No anexo B.3 apresentam-se os caudais e diâmetros da rede hidráulica do edifício.

As tubagens serão protegidas com isolamento térmico, respeitando as espessuras e condutibilidade térmica indicadas no RSECE [8].

As extremidades das tubagens de interligação serão equipadas com dispositivos de ligação rápida evitando-se dessa forma qualquer ligação soldada. Nos troços em que a tubagem realize percursos no interior de paredes ou pavimento não são admitidas qualquer tipo de ligações. As tubagens que realizem troços no interior de paredes deverão viajar em tubos de PVC rígido.

Nos percursos exteriores o conjunto tubagem mais isolamento deverá ser envolvido com forra mecânica em chapa de alumínio com 0,5 mm de espessura mínima.

3.3.3.2 Volante térmico

O volante térmico trata-se de um depósito de água que serve para reduzir os arranques da bomba de calor, melhorando assim o próprio rendimento do equipamento e reduzindo o desgaste dos vários componentes [29]. Foi considerado em projeto um volante térmico dimensionado para que a bomba de calor não arranque mais do que sete vezes por hora.

3.3.3.3 Outros acessórios da rede hidráulica

O equilíbrio da rede hidráulica é um processo complexo e implica a instalação de vários acessórios que permitem ajustar as condições de funcionamento da rede à variação dos pedidos térmicos do edifício e, conseqüentemente, de caudais de água em circulação.

Os sistemas de degaseificação, sejam purgadores ou separadores de micro-bolhas, são componentes de extrema importância que evitam a permanência de ar na rede hidráulica o que leva geralmente a problemas como a corrosão da instalação ou a redução da coluna manométrica das bombas de circulação, resultando numa irrigação deficiente dos equipamentos mais distantes.

As válvulas são também componentes obrigatoriamente presentes nos circuitos hidráulicos das instalações de AVAC. Existem diferentes tipos de válvulas: podem controlar a pressão ou o caudal da rede; ter função de corte (macho esférico, borboleta etc), equilíbrio (equilibradores, descarga, pressão diferencial etc), segurança (reductoras, segurança, anti-poluição) ou de controlo (termostáticas, duas vias, três vias etc) e podem ter atuação automática ou manual [30].

Devem ainda ser previstos filtros de água na rede hidráulica.

A seleção dos diferentes acessórios da rede hidráulica depende da função que desempenham e das dimensões das tubagens em que se inserem.

De notar que a bomba de calor selecionada inclui o vaso de expansão, a bomba de circulação da instalação e o fluxostato.

No anexo D do presente trabalho podem ser consultados todos os desenhos relativos ao projeto de AVAC elaborado.

4 Projeto de Sistema Solar Térmico (SST)

4.1 Simulação *Solterm*

A função do Sistema Solar Térmico (SST) é produzir e armazenar água quente, para posteriormente ser utilizada no consumo sanitário. Pretende-se que sejam instalados coletores solares o mais discretos possível na cobertura do edifício. A opção de projeto foram coletores de tubos de vácuo com alhetas orientáveis, para que possam ser instalados na horizontal, complanares com a cobertura.

O dimensionamento do sistema foi efetuado recorrendo a simulação com *software Solterm*.

O *Solterm* permite o dimensionamento de componentes do SST, tendo em consideração a localização da instalação e os perfis de consumos de AQS previstos, e calcula a energia térmica produzida anualmente pelo SST e a energia térmica que terá de ser produzida pelo sistema de apoio. Este programa é, assim, uma importante ferramenta de apoio ao projeto de SST e à estimativa de consumos energéticos dos edifícios. À utilidade deste *software*, associa-se a obrigatoriedade legal da sua utilização. Segundo o ponto 4 do Anexo VI do RCCTE: “A contribuição de sistemas de coletores solares para o aquecimento de AQS (E_{solar}) deve ser calculada utilizando o programa *Solterm* do INETI.”

De acordo com n.º 2.1 do Anexo VI do RCCTE, admite-se que o consumo total diário (M_{aqs}) de edifícios de serviços é de 100 l. Todavia, são aceites outros valores. Para cafetarias pode adotar-se o valor de 1 L/ pequeno-almoço [31].

Uma vez que apenas serão produzidas refeições ligeiras na cafetaria, foi assumido um consumo de 1 L de AQS por cliente e um número total de 205 clientes por dia (três vezes a ocupação total da cafetaria, esplanada e Dialogue Cafe). Adicionalmente, consideraram-se ainda 15 L de AQS para limpezas. O consumo de AQS diário considerado para dimensionamento do SST foi 220 L, distribuído de acordo com o perfil apresentado na Tabela 4.1.

Tabela 4.1 – Perfil de consumos de AQS

Período do dia	Consumo (l/ h)
9-12 h / 15-19 h	10
12 – 15 h	50

A temperatura da água de consumo serão 60°C, por ser a temperatura de referência para AQS indicada no RCCTE [5].

Foi considerado um volume de acumulação de 200 L (aproximadamente o consumo diário estimado). O depósito irá incluir permutador interno em serpentina. Uma vez que não está prevista instalação de gás no edifício, o apoio ao SST será feito com uma resistência elétrica.

Foi efetuada uma simulação do sistema considerando 2 coletores solares, orientados a sudeste e com inclinação de 28° (máximo de inclinação possível para as alhetas dos tubos de vácuo do coletor solar).

O circuito primário do solar será fechado e o fluido de transporte de calor será água glicolada, numa mistura de 75% de água e 25% de glicol.

Os resultados obtidos no *Solterm* apresentam-se na Tabela 4.2

Tabela 4.2 – Resultados *Solterm*

Fração solar	70,7%
Carga anual	4202 kWh
Fornecido anual	2972 kWh
Apoio anual	1229 kWh

O relatório da simulação efetuada em *Solterm* pode ser consultado na íntegra no anexo C.1

4.2 Principais equipamentos do SST

4.2.1 Coletores solares

Serão instalados dois coletores tubo de vácuo com o principio de funcionamento *Heat-Pipe* e superfície de abertura 2,15 m², construído em cristal de elevada resistência, com a superfície de captação altamente seletiva e o absorvedor integrado no interior de um tubo de vácuo, protegendo-o da influência e contaminação pela água. Resistentes à corrosão e à intempérie, com isolamento térmico de lã mineral.

O vácuo no interior dos tubos garante um elevado isolamento térmico, o que minimiza as perdas entre os tubos de cristal e o absorvedor. Pode ser instalado na horizontal, sem necessitar de inclinação, sendo possível inclinar individualmente a alheta de cada tubo até à posição mais favorável.

Os coletores terão de apresentar certificado de qualidade *Solar Keymark* ou *Certif* [31].

Os coletores serão instalados na horizontal, em estrutura metálica sobrelevada mas sem ultrapassar a altura da platibanda, com orientação sudeste e inclinação das alhetas a 28°.

4.2.2 Rede de tubagem

O caudal do circuito primário do solar térmico foi obtido na simulação *Solterm* e corresponde a 324 l/ h. Segundo recomendação do fabricante dos coletores solares selecionados, a velocidade de fluido no primário do sistema deverá estar compreendida entre 0,4 e 0,7 m/s. A rede de tubagem será em cobre e o diâmetro interno não inferior a 16,92 mm (velocidade do fluido de 0,4 m/s) o que corresponde a um diâmetro nominal

comercial de 19 mm. Toda a tubagem será isolada termicamente de acordo com as exigências de RSECE.

4.2.3 Dissipador de calor

Apesar de não existir praticamente energia solar desperdiçada ao longo do ano, segundo o relatório da simulação efetuada em *Solterm* (verificar anexo C.1), o sistema irá incluir um dissipador de calor. A simulação em *Solterm* considera uma estimativa do perfil de consumos diário de AQS do edifício, que se espera que traduza a realidade. No entanto, apenas quando o edifício estiver em funcionamento será possível compreender quais os seus consumos diários reais, se estes forem inferiores aos estimados poderá ocorrer mais desperdício de energia solar do que o obtido nos resultados de simulação. Poderá também vir a ser decidido no futuro que o edifício se vai encontrar encerrado em alguns dias do ano. Nesses dias não irão ocorrer consumos de AQS e provavelmente será necessário dissipar parte da energia térmica produzida pelos coletores. Assim, incluir um dissipador de calor no SST permite assegurar o bom funcionamento e durabilidade deste sistema, mesmo que venha a funcionar em condições um pouco diferentes das consideradas em fase de projeto.

Será previsto um dissipador de calor, preparado para fluido a 100°C e temperatura do ar até 45°C, que possibilite arrefecer o fluido primário sempre que este atinja temperaturas demasiado elevadas. O dissipador de calor deverá ter capacidade para dissipar 3 kW.

4.2.4 Depósito de acumulação de AQS

O depósito de acumulação de AQS foi dimensionado para reservar aproximadamente o volume de consumo diário (200 L), será em aço inoxidável de alta liga, resistente à corrosão. Com permutador interno para interligação do circuito do sistema solar. Perdas mínimas de calor graças ao isolamento térmico de elevada eficiência e em conformidade com as espessuras exigidas pelo RSECE.

O depósito será equipado com:

- grupo de segurança;
- termostato de segurança;
- regulador de temperatura com sistema termostático;
- resistência elétrica de 4 kW.

4.2.5 Bomba de circulação

Terá de ser prevista uma bomba de circulação para o circuito solar primário. O caudal a circular pela bomba foi obtido na simulação do sistema no *Solterm*. As perdas de carga totais que a bomba de circulação tem de vencer são função das perdas de carga contínuas e perdas de carga localizadas. A bomba deverá ser de caudal constante.

A bomba de circulação do SST deverá ter as características apresentadas na Tabela 4.3.

Tabela 4.3 – Características da bomba de circulação do SST selecionada

Designação	Caudal (l/h)	Perda de carga (mca)
BCSST.01	324	0,65

4.2.6 Vaso de expansão

Foi dimensionado o vaso de expansão para o primário do sistema solar. O volume mínimo calculado para este componente foi 1,1 L, conforme se pode verificar no anexo C.2 deste trabalho. Nos catálogos consultados não foi possível encontrar um vaso de expansão adequado para circuitos primários de sistemas solares térmicos com um volume tão reduzido, pelo que foi selecionado o equipamento de menores dimensões do catálogo consultado. As características do equipamento selecionado são apresentadas na Tabela 4.4.

Tabela 4.4 –Características do vaso de expansão do SST selecionado

Designação	VE.01
Volume mínimo (l)	8
Pressão de enchimento mínima do sistema (Bar)	1,5
Pressão máxima de funcionamento (Bar)	10
Gama de temperaturas (°C)	-10 a 120

No anexo D do presente trabalho podem ser consultados todos os desenhos relativos ao projeto de SST elaborado.

5 Classificação energética do edifício

5.1 Enquadramento regulamentar

O Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios (SCE), instituído pelo Decreto-Lei n.º 78/2006, de 4 de Abril, tem como finalidade assegurar as condições de eficiência energética, a utilização de sistemas de energias renováveis e, ainda, a qualidade do ar interior dos edifícios e resulta da transposição para a legislação nacional da Directiva n.º 2002/91/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho da União Europeia, de 16 de Dezembro de 2002 [32]. No âmbito do sistema é verificado o cumprimento dos requisitos regulamentares aplicáveis e certificado o desempenho energético e a qualidade do ar interior nos edifícios.

Na Figura 5.1 associam-se os diferentes tipos de edifícios considerados no SCE aos regulamentos (RSECE ou RCCTE, respetivamente D.L. 79/2006 e D.L. 80/2006) que lhes são aplicáveis.

O Certificado Energético e da Qualidade do Ar Interior (ou a Declaração de Conformidade Regulamentar, em fase de projeto) é a face visível da aplicação dos regulamentos (RCCTE e RSECE) e inclui a classificação do imóvel em termos do seu desempenho energético, determinada com base em pressupostos nominais (condições típicas ou convencionadas de funcionamento).

A classificação do edifício segue uma escala pré-definida de 7+2, conforme representado na Figura 5.2.

Nos edifícios com pedido de licença de construção após entrada em vigor do SCE (2006), a classe energética não pode ser inferior a B-.

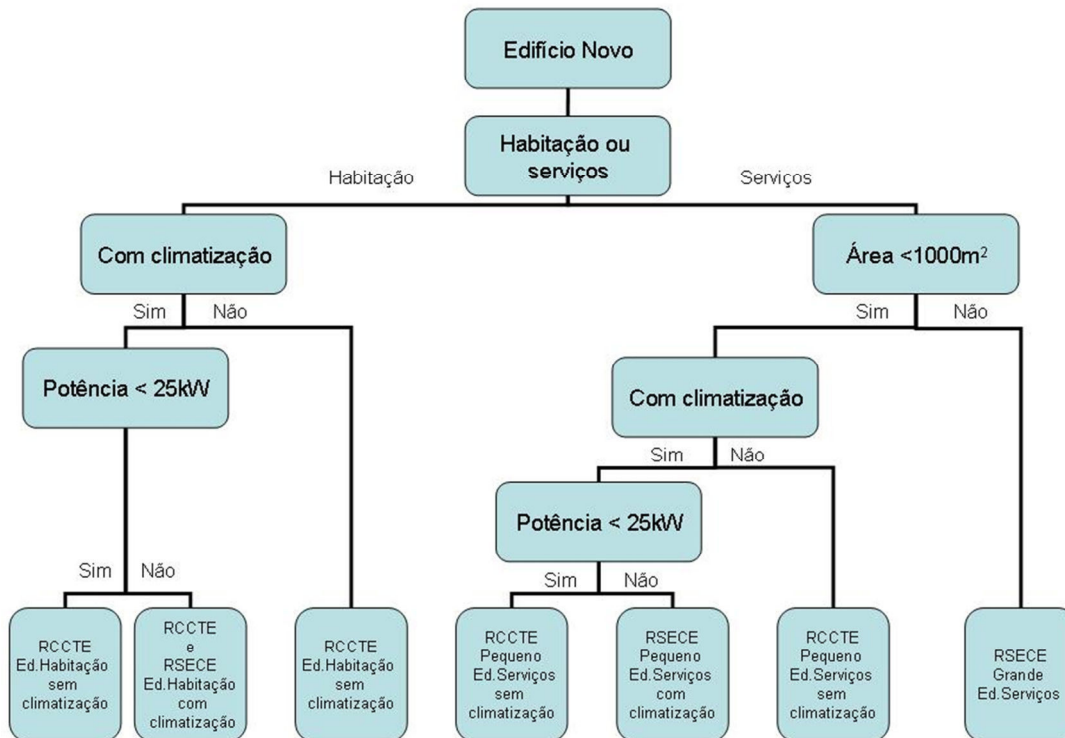


Figura 5.1 - Regulamentação aplicável a cada tipo de edifício

Fonte: adaptado de SCE - Manual de procedimentos para entidades licenciadoras [33]

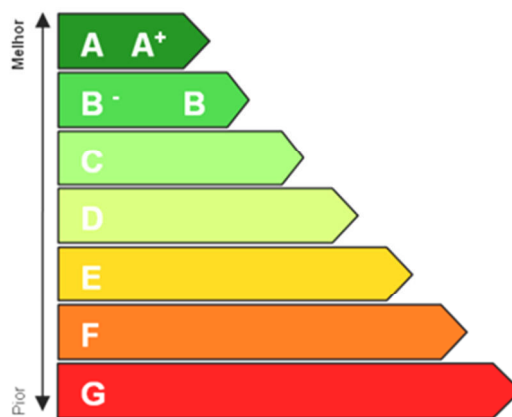


Figura 5.2 – Escala de classes energéticas de edifícios

Fonte: Perguntas e respostas sobre o SCE [34]

Os edifícios de habitação e de serviços apresentam metodologias distintas para atribuição da classe energética.

A classificação energética de edifícios de habitação (com e sem sistemas de climatização) e de pequenos edifícios de serviços sem sistemas de climatização ou com potência térmica instalada inferior a 25 kW, é calculada a partir da expressão $R = N_{tc}/N_t$, em que “ N_{tc} ” representa as necessidades anuais globais estimadas de energia primária para climatização e produção de águas quentes sanitárias e “ N_t ” o valor limite que estas podem totalizar.

A classe energética de edifícios de serviços com sistemas de climatização de potência térmica instalada ≥ 25 kW é calculada a partir dos valores do IEE_{nom} , IEE_{ref} e do valor de um parâmetro S, em que:

- IEE_{nom} - Índice de Eficiência Energética nominal, obtido por simulação dinâmica considerando os perfis nominais de utilização definidos no anexo XV do RSECE;
- IEE_{ref} - Índice de Eficiência Energética de referência, indicado no anexo XI do RSECE para diferentes tipologias de edifício;
- S – O valor de S é um valor de referência, que depende da tipologia do edifício.

No presente trabalho, foi analisado um edifício de serviços com menos de 1000 m² e mais de 25 kW de potência térmica prevista em projeto. A sua classe energética é, portanto, determinada segundo a metodologia apresentada no RSECE, a partir dos valores de IEE_{nom} e IEE_{ref} .

Foram realizadas simulações dinâmicas, considerando os perfis de utilização nominal definidos no anexo XV deste regulamento para edifícios de tipologia “Pronto-a-comer”.

O IEE de referência para esta tipologia de edifícios, quando dispõem de aquecimento e arrefecimento, é 170 kgep/ m².ano e o valor de S é 52, o que resulta na correspondência IEE_{nom} / classe energética apresentada na Tabela 5.1. O edifício não pode apresentar classe inferior a B- para cumprir as exigências regulamentares, já que será submetido a uma grande intervenção de reabilitação ou seja, uma remodelação cujo custo é superior

a 25% do valor do edifício calculado com base no valor de referência 630 €/ m².de pavimento existente.

Tabela 5.1 – Valores de IEE e classes energéticas para edifícios de tipologia “Pronto-a-comer”

Classe energética	IEEnom (kgep/ m ² .ano)
A+	131
A	144
B	157
B-	170

5.2 Pressupostos de cálculo do IEE

Para determinação do IEE de edifícios de tipologia “Pronto-a-comer”, devem ser consideradas as densidades de ocupação e equipamentos apresentadas na Tabela 5.2, segundo o anexo XV do RSECE. Os perfis de utilização do edifício são definidos no mesmo anexo.

Tabela 5.2 –Condições nominais para edifícios de tipologia “Pronto-a-comer”

	Densidade
Ocupação	5 m ² / ocupante
Equipamento	30 W/ m ²

Fonte: RSECE [8]

Foi adotada a densidade de iluminação prevista no projeto de luminotecnica (capítulo 2.4.1).

Os caudais de ar novo nominais foram calculados de acordo com a ocupação nominal dos diferentes espaços e com a eficiência de ventilação apresentada anteriormente, na Tabela 2.2.

Os consumos energéticos de um edifício estão diretamente relacionados com o clima onde se insere. É natural que um edifício localizado num clima mais ameno tenha menores necessidades de climatização e, conseqüentemente, consuma menos energia do que um localizado num clima mais severo. No entanto, isto não significa que o edifício localizado no clima mais ameno seja obrigatoriamente o mais eficiente. De facto, o edifício pode gastar menos energia e, ainda assim, mais do que a necessária. Por outro lado, o edifício sujeito ao clima mais severo pode ser muito eficiente mas, apesar disso, ter elevados gastos de energia, por ter maiores necessidades de climatização. Assim, para que imóveis sujeitos a diferentes condições climáticas sejam comparáveis, como é objetivo do SCE, é necessário afetar fatores de correção climática aos consumos energéticos associados à climatização. Estes fatores são determinados segundo metodologia apresentada no RCCTE, que tem em consideração a zona climática em que o edifício se localiza (I2V1, no caso em análise) e o seu fator de forma (0,73, no caso do edifício em estudo como se pode verificar no Anexo E.2). A Tabela 5.3 apresenta os fatores de correção climática do edifício em estudo.

Tabela 5.3 – Fatores de correção climática do edifício em estudo

Fator de correção climática	
Aquecimento - Fci	0,85
Arrefecimento – Fcv	0,5

Na determinação do IEE_{nom} é ainda necessário ter em conta a eficiência dos equipamentos de produção térmica previstos em projeto, em modo de arrefecimento e de aquecimento (EER e COP, respetivamente). Na

Tabela 3.4 e na Tabela 3.7 apresentam-se os valores de projeto de EERs e COPs da bomba de calor e do monosplit da copa, respetivamente.

A determinação do IEE_{nom} tem em conta todos os consumos energéticos do edifício, nomeadamente para produção de AQS. Os consumos anuais do apoio ao Sistema Solar Térmico para produção de AQS foram obtidos no *Solterm*, conforme apresentado no capítulo 4.1. O apoio ao SST será efetuado com resistência elétrica, a que corresponde uma eficiência de 1.

Na determinação do IEE_{nom} é necessário converter os consumos anuais de energia do edifício para energia primária, utilizando fatores de conversão. Estes fatores são função da distribuição percentual das várias fontes de energia primária na produção da energia a nível nacional. Os fatores de conversão encontram-se definidos no RSECE e são apresentados na Tabela 5.4

Tabela 5.4 – Fatores de conversão entre energia útil e energia primária

	Fator de conversão (kgep/ kWh)
Eletricidade	0,290
Combustíveis sólidos, líquidos e gasosos	0,086

No edifício em análise não está prevista rede de gás, por isso todos os consumos energéticos correspondem a consumos de eletricidade.

Para determinação das necessidades de aquecimento e arrefecimento do edifício em condições nominais foram efetuadas simulações anuais em *HAP* e em *Energyplus*, utilizando em ambos os *softwares* o ficheiro climático do concelho de Lisboa, em formato “.epw”, disponibilizado no *website* onde se pode fazer *download* do *Energyplus* [16].

Em projeto foi estipulado que o caudal de ar novo a insuflar na cafeteria poderá ser variável, consoante as necessidades. No entanto, a UTA poderá também ser mantida a funcionar com insuflação de ar novo constante. No cálculo do IEE do edificio foram testados dois cenários de utilização do sistema de AVAC:

- UTA a funcionar em regime de caudal constante – caudal de ar novo a insuflar é o somatório dos caudais de ar novo nominais de todos os espaços.
- UTA a funcionar em regime de caudal variável – caudal de ar novo a insuflar é gerido por um perfil horário (*schedule*) que varia entre 100% e 80% do somatório dos caudais de ar novo nominais de todos os espaços, conforme o perfil de ocupação da cafeteria. Importa salientar que neste cenário, tal como previsto em projeto, o caudal de ar novo a insuflar na cafeteria nunca é inferior a 720 m³/h, assegurando que existe sempre compensação das extrações da instalações sanitárias e da copa e que ainda assim a cafeteria se encontra em sobrepressão.

À semelhança do que foi efetuado nas simulações para determinação das potências de climatização, também para determinação de IEE foi tida em consideração a infiltração de ar exterior na cafeteria devida à entrada e saída de utilizadores. Calcularam-se as RPH devidas a infiltrações utilizando a metodologia descrita no capítulo 2.6, ajustando o número de vezes que a porta abre e fecha à ocupação nominal do espaço (19 ocupantes). Obteve-se o valor de 2,3 RPH para a cafeteria no horário de funcionamento do sistema de AVAC e para os restantes períodos e espaços adotaram-se as infiltrações apresentadas anteriormente, na Tabela 2.10.

No anexo E.1 é apresentada a ocupação, caudais de insuflação e de extração, densidade de iluminação e equipamentos e renovações por hora devidas a infiltração de ar exterior consideradas nas simulações em condições nominais.

A definição do sistema de climatização em ambos os programas teve em consideração as características técnicas dos equipamentos selecionados em projeto.

5.3 Simulação energética em condições nominais

5.3.1 Simulação em condições nominais com *HAP*

A geometria e soluções construtivas do edifício consideradas na simulação em condições nominais foram as descritas anteriormente e utilizadas na simulação para dimensionamento dos equipamentos de AVAC.

Uma vez que se pretende fazer um tratamento do ar na UTA com recuperação de calor e utilizar unidades ventiloconvectoras para complementar a climatização dos diferentes espaços, foi escolhido no *HAP* um sistema do tipo *terminal units* por cada zona a climatizar, exceto a copa que irá dispor de um sistema autónomo. Foi selecionada a opção *common ventilation system*, de modo a ser considerado que o ar novo a introduzir em cada zona provém de uma unidade de tratamento e não diretamente do exterior.

Foi indicado no *HAP* que a UTA deverá apenas tratar a temperatura do ar a insuflar. Neste caso, a bateria de aquecimento e de arrefecimento irão funcionar somente em função da temperatura de bolbo seco do ar à saída da unidade e dos *setpoints* de temperaturas de insuflação introduzidos no *HAP* (24 °C em estação de arrefecimento, 21°C em estação de aquecimento).

Este sistema reflete corretamente o sistema que se pretende instalar no edifício, já que o tratamento do ar depende apenas das condições à entrada e à saída da unidade de ventilação e não das condições no interior dos espaços a climatizar.

Como referido anteriormente, nem todo o caudal insuflado no edifício retorna à UTA, sendo algum parcialmente extraído pelas instalações sanitárias e copa. Assim, será demasiado benéfico considerar permutador de calor na UTA na simulação em *HAP* mas também demasiado penalizador não o considerar. Por esta razão, foram efetuadas duas simulações, uma em que foi considerada a existência de um permutador de calor de placas e outra em que não existe recuperação de calor. O valor realista do IEE deverá situar-se entre os valores obtidos em ambas as simulações.

Tanto o arrefecimento como o aquecimento das zonas climatizadas estarão disponíveis todos os meses do ano.

Foram introduzidas no *HAP* as pressões estáticas disponíveis do ventilador de insuflação e de extração da UTA selecionada em projeto.

Definiram-se as unidades terminais de cada espaço de acordo com as características dos ventiloconvectores selecionados em projeto. Em projeto, estão previstos três ventiloconvectores iguais para a cafeteria. Uma vez que o *HAP* só permite caracterizar uma unidade terminal por espaço, foi assumido na simulação o caudal de ar total tratado por todos os ventiloconvectores deste espaço.

Para a climatização da copa foi selecionado um sistema do tipo monosplit (*split DX fan coil*).

Pretende-se que a temperatura interior dos espaços climatizados oscile entre os 20 e os 25°C, selecionaram-se no *HAP* as temperaturas de *setpoint* de arrefecimento e de aquecimento de 25°C e de 20°C, respetivamente, podendo oscilar +/- 2°C.

Quando os espaços não estão ocupados, a climatização não estará disponível.

As temperaturas de insuflação das unidades interiores serão 15 °C para arrefecimento e 35 °C para aquecimento.

Foi efetuada a simulação e solicitados os relatórios necessários para determinar os consumos energéticos anuais do sistema de AVAC para arrefecimento, aquecimento e funcionamento de ventiladores.

5.3.2 Simulação em condições nominais com *Energyplus*

Para simulação em condições nominais, foi utilizado o modelo do edifício construído em *DesignBuilder*, também utilizado na simulação para dimensionamento do sistema de AVAC (verificar capítulo 3.1.2.1).

À semelhança do que foi feito na simulação em *HAP*, foi definido um sistema com UTA para neutralização do ar novo (insuflação do ar entre 21 e 24 °C) e ventiloconvectores para tratamento das cargas de cada espaço.

O objeto de *Energyplus* que representa ventiloconvectores é o *fan coil*.

Cada zona climatizada é servida por um objeto *fan coil*, caracterizado com base nas especificações técnicas dos ventiloconvectores selecionados em projeto. À semelhança da metodologia adotada na simulação em *HAP*, foi considerado apenas um objeto *fan coil* na cafeteria, apesar do projeto prever três ventiloconvectores iguais. O caudal de ar recirculado por este *fan coil* é a soma do caudal dos três equipamentos previstos para este espaço. Definiu-se que os *fan coils* insuflam o ar a 15°C em estação de arrefecimento e a 35°C em estação de aquecimento.

A UTA foi também caracterizada com base nas especificações técnicas do equipamento selecionado em projeto.

À semelhança do que foi feito na simulação para dimensionamento do sistema, foi considerada recuperação de calor na UTA assumindo dois pressupostos que não foram possíveis assumir na simulação com *HAP*:

- O caudal de ar de retorno à UTA é extraído não só das zonas onde existe insuflação mas também de alguns espaços não climatizados (área técnica, arrumos), tal como irá ocorrer na realidade.
- O caudal de retorno à UTA é inferior ao caudal insuflado, já que em projeto se definiu que parte do ar insuflado é extraído nas instalações sanitárias e copa e diretamente encaminhado para o exterior sem retornar à UTA.

5.4 Resultados de simulação

Os ficheiros de simulação construídos no *HAP* (com e sem recuperação de calor) e no *Energyplus* foram simulados. Foram efetuadas simulações para o cenário em que a UTA insufla caudal de ar constante e para o cenário em que o caudal de ar novo é variável. Foram analisados os resultados.

De acordo com os resultados a copa apresenta exclusivamente necessidades de arrefecimento em todas as simulações efetuadas.

A Tabela 5.5 apresenta as necessidades térmicas do edifício obtidas nas simulações em condições nominais em que a UTA funciona com caudal de ar novo constante.

Tabela 5.5 – Necessidades térmicas térmica anuais do edifício – UTA com caudal constante

Simulação térmica	Arrefecimento (kWh / ano)	Aquecimento (kWh /ano)	Arrefecimento split (kWh / ano)
<i>HAP</i> - com recuperação de calor	21309	8178	34673
<i>HAP</i> - sem recuperação de calor	20793	13567	34673
<i>Energyplus</i>	19258	18181	22087

Conforme se pode verificar, as necessidades de arrefecimento anuais do edifício em condições nominais são próximas para as três simulações. Verifica-se também que as necessidades anuais de aquecimento e de arrefecimento obtidas na simulação em *Energyplus* são muito próximos entre si. Tal não se verificou nas simulações em *HAP*, em que as necessidades de frio são significativamente mais elevadas do que as de calor.

Verifica-se, comparando os resultados obtidos em ambas as simulações com *HAP*, que a recuperação de calor afeta essencialmente as necessidades de aquecimento.

O edifício simulado em *Energyplus* é o que apresenta maiores pedidos de aquecimento.

As diferenças mais significativas entre os vários resultados registam-se no arrefecimento da copa (*split*). Efetuando alguns testes, foi possível compreender que é o funcionamento de equipamentos elétricos na copa que mais contribui para as cargas de arrefecimento deste espaço, tanto na simulação em *HAP* como em *Energyplus*, embora não afete nas mesmas proporções os resultados das duas simulações. Sendo mais significativa a redução das potências de arrefecimento se a copa for simulada sem equipamentos no caso em que é utilizado o *HAP*.

A Tabela 5.6 apresenta o resumo das necessidades térmicas do edifício obtidas nas simulações em condições nominais em que a UTA funciona com caudal de ar novo variável.

Tabela 5.6 – Necessidades térmicas térmica anuais do edifício – UTA com caudal variável

Simulação térmica	Arrefecimento (kWh/ ano)	Aquecimento (kWh/ano)	Arrefecimento split (kWh/ ano)
<i>HAP</i> - com recuperação de calor	23099	5648	34673
<i>HAP</i> - sem recuperação de calor	22585	9860	34673
<i>Energyplus</i>	20537	6608	22227

Tal como nas simulações da UTA com caudal constante, verifica-se que as necessidades de arrefecimento anuais do edifício são próximas entre si, para as três simulações efetuadas neste segundo cenário.

Os consumos para arrefecimento do edifício são superiores aos de aquecimento, para todas as simulações em que a UTA funciona com caudal variável.

Novamente, a comparação dos resultados obtidos nas duas simulações com *HAP* revela que a recuperação de calor afeta principalmente as necessidades de aquecimento do edifício.

Obtiveram-se pedidos anuais para arrefecimento da copa significativamente mais elevados na simulação com o *Energyplus*, à semelhança do que acontece quando a UTA funciona com caudal de ar constante.

Comparando os resultados da Tabela 5.5 e da Tabela 5.6, verifica-se que as necessidades totais de climatização do edifício são consideravelmente menores quando a UTA funciona com caudal de ar variável, o que se deve à significativa redução dos pedidos de aquecimento. Os consumos para arrefecimento, são ligeiramente superiores neste segundo cenário.

No segundo cenário, a variação de caudal de ar novo da UTA reflete-se exclusivamente na variação de caudal de ar pré-tratado introduzido nos ventiloconvectores da cafeteria. Estes VCs insuflam caudal de ar constante, sendo apenas variável a proporção de ar proveniente da UTA e de ar recirculado do espaço interior. Uma das hipóteses que se pode formular para justificar o ligeiro aumento do arrefecimento quando a UTA funciona com caudais menores é que, em momentos do ano de temperaturas exteriores amenas em que o edifício se encontre em arrefecimento, o tratamento de ar exterior pela UTA pode necessitar de menos energia do que o tratamento de ar interior pelo VC, já que o ar exterior pode estar mais fresco do que ar interior da cafeteria.

Os consumos do *split* da cozinha não variam nas simulações em *HAP*, independentemente do regime de funcionamento da UTA. No *Energyplus* registou-se uma ligeira diferença entre os resultados obtidos para ambos os cenários. As adjacências entre zonas do edifício são tratadas de modo diferente por ambos os *softwares*, o que pode justificar os resultados obtidos, já que a copa contacta com a cafeteria (espaço diretamente afetado pela variação de caudal da UTA).

5.5 Determinação da classe energética do edifício

No cálculo do IEE foram considerados os consumos energéticos do edifício associados:

- à climatização - obtidos por análise dos resultados das simulações;
- ao funcionamento de equipamentos – obtidos com base na densidade de equipamentos nominal e no nº de horas de funcionamento de equipamentos definidos no anexo XV do RSECE, para edifícios de tipologia “Pronto-a-comer” e respetivas cozinhas;
- à iluminação – calculada recorrendo à potência de instalação prevista em projeto (capítulo 2.4.1) e ao nº de horas de funcionamento de iluminação definido no anexo XV do RSECE, para edifícios de tipologia “Pronto-a-comer”;
- à produção de AQS – sendo o consumo anual da resistência de apoio ao SST obtido pela simulação no *Solterm* e o consumo da bomba de circulação calculado a partir da sua potência elétrica de catálogo e da estimativa do número de horas de funcionamento anual, segundo a metodologia apresentada no anexo E.3.

A Tabela 5.7 apresenta o resumo dos resultados obtidos.

Os valores utilizados para cálculo dos IEEs podem ser consultados pormenorizadamente, desagregados por tipo de consumo energético, no anexo E.4.

Conforme se pode verificar, o valor do IEE do edifício é diferente consoante o *software* e as considerações adotadas para a simulação térmica.

Tabela 5.7 – IEEs e classes energéticas do edifício

Simulação térmica	Caudal de ar novo variável		Caudal de ar novo constante	
	IEE (kgep/ m ² .ano)	Classe energética	IEE (kgep/ m ² .ano)	Classe energética
<i>HAP</i> - com recuperação de calor	151,09	B	153,74	B
<i>HAP</i> - sem recuperação de calor	153,37	B	156,62	B
<i>Energyplus</i>	147,07	B	153,00	B

Os IEEs calculados com os resultados das simulações em que a UTA tem caudal constante são próximos entre si. Quando a UTA funciona com caudal variável, a diferença entre os IEEs calculados com os resultados das simulações em *Energyplus* e em *HAP* é mais relevante. Verifica-se, no entanto, que as diferenças entre os IEEs calculados não se refletem na classe energética do edifício.

Pode concluir-se que o edifício em análise apresenta classe energética B.

6 Conclusões

A Fundação Calouste Gulbenkian irá realizar uma intervenção no antigo CIAI, que será convertido num edifício de um único piso com uma cafetaria e uma pequena copa, um Dialogue Café, um gabinete, instalações sanitárias e espaços de serviço. O presente trabalho pretendia apresentar o projeto de AVAC e de SST do edifício reabilitado e determinar a sua classe energética, recorrendo a diferentes ferramentas de dimensionamento e análise de desempenho energético de sistemas, atualmente disponíveis aos profissionais do setor.

O dimensionamento dos principais equipamentos do sistema de AVAC foi feito com recurso a simulação térmica dinâmica, utilizando dois *softwares* acreditados pela norma *ASHRAE 140-2004*, *Carrier HAP* e *Energyplus*. Verificaram-se diferenças importantes no modo de caracterização do edifício em ambos os programas. As principais diferenças a assinalar prendem-se com a introdução do próprio edifício nos *softwares* (no *HAP* são apenas inseridas as zonas a climatizar enquanto no *Energyplus* é simulado o edifício como um todo), com a definição dos termóstatos e com o grau de pormenor com que foi possível caracterizar as infiltrações de ar exterior e a recuperação de calor da UTA. A utilização do *DesignBuilder* na criação do modelo tridimensional do edifício a simular em *Energyplus*, permitiu uma reprodução das claraboias do edifício fiel à realidade, no *HAP* foi feita uma simplificação destes elementos. No *Energyplus* foi também adotada uma metodologia de modo a que o efeito de estratificação do ar nas claraboias fosse tido em conta em simulação.

Na cafetaria, com nove claraboias, seria de esperar que o efeito de estratificação modelado no *Energyplus* se refletisse numa menor carga térmica a tratar e, conseqüentemente, numa menor potência de arrefecimento necessária. No entanto, tal não se verificou, sendo as potências de arrefecimento obtidas com ambos os programas praticamente iguais. Uma justificação para este resultado pode ser a diferença na definição dos termóstatos nos dois *softwares*. No *HAP*, em períodos de pico de calor, a temperatura interior da cafetaria pode ir até 27°C (termóstato em arrefecimento - 25+2°C), enquanto no *Energyplus* ela nunca será superior a 25 °C (intervalo de conforto 20-25°C, todo o ano). Também as elevadas infiltrações constantes de ar exterior

consideradas no *HAP*, podem contribuir para este resultado, já que promovem o arrefecimento passivo da cafeteria durante a noite, o que se poderá refletir em menores necessidades de climatização durante o dia.

No Dialogue Café e gabinete as potências de arrefecimento são ligeiramente mais elevadas nos resultados obtidos com o *Energyplus*. Esta diferença pode estar, em parte, relacionada com as trocas de calor entre espaços adjacentes que talvez sejam tratadas de forma diferente por ambos os programas, já que uma das diferenças relevantes na introdução de dados se prende exatamente com este aspeto.

Apesar de tudo, as diferenças das potências térmicas de equipamentos terminais obtidas com as duas simulações não são relevante no momento de seleção dos ventiloconvectores que servem cada uma das zonas.

As potências térmicas obtidas para a UTA são significativamente inferiores no *HAP*, o que é justificável com as diferenças entre a modelação da recuperação de calor neste programa e no *Energyplus*. Uma vez que a modelação em *Energyplus* foi mais realista, foram adotados os resultados obtidos nesta simulação para o dimensionamento da UTA. Definiu-se que a UTA pode fornecer caudal de ar novo variável aos ventiloconvectores da cafeteria.

Analisando os pedidos térmicos de cada espaço do edifício ao longo do ano, foi possível concluir que não se justifica a instalação de um sistema a quatro tubos desde que a copa seja servida por um sistema autónomo, visto apresentar necessidades de arrefecimento ao longo de todo o ano. Com base nesta conclusão, foi prevista a instalação de um sistema a dois tubos para a generalidade dos espaços e de um sistema de expansão direta tipo *split* para a copa.

Na elaboração do projeto de SST foi utilizado o *software Solterm*, que se revelou uma ferramenta útil para o dimensionamento do sistema e para compreender os consumos energéticos anuais do edifício associados à produção de AQS.

O edifício em estudo, com 203 m² (< 1000 m²) e 30,6 kW (> 25 kW) de potência térmica a instalar, trata-se de um pequeno edifício de serviços com climatização e

enquadra-se no RSECE. Por esta razão, a sua classe energética foi determinada a partir dos valores de IEE_{nom} e IEE_{ref} .

Para obter a classe energética do edifício, foram efetuadas simulações em *HAP* e em *Energyplus*, nas condições nominais de funcionamento definidas no RSECE para edifícios de tipologia “Pronto-a-comer”. Foram efetuadas simulações para determinação do IEE considerando dois cenários: UTA com caudal constante e UTA com caudal variável.

Não foi possível uma modelação da recuperação de calor da UTA fiel à realidade no *HAP*. Para compreender o efeito que a dificuldade em modelar o sistema real poderia ter na classe energética do edifício, foram efetuadas simulações em *HAP* da UTA com e sem recuperação de calor.

Comparando os resultados obtidos em *HAP* para o sistema com e sem recuperação de calor, foi possível concluir que esta afeta essencialmente as necessidades de aquecimento do edifício, sendo estas significativamente mais baixas na simulação em que a UTA apresenta recuperação.

Nas simulações em condições nominais, as diferenças mais significativas entre os resultados obtidos em *HAP* e em *Energyplus* foram as necessidades de arrefecimento da copa, sendo estas mais elevadas quando é utilizado o *HAP*.

Verificou-se que as necessidades totais de climatização do edifício são consideravelmente menores quando a UTA funciona com caudal de ar variável, o que se deve à significativa redução dos pedidos de aquecimento.

Os IEEs calculados com os resultados das simulações em *Energyplus* e *HAP* quando a UTA funciona com caudal constante são próximos entre si. Quando a UTA funciona com caudal variável, o IEE obtido com a simulação em *Energyplus* é significativamente mais baixo do que os obtidos com as simulações em *HAP*.

Pôde concluir-se que o valor do IEE de um edifício depende do *software* e considerações adotadas para a simulação térmica. No entanto, no caso do edifício em

estudo, as diferenças entre os vários IEEs obtidos não se refletem na classe energética. Concluiu-se que o edifício será de classe energética B.

A utilização de dois *softwares* distintos para a mesma finalidade levou, inevitavelmente, a que fossem identificadas vantagens e desvantagens em cada um deles. O *Energyplus* apresenta uma grande versatilidade, possibilitando ao utilizador representar nas simulações uma maior quantidade de informação. Este programa disponibiliza uma grande quantidade de *outputs* que permitem ao utilizador compreender os vários fenómenos que ocorrem a cada hora do ano, em cada espaço do edifício e interpretar detalhadamente os resultados obtidos. No entanto, é um programa menos *user friendly* do que o *HAP*, sendo mais suscetível a erros difíceis de identificar e corrigir, principalmente para utilizadores mais inexperientes. O *HAP* é um programa mais restrito tanto nos dados introduzidos para simulação como nos *outputs* que se podem obter, no entanto, a simplicidade da construção do ficheiro é uma vantagem. Como no *HAP* cada zona é simulada individualmente, à medida que vão surgindo alterações ao longo da fase de projeto, cada espaço pode ser atualizado e resimulado particularmente, sem que seja necessário voltar a simular todo o edifício, o que se traduz numa economia de tempo considerável.

Importa salientar que foi feito um esforço para que as considerações das simulações com os dois programas fossem o mais semelhantes possível, de modo a obter resultados comparáveis. Ainda assim, registaram-se algumas diferenças entre os resultados obtidos com ambos os *softwares*. Com a realização deste trabalho, foi possível compreender que a simulação térmica é um processo complexo e, apesar de vários parâmetros serem definidos no RSECE, os critérios, metodologias, considerações e programas de simulação adotados por projetistas e peritos qualificados podem refletir-se consideravelmente no dimensionamento de sistemas de AVAC, no cálculo de IEEs e nas classes energéticas atribuídas aos edifícios.

Os objetivos propostos para este trabalho, foram concretizados.

7 Referências Bibliográficas

1. **RORIZ, Luís; GONÇALVES, Alexandre; SOARES, Carlos; LOURENÇO, Fernando; BARRETO, João B.; JESUS, João; VAZQUEZ, Lázaro; MALHEIRO, Luís.** *Climatização - Conceção, instalação e condução de sistemas*. Alfragide : Edições Orion, 2006.
2. **RUIVO, C. Rodrigues.** *Cálculo de cargas térmicas - acção de formação*. Coimbra : s.n., 2008.
3. *ASHRAE Handbook - HVAC Fundamentals*. EUA : ASHRAE Handbook Series SI, 2009.
4. **SILVA, Pedro.** *Análise do Comportamento Térmico de Construções não Convencionais através de Simulação em VisualDOE - Tese de Mestrado em Engenharia Civil*. Guimarães : Universidade do Minho, 2006.
5. *Decreto-Lei n.º 80/2006 de 4 de Abril - Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE)*. Lisboa : Diário da República, 2006.
6. AIPEX - Asociación Ibérica de Poliestireno Extrudido. [Online] [Citação: 30 de julho de 2013.] http://www.aipex.es/bioclimatico_po.php?s=2.
7. Associated renewable - Energy consulting carbon management. [Online] Associated renewable, 2010. [Citação: 30 de julho de 2013.] <http://www.associatedrenewable.com/content/commercial-air-conditioning-new-york>.
8. *Decreto Lei n.º 79/2006 de 4 de Abril - Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RSECE)*. Lisboa : Diário da República, 2006.
9. **ADENE.** *Perguntas&Respostas sobre o RSECE - QAI, Versão 2.0*. Lisboa : Agência para a Energia - ADENE, 2011.
10. *DIN EN 15251:2007 - Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics*. Bruxelas - Bélgica : European Committee for Standardization, 2007.
11. *Especificações técnicas para instalações de AVAC - ET 06/2008, V.2010*. Lisboa : Unidade Operacional, Normalização de Instalações e Equipamentos - Administração Central do Sistema de Saúde, 2010.
12. **WIESMAN, Brian.** *Room pressure for critical environments*. EUA : ASHRAE, 2003. pp. 34-39.
13. **SANTOS, C.A.Pina dos e MATIAS, L. M. Cordeiro.** *Coefficientes de transmissão térmica de elementos da envolvente de edifícios - ITE 50*. Lisboa : Laboratório Nacional de Engenharia Civil - LNEC, 2006.
14. *Catálogo técnico Isodur - Reboco Térmico Projectado*. Maceira - Portugal : Secil Argamassas, 2013.
15. *Saint Gobain Glass - Manual do Vidro*. Santa Iria de Azóia : Saint Gobain Glass Portugal, Vidro Plano, SA, 2008.
16. U.S. Department of Energy - Energy Efficiency & Renewable Energy. [Online] [Citação: 15 de 06 de 2013.] <http://www1.eere.energy.gov/buildings/commercial/events.html>.
17. *ASHRAE Standard 140-2004 - Standard method of test for evaluation of building energy analysis computer programs*. Atlanta - EUA : ASHRAE, 2004.
18. **ADENE.** *Perguntas&Respostas sobre o RSECE - Energia, Versão 2.0*. Lisboa : Agência para a Energia - ADENE, 2011.

19. *ASHRAE Handbook - HVAC Applications Handbook*. EUA : ASHRAE Handbook Series - SI Edition, 2007.
20. *Decreto Lei n.º96/2008 de 9 de Junho - Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios (RRAE)*. Lisboa : Diário da República, 2008.
21. *Catálogo Técnico Aermec*. Bevilacqua - Itália : s.n., 2013.
22. *Sistemas Pladur - Resumo das características técnicas*. Madrid : Pladur Uralita, 2012.
23. *Catálogo comercial Daikin*. Ostende - Bélgica : s.n., 2012.
24. *Soluciones de Aislamiento para Aplicaciones de Climatización*. Guadalajara - México : Isover - Saint Gobain.
25. *Catálogo técnico Soler&Palau*. 2012.
26. *DIN EN 13779:2007 - Ventilation For Non-residential Buildings - Performance Requirements For Ventilation And Room-conditioning Systems*. Bruxelas - Bélgica : European Committee for Standardization, 2007.
27. *Catálogo técnico Trox Technik*. Neukirchen-Vluy - Alemanha : s.n., 2011.
28. *EN 12097:2006 - Ventilation for buildings - Ductwork - requirements for ductwork components to facilitate maintenance of ductwork systems*. Bruxelas - Bélgica : European Committee for Standardization, 2006.
29. **DONELLI, Marco e DONELLI, Mario**. *As bombas de calor*. Maia : Caleffi, 2009. Vol. 28.
30. **PIEADADE, A. da Canha, RODRIGUES, A. Moret e RORÍZ, L.** *Climatização em Edifícios, Envoltantes e Comportamento Térmico*. Alfragide : Orion (2ª edição), 2003. pp. 1-82.
31. **ADENE**. *Perguntas e Respostas sobre o RCCTE - versão 2.0*. Lisboa : Agência para a Energia - ADENE, 2011.
32. *Decreto-Lei n.º78/2006 de 4 de Abril - Sistema de Certificação Energética (SCE)*. Lisboa : Diário da República, 2006.
33. **ADENE**. *SCE - Manual de procedimentos para entidades licenciadoras*. Lisboa : Agência para a Energia - ADENE, 2008.
34. —. *Perguntas&Respostas sobre o SCE*. Lisboa : Agência para a Energia - ADENE, 2009.

Anexo A

Anexo A.1 – Eficiência de ventilação na cafeteria

Numa pequena área da cafeteria terá de ser prevista a instalação de grelhas para insuflação de ar, uma vez que a inexistência de teto falso não permite a instalação de difusores no teto. Na Figura A.1 e Figura A.2, identifica-se a área da cafeteria em que se verifica esta limitação.

Na zona assinalada a azul na Figura A.1 e na Figura A.2, com 22 m² de área, a insuflação e extração serão efetuadas ambas na mesma parede,. A eficiência de ventilação será de 60%, nesta zona. Para determinar a eficiência de ventilação geral a considerar para a cafeteria, foi efetuada uma ponderação por área das eficiências de cada uma das zonas.

$$\eta = \frac{0,6 \times 22 + 0,7 \times 70,9}{92,9} = 0,68$$

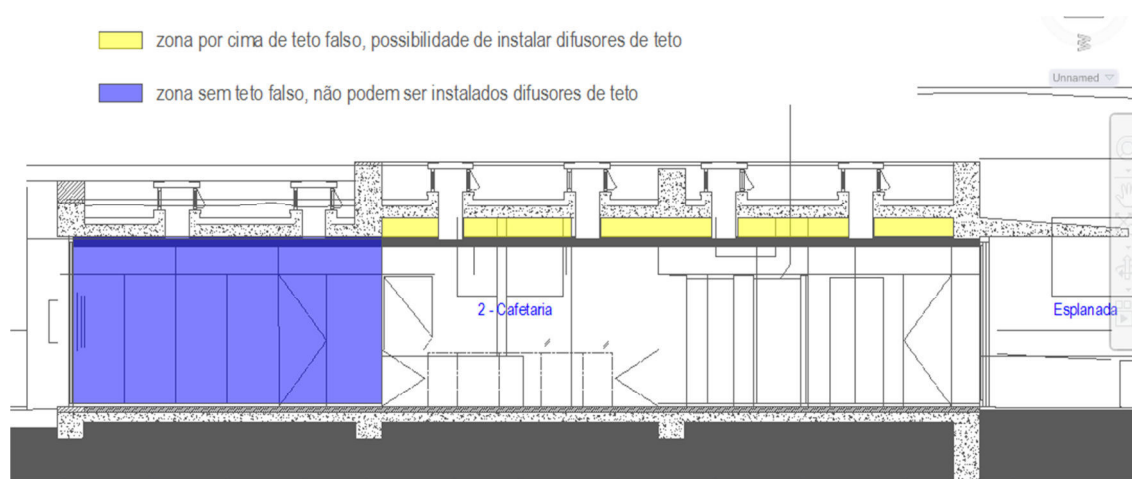


Figura A.1 – Identificação de teto falso e zona sem teto falso na cafeteria (corte)

Fonte: Adaptado do projeto de arquitetura – Dialogue Café

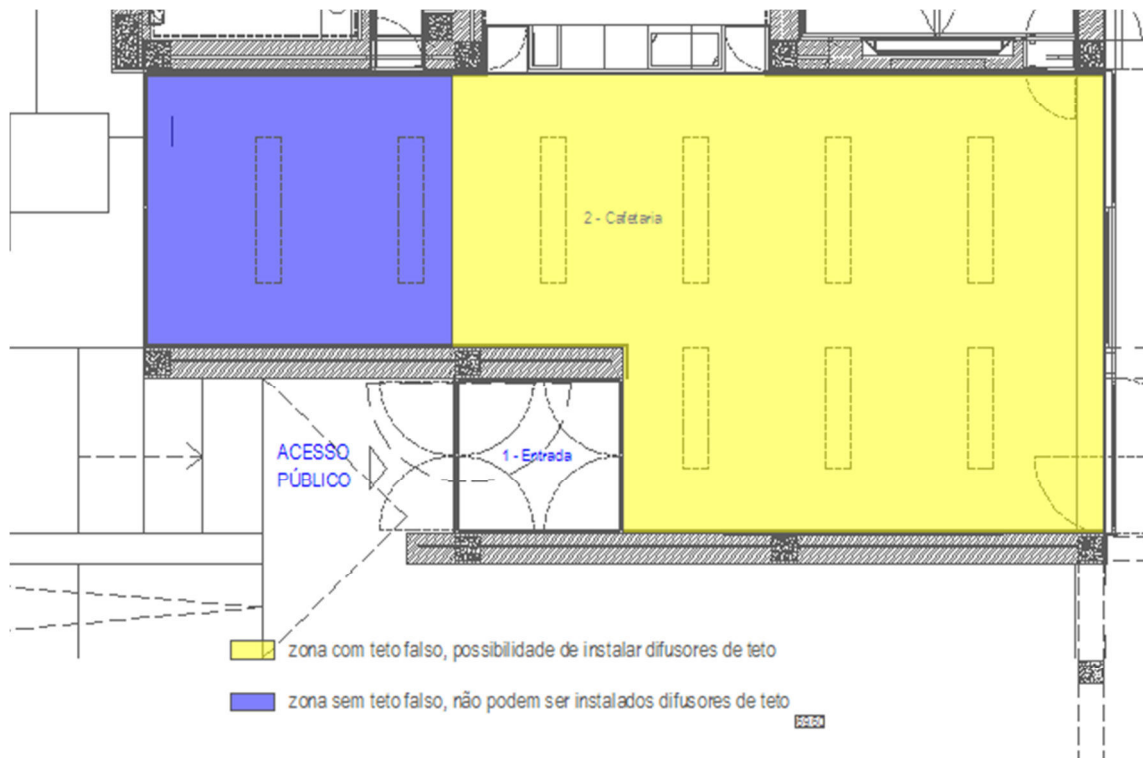


Figura A.2 – Identificação de zonas com e sem teto falso na cafeteria (planta)

Fonte: Adaptado do projeto de arquitetura – Dialogue Cafe

Anexo A.2 – Plantas de arquitetura com mobiliário

A Figura A.3, Figura A.4 e Figura A.5 apresentam o mobiliário representado na plantas de arquitetura, que serviu como referência à determinação do número de ocupantes esperado em cada espaço.

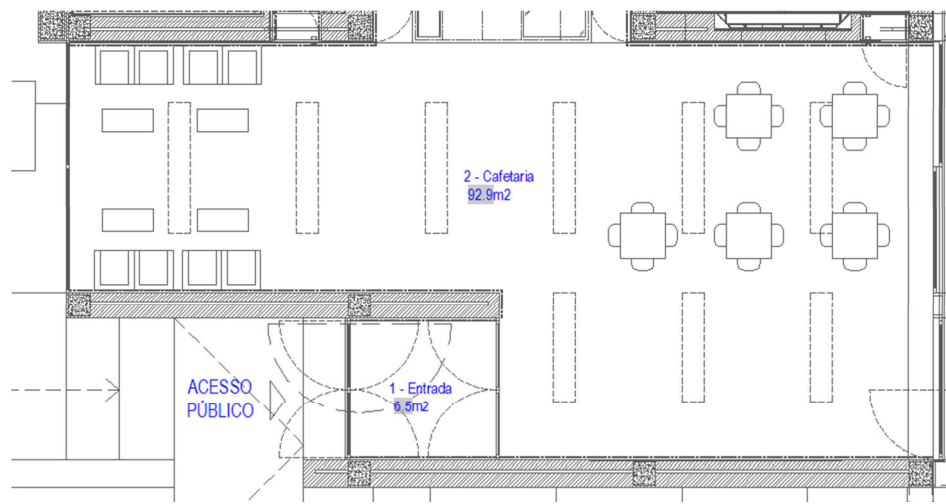


Figura A.3 – Mobiliário da cafeteria, 28 lugares (planta)

Fonte: Adatado do projeto de arquitetura – Dialogue Cafe

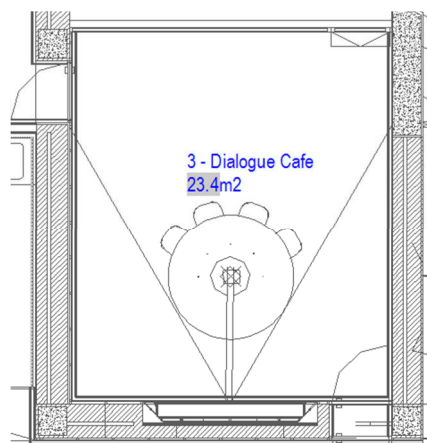


Figura A.4 – Mobiliário do Dialogue Cafe, 4 lugares (planta)

Fonte: Adatado do projeto de arquitetura – Dialogue Cafe

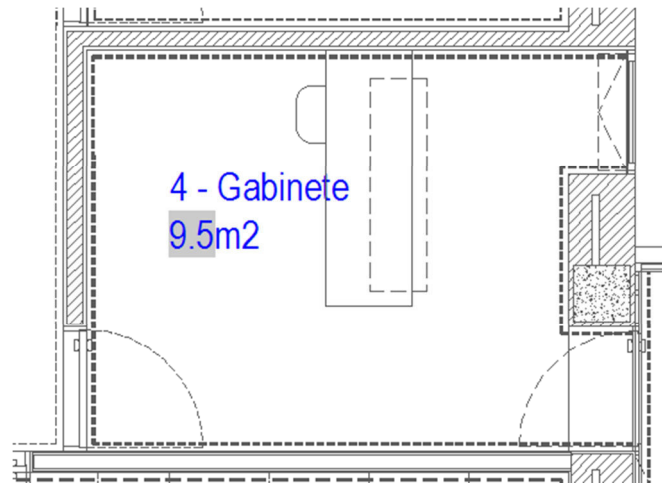


Figura A.5 – Mobiliário do gabinete, 1 posto de trabalho (planta)

Fonte: Adatado do projeto de arquitetura – Dialogue Cafe

Anexo A.3 – Projeto de Iluminação

A Figura A.6 a Figura A.12 apresentam a iluminação prevista em projeto para os diferentes espaços do edifício.

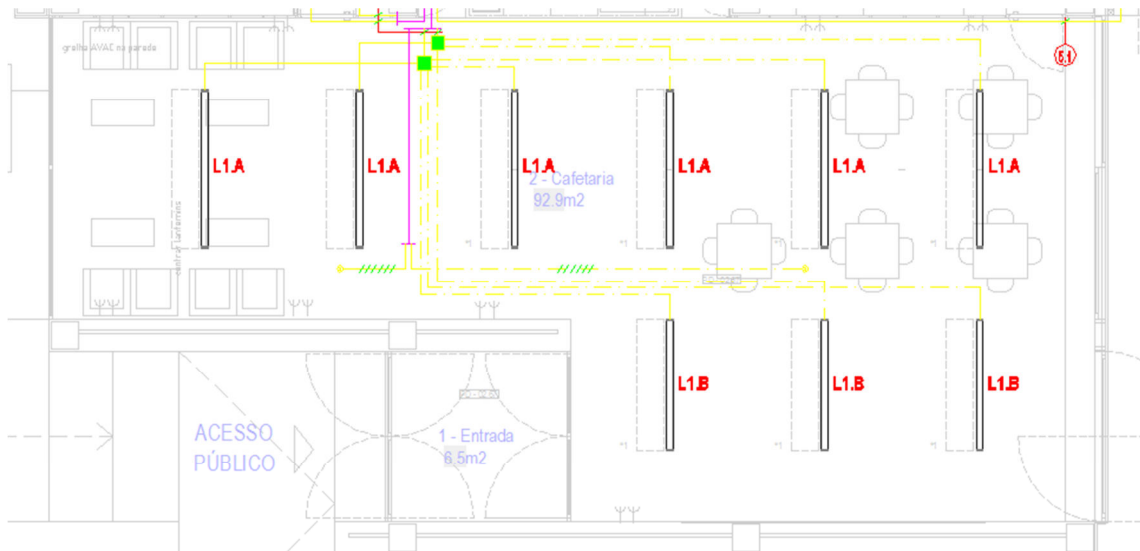


Figura A.6 – Planta de iluminação normal - Cafeteria

Fonte: Adaptado do projeto de eletricidade – Dialogue Cafe

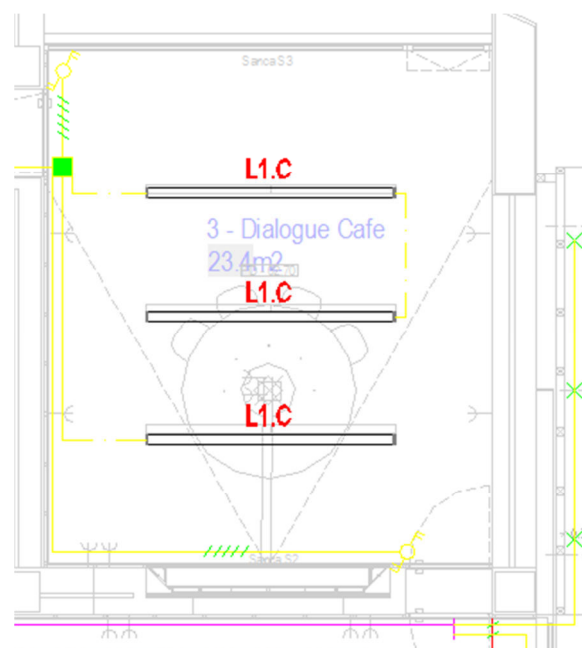


Figura A.7 – Planta de iluminação normal – Dialogue Cafe

Fonte: Adaptado do projeto de eletricidade – Dialogue Cafe

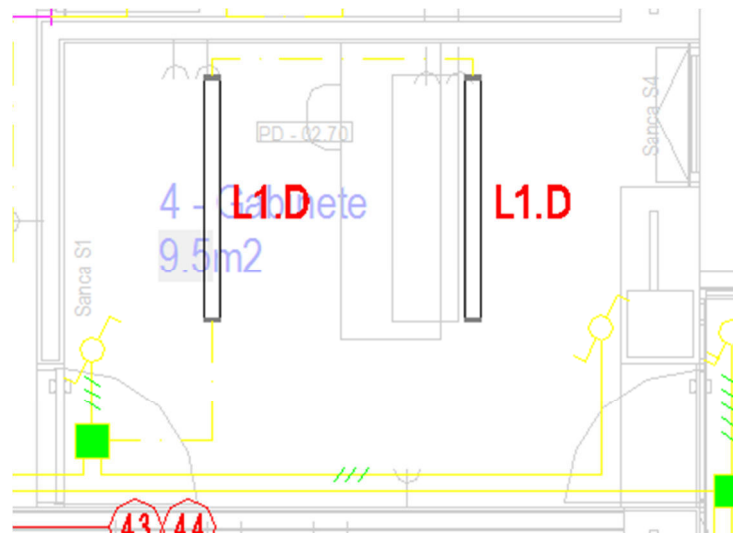


Figura A.8 – Planta de iluminação normal – Gabinete

Fonte: Adaptado do projeto de eletricidade – Dialogue Cafe

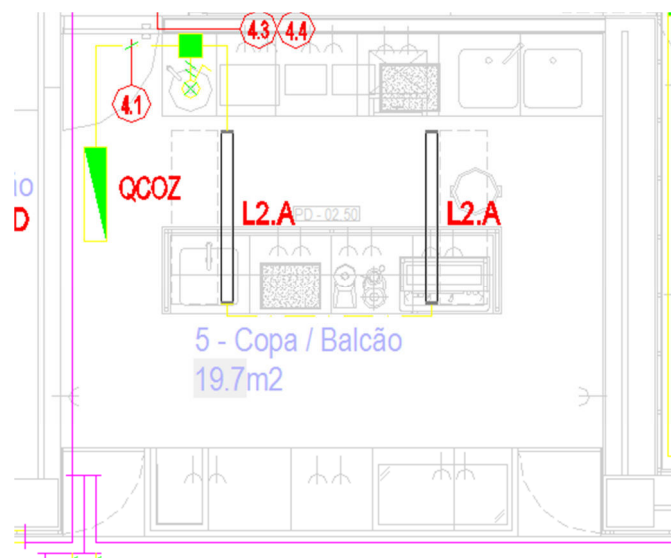


Figura A.9 – Planta de iluminação normal – Copa

Fonte: Adaptado do projeto de eletricidade – Dialogue Café

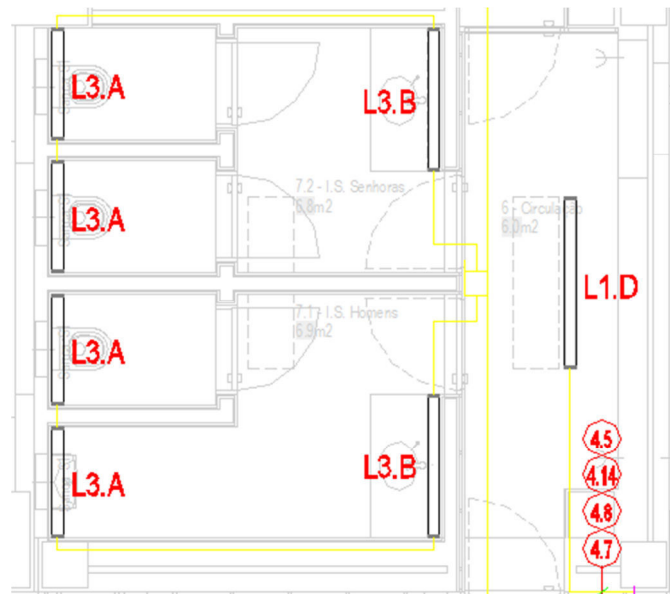


Figura A.10 – Planta de iluminação normal – IS senhoras, IS homens, Circulação 6

Fonte: Adaptado do projeto de eletricidade – Dialogue Café

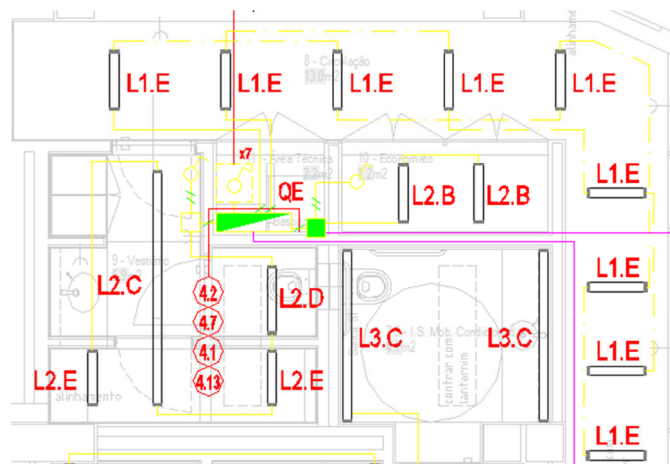


Figura A.11 – Planta de iluminação normal – Vestiários, IS Mob. Condicionada, Economato, Circulação 9 e Área Técnica

Fonte: Adaptado do projeto de eletricidade – Dialogue Café

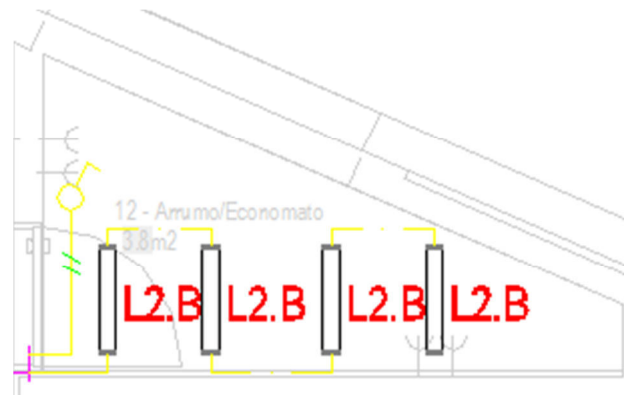


Figura A.12 – Planta de iluminação normal – Arrumo/ Economato

Fonte: Adaptado do projeto de eletricidade – Dialogue Café

No projeto de iluminação, não está prevista iluminação específica e localizada em nenhum espaço, apenas iluminação de teto.

Anexo A.4 – Projeto de alimentações específicas

A Figura A.13 e Figura A.14 apresentam o projeto de alimentações específicas do Dialogue Café e da Copa, utilizado para estimar as cargas de equipamentos a esperar para estes espaços.

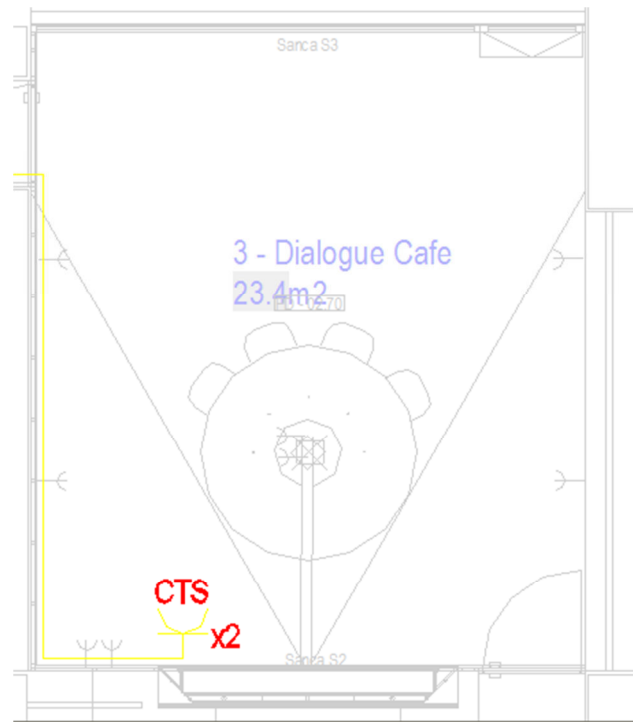


Figura A.13 – Planta de alimentações específicas – Dialogue Cafe

Fonte: Adaptado do projeto de eletricidade – Dialogue Cafe

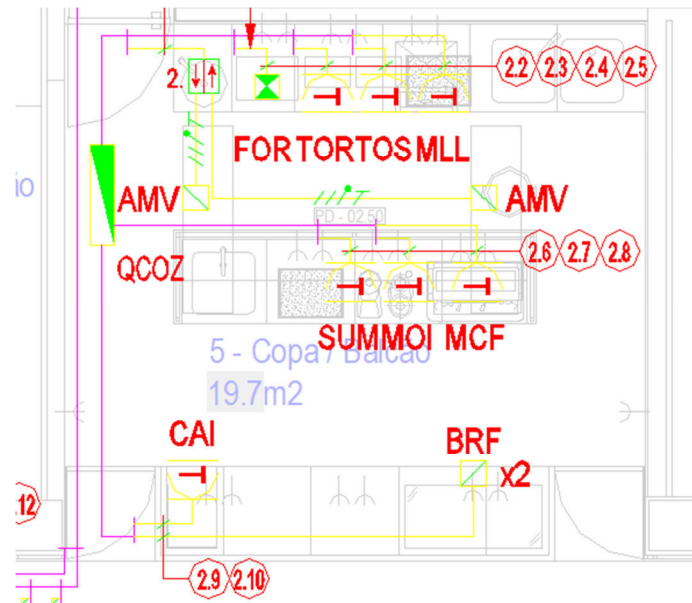


Figura A.14 – Planta de alimentações específicas – Copa
 Fonte: Adaptado do projeto de eletricidade – Dialogue Cafe

Na Tabela A.1 encontra-se o significado das siglas apresentadas na Figura A.13 e Figura A.14.

Tabela A.1 – Tabela de siglas – projeto de alimentações específicas

Sigla	Designação
AMV	Atuador Motorizado de Vão
BRF	Bancada Refrigerada
CAI	Caixa Registradora
CTS	Monitor CTS
FOR	Forno Elétrico
MCF	Máquina de Café
MLL	Máquina de Lavar Louça
MOI	Moinho de café
SUM	Máquina de fazer sumos
TOS	Tostadeira
TOR	Torradeira

Fonte: Adaptado do projeto de eletricidade – Dialogue Cafe

Anexo A.5 – Determinação dos coeficientes de transmissão térmica da envolvente exterior

Na Tabela A.2 a Tabela A.5 podem encontrar-se os dados utilizados para o cálculo do coeficiente de transmissão térmica (U) das paredes exteriores, pilares e cobertura do edifício tanto em regime de fluxo de calor ascendente com descendente.

Tabela A.2 – Cálculo do U das paredes exteriores

Descrição das camadas	Espessura (m)	Calor específico (kJ/kg°C)	Massa volúmica (kg/ m ³)	Condutividade (W/m°C)	Resistência (m ² °C/W)
resistência filmica interior					0,13
estruque	0,01	1,34	600	0,18	0,06
Reboco	0,01	1,05	2000	1,8	0,01
alvenaria de tijolo	0,11	0,84	1000		0,25
caixa de ar	0,05	0	0		0,18
alvenaria de tijolo	0,2	0,84	600		0,56
Argamassa térmica	0,06	1,00	350	0,07	0,86
resistência filmica exterior					0,04
resistência total					2,08
U (W/m ² °C)					0,48

Tabela A.3 – Cálculo do U dos pilares

Descrição das camadas	Espessura (m)	Calor específico (kJ/kg°C)	Massa volúmica (kg/ m ³)	Condutividade (W/m°C)	Resistência (m ² °C/W)
resistência filmica interior					0,13
estruque	0,01	1,34	600	0,18	0,06
Reboco	0,01	1,05	2000	1,8	0,01
pilares de betão	0,4	0,84	2300	2	0,20
Argamassa térmica	0,06	1,00	350	0,07	0,86
resistência filmica exterior					0,04
resistência total					1,29
U (W/m ² °C)					0,78

Tabela A.4 – Cálculo do U da cobertura – fluxo de calor ascendente

Descrição das camadas	Espessura (m)	Calor específico (kJ/kg°C)	Massa volúmica (kg/ m ³)	Condutividade (W/m°C)	Resistência (m ² °C/W)
resistência filmica exterior					0,04
isolamento poliestireno expandido	0,1	1,55	30	0,035	2,86
betonilha para formação de pendente	0,05	1,04	2000	1,65	0,03
estrutura betão	0,2	0,84	2300	2	0,10
caixa de ar		0	0		0,16
teto falso em gesso cartonado	0,025	1,09	800	0,25	0,10
resistência filmica interior					0,1
resistência total					3,4
U (W/m ² °C)					0,3

Tabela A.5 – Cálculo do U da cobertura – fluxo de calor descendente

Descrição das camadas	Espessura (m)	Calor específico (kJ/kg°C)	Massa volúmica (kg/ m ³)	Condutividade e (W/mK)	Resistência (m ² K/W)
resistência filmica exterior					0,04
isolamento poliestireno expandido	0,1	1,55	30	0,035	2,86
betonilha para formação de pendente	0,05	1,04	2000	1,65	0,03
estrutura betão	0,2	0,84	2300	2	0,10
caixa de ar		0	0		0,16
teto falso em gesso cartonado	0,025	1,09	800	0,25	0,10
resistência filmica interior					0,17
resistência total					3,5
U (W/m ² °C)					0,3

Anexo A.6 – Determinação das infiltrações de ar exterior

Para determinar a taxa de renovações por hora devidas a infiltrações, recorreu-se à metodologia apresentada no RCCTE para cálculo deste parâmetro [5].

Por consulta do quadro IV.2 do RCCTE [5], apresentado na Figura A.15, determinou-se a classe de exposição do edifício. Por se tratar de um edifício em meio urbano com menos de 10 m de altura, a sua classe de exposição é 1.

QUADRO IV.2

Classes de exposição ao vento das fachadas do edifício ou da fracção autónoma

Altura acima do solo	Região A			Região B		
	I	II	III	I	II	III
Menor que 10 m	Exp. 1	Exp. 2	Exp. 3	Exp. 1	Exp. 2	Exp. 3
De 10 m a 18 m	Exp. 1	Exp. 2	Exp. 3	Exp. 2	Exp. 3	Exp. 4
De 18 m a 28 m	Exp. 2	Exp. 3	Exp. 4	Exp. 2	Exp. 3	Exp. 4
Superior a 28 m	Exp. 3	Exp. 4	Exp. 4	Exp. 3	Exp. 4	Exp. 4

Notas

- Região A — todo o território nacional, excepto os locais pertencentes à região B.
- Região B — Regiões Autónomas dos Açores e da Madeira e as localidades situadas numa faixa de 5 km de largura junto à costa e ou de altitude superior a 600 m.
- Rugosidade I — edifícios situados no interior de uma zona urbana.
- Rugosidade II — edifícios situados na periferia de uma zona urbana ou numa zona rural.
- Rugosidade III — edifícios situados em zonas muito expostas (sem obstáculos que atenuem o vento).

Figura A.15 – Determinação da classe de exposição do edifício
Fonte: RCCTE [5]

Por consulta do quadro IV.1 do RCCTE [5], apresentado na Figura A.16, determinaram-se as RPH devidas a infiltrações de ar exterior em cada espaço. Como se pode verificar ainda na Figura A.16, as RPH dependem da relação entre a área de envidraçados e a área de pavimento.

QUADRO IV.1

Valores convencionais de R_{ph} (em h^{-1}) para edifícios de habitação

Classe de exposição	Dispositivos de admissão na fachada	Permeabilidade ao ar das caixilharias (de acordo com a norma EN 12207)								Edifícios conformes com a NP 1037-1
		Sem classificação — Caixa de estore		Classe 1 — Caixa de estore		Classe 2 — Caixa de estore		Classe 3 — Caixa de estore		
		Sim	Não	Sim	Não	Sim	Não	Sim	Não	
1	Sim	0,90	0,80	0,85	0,75	0,80	0,70	0,75	0,65	0,60
	Não	1,00	0,90	0,95	0,85	0,90	0,80	0,85	0,75	
2	Sim	0,95	0,85	0,90	0,80	0,85	0,75	0,80	0,70	
	Não	1,05	0,95	1,00	0,90	0,95	0,85	0,90	0,80	
3	Sim	1,00	0,90	0,95	0,85	0,90	0,80	0,85	0,75	
	Não	1,10	1,00	1,05	0,95	1,00	0,90	0,95	0,85	
4	Sim	1,05	0,95	1,00	0,90	0,95	0,85	0,90	0,80	
	Não	1,15	1,05	1,10	1,00	1,05	0,95	1,00	0,90	

Notas

1 — Quando os dispositivos instalados para admissão de ar nas fachadas não garantirem que, para diferenças de pressão entre 20 Pa e 200 Pa, o caudal não varie mais de 1,5 vezes, os valores do quadro iv.1 devem ser agravados de 0,10.

2 — Quando a área de vãos envidraçados for superior a 15 % da área útil de pavimento, os valores do quadro iv.1 devem ser agravados de 0,10.

3 — Se todas as portas do edifício ou fracção autónoma forem bem vedadas por aplicação de borrachas ou equivalente em todo o seu perímetro, os valores indicados no quadro iv.1 para edifícios não conformes com a NP 1037-1 podem ser diminuídos de 0,05.

Figura A.16 – Valores convencionais de RPH

Fonte: RCCTE [5]

A Tabela A.6 apresenta as RPH e correspondente caudal resultante das infiltrações de ar exterior, quando o sistema de AVAC está desligado.

Tabela A.6 – Cálculo das infiltrações de ar exterior (sistema de AVAC desligado)

Espaço n°	Designação	A (m ²)	A vãos (m ²)	vão/ área (%)	RPH infiltrações
2	Cafeteria	92,9	51,7	56%	0,85
3	Dialogue Cafe	23,4	12,2	52%	0,85
4	Gabinete	9,5	3,5	37%	0,85
5	Copa/ Balcão	19,7	2,1	11%	0,75
6	Circulação	6	0	0%	0,75
7.1	IS Homens	6,9	0	0%	0,75
7.2	IS Senhoras	6,8	0	0%	0,75
7.3	IS Mob. Condicionada	4,1	0	0%	0,75
8	Circulação	13	2,8	22%	0,85
9	Vestiários	6,9	0	0%	0,75
10	Economato	1,2	0	0%	0,75
11	Área técnica	2,2	0	0%	0,75
12	Arrumos/ Economato	3,8	0	0%	0,75

A determinação das infiltrações na cafeteria durante o período de funcionamento do edifício, devidas à abertura de portas exteriores para entrada e saída de utilizadores, foram determinadas recorrendo a uma metodologia apresentada no manual *ASHRAE Fundamentals* 2009 [3] para determinação de infiltrações através de portas automáticas em edifícios de serviços.

No manual *ASHRAE Fundamentals* 2009 [3] é proposta a seguinte metodologia para cálculo das infiltrações devido à utilização de portas automáticas em edifícios de serviços:

$$Q = C_A \times A \times R_p$$

Sendo Q o caudal de infiltração (l/s), C_A o coeficiente de descarga da porta obtido com base no número de utilizadores por hora e na consulta do gráfico apresentado na Figura A.17, A a área de porta e R_p um valor relacionado com o diferencial de pressão entre o interior e o exterior do edifício obtido por consulta do gráfico apresentado na Figura A.18 e que tem em consideração a diferença entre a temperatura do ar exterior e interior e a altura do edifício em análise [3].

Conforme se pode verificar por consulta do gráfico da Figura A.17, à entrada/ saída de 28 pessoas da cafeteria por hora (valor assumido para estimativa de infiltrações pelas portas), corresponde um coeficiente de descarga de $30 \text{ l/s.m}^2.\text{Pa}^{0,5}$.

Conforme se pode verificar por consulta do gráfico da Figura A.18, para o edifício em estudo, com altura de 3 m e valores de $T_{\text{interior}} - T_{\text{exterior}}$ compreendidos entre os -7 e 15°C , o valor de R_p é sensivelmente $4,5 \text{ Pa}^{0,5}$.

Considerando uma área de abertura de porta de $1,8 \text{ m}^2$, determinou-se que durante o período de funcionamento, a infiltração de ar exterior na cafeteria será de 3,5 RPH.

$$\begin{aligned} RPH &= \frac{Q_{\text{infiltração}} (\text{m}^3/\text{h})}{V_{\text{cafeteria}} (\text{m}^3)} = \frac{C_A \times A \times R_p \times 3,6}{V_{\text{cafeteria}}} \\ &= \frac{30 \text{ l}/(\text{s.m}^2.\text{Pa}^{0,5}) \times 1,8 \text{ m}^2 \times 4,5 \text{ Pa}^{0,5} \times 3,6}{250,3 \text{ m}^3} = 3,5 \text{ RPH} \end{aligned}$$

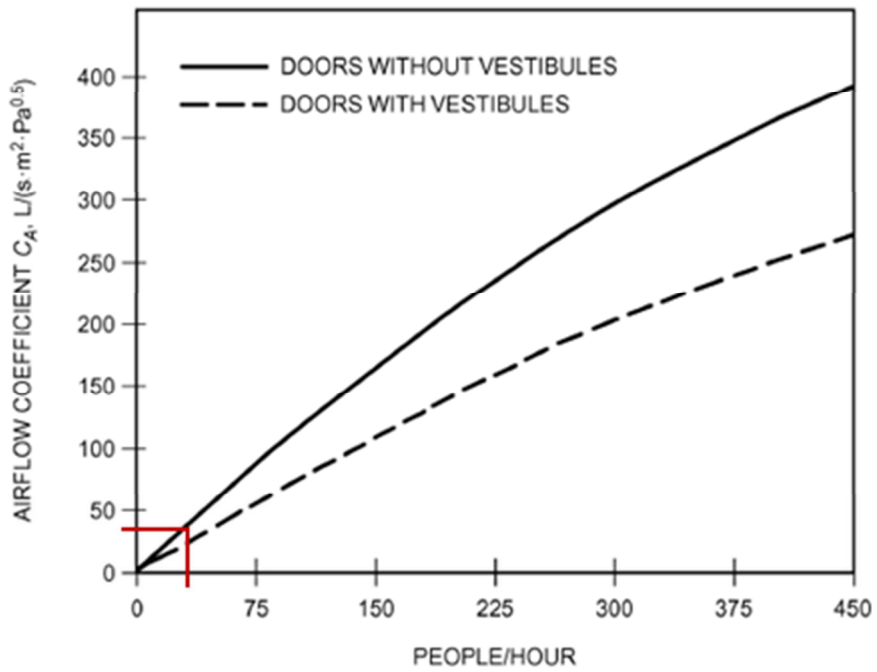


Figura A.17 – Determinação do valor de C_A
 Fonte: [3]

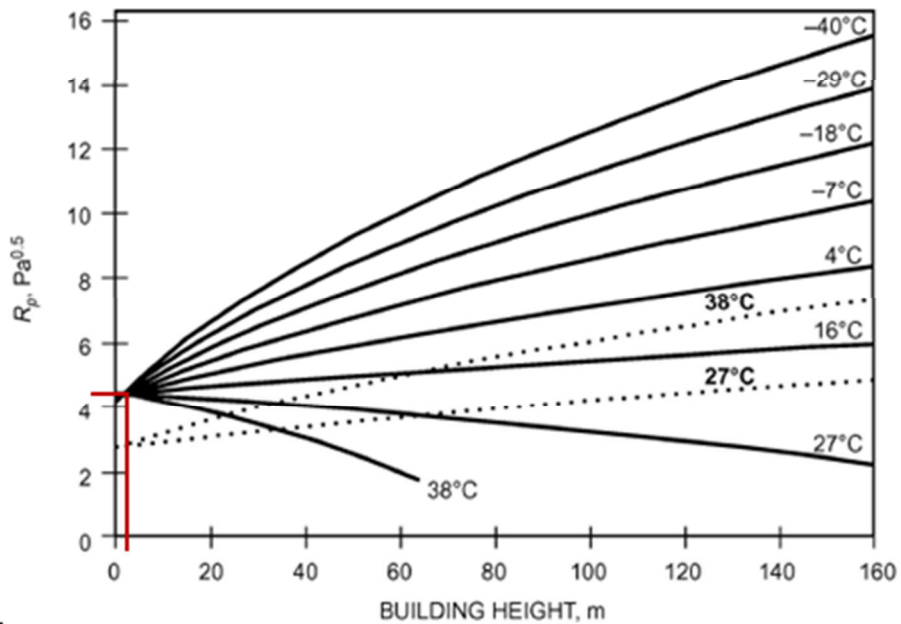


Figura A.18 – Determinação do valor de R_p
 Fonte: [3]

Anexo B

Anexo B.1 - Dimensionamento da rede aerúlica

Tabela B.1 – Dimensionamento da rede aerúlica (método da perda de carga constante)

	Caudal (m ³ /h)	ΔP (Pa/m)	DN equivalente (mm)	DN comercial (mm)
Rede de insuflação				
Ligação GRI.i.01 (cada ligação)	400	0,8	200	DN 200
Ligação DIF.01 (cada ligação)	200	0,8	160	DN200 ^(*)
Ligação DIF.02 (cada ligação)	200	0,8	160	DN200 ^(*)
Ligação DIF.03 (cada ligação)	100	0,8	125	DN 160 ^(*)
Ligação DIF.04	70	0,8	125	DN125
Ligação DIF.05 (cada ligação)	130	0,8	140	DN 160 ^(*)
Ligação DIF.06 (cada ligação)	260	0,8	180	DN 160
Troço 1 (UTA.01)	500	0,8	215	DN 224
Troço 2 (UTA.01)	1000	0,8	300	DN 315
Troço 3 (UTA.01)	1500	0,8	340	DN 355
Troço 4 (UTA.01)	1760	0,8	350	DN 355
Troço 5 (UTA.01)	1830	0,8	360	DN 400
Troço 6 (UTA.01)	2030	0,8	380	DN 400
Troço 1 (VC.01)	400	0,8	210	DN 224
Troço 2 (VC.01)	800	0,8	240	DN250
Troço 3 (VC.01)	1200	0,8	310	DN 315
Troço 1 (VC.02)	200	0,8	160	DN 160
Troço 2 (VC.02)	400	0,8	210	DN 224
Troço 1 (UI.C)	260	0,8	180	DN 180
Troço 1 (UI.C)	520	0,8	215	DN 224
Rede de extração/ retorno				
Ligação GRLe.01	710	0,8	250	DN 250
Ligação GRLe.02	200	0,8	160	DN 160
Ligação GRIr.01 (cada ligação)	480	0,8	220	DN 224
Ligação GRIr.02 (cada ligação)	520	0,8	230	DN 250

	Caudal (m ³ /h)	ΔP (Pa/m)	DN equivalente (mm)	DN comercial (mm)
Ligação sanca Dialogue café (ext.)	180	0,8	155	DN 160
Ligação sanca Dialogue café (ret.)	220	0,8	165	DN 180
Ligação sanca Gabinete	60	0,8	80	DN 80
Ligação VE.01 área técnica	30	0,8	80	DN 80
Ligação VE.01 economato	10	0,8	80	DN 80
Ligação VE.01 Arrumos economato	20	0,8	80	DN 80
Ligação sancas IS e vestiários	80/90	0,8	130	DN 150
Troço 1 (UTA.01)	710	0,8	250	DN 250
Troço 2 (UTA.01)	890	0,8	265	DN 280
Troço 3 (UTA.01)	950	0,8	280	DN 280
Troço 4 (UTA.01)	980	0,8	290	DN 315
Troço 5 (UTA.01)	990	0,8	295	DN 315
Troço 6 (UTA.01)	1040	0,8	300	DN 315
Troço 1 (VEX.01)	170	0,8	150	DN 150
Troço 2 (VEX.01)	250	0,8	170	DN 180
Troço 3 (VEX.01)	340	0,8	200	DN 200
Troço 4 (VEX.01)	420	0,8	225	DN 224
Troço 5 (VEX.01)	510	0,8	230	DN 250
Troço 6 (VEX.01)	610	0,8	245	DN 250

(*) o diâmetro de conduta adotado é o de ligação ao difusor

Anexo B.2 - Dimensionamento da rede hidráulica

Tabela B.2 – Dimensionamento da rede hidráulica (método da velocidade máxima admissível)

	Caudal água quente (l/h)	Caudal água fria (l/h)	V _{água} (m/s)	DN calculado (mm)	DN _i comercial (mm)	DN comercial (mm)
Equipamentos						
VC.01	600	860	1	17,4	19,94	22
VC.02	350	450	1	12,6	13,84	15
VC.03	170	270	1	9,7	10,92	12
UTA.01	2350	2180	1	28,8	32,13	35
Tubagem de ida						
VC.01+VC.01	1200	1720	1	24,7	26	28
VC.01+VC.01+VC.01	1800	2580	1	30,2	32,13	35
VC.01+VC.01+VC.01+VC.03	1980	2850	1	31,7	38,23	42
VC.01+VC.01+VC.01+VC.03+VC.02	2320	3300	1	34,1	38,23	42
VC.01+VC.01+VC.01+VC.03+VC.02+UTA.01	4660	5480	1	44,0	50,42	54
Tubagem de retorno invertido						

	Caudal água quente (l/h)	Caudal água fria (l/h)	V _{água} (m/s)	DN calculado (mm)	DNi comercial (mm)	DN comercial (mm)
UTA,01+VC.02	2700	2630	1	30,9	32,13	35
UTA.01+VC.02+VC.03	2870	2900	1	32,0	38,23	42
UTA.01+VC.02+VC.03+VC.01	3470	3760	1	36,5	38,23	42
UTA.01+VC.02+VC.03+VC.01+VC.01	4070	4620	1	40,4	50,42	54
UTA.01+VC.02+VC.03+VC.01+VC.01+VC.01	4670	5480	1	44,0	50,42	54

Anexo C

Anexo C.1 – Relatório da simulação em *Solterm*

SolTerm 5.1

Licenciado a NaturalWorks

()

Estimativa de desempenho de sistema solar térmico

Campo de colectores

Modelo de colector: Viessmann Werke Vitosol 200-T SD2A 2m2

2 módulos (4.3 m²)

Inclinação 28° - Azimute -29°

Coefficientes de perdas térmicas: a1= 1.280 W/m²/K a2= 0.007 W/m²/K²

Rendimento óptico: 74.0%

Modificador de ângulo transversal: a 0° 5° 10° 15° 20° 25° 30° 35° 40° 45° 50° 55° 60° 65°
70° 75° 80° 85° 90°

1.00 1.01 1.01 1.02 1.02 1.03 1.03 1.03 1.03 1.01 0.98 0.92 0.86 0.72 0.57 0.43
0.29 0.14 0.00

Modificador de ângulo longitudinal: a 0° 5° 10° 15° 20° 25° 30° 35° 40° 45° 50° 55° 60° 65°
70° 75° 80° 85° 90°

1.00 1.00 1.00 1.00 0.99 0.98 0.97 0.96 0.95 0.93 0.91 0.87 0.83 0.69 0.55 0.42
0.28 0.14 0.00;

Permutador

Interno ao depósito, tipo serpentina, com eficácia 55%

Caudal no grupo painel/permutador: 42.0 l/m² por hora (=0.05 l/s)

Depósito

Modelo: vulcano S 200L _corrigido Inox

Volume: 200 l

Área externa: 2.90 m²

Material: médio condutor de calor

Posição vertical

Deflectores interiores

Coefficiente de perdas térmicas: 2.90 W/K

Um conjunto depósito/permutador

Tubagens

Comprimento total: 27.0 m

Percurso no exterior: 6.0 m com protecção mecânica

Diâmetro interno: 19.0 mm

Espessura do tubo metálico: 1.5 mm

Espessura do isolamento: 40.0 mm

Condutividade térmica do metal: 380 W/m/K

Condutividade térmica do isolamento: 0.040 W/m/K

Carga térmica: segunda a sexta

TFM_iap_original

Temperatura nominal de consumo: 60°C (N.B. existem válvulas misturadoras)

Temperaturas de abastecimento ao depósito (°C):

Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15

Perfis de consumo (l)

hora	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

124

01													
02													
03													
04													
05													
06													
07													
08													
09													
10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
11	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
12	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
13	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
14	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
15	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
16	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
17	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
18	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
19	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
20													
21													
22													
23													
24													
diário	220	220	220	220	220	220	220	220	220	220	220	220	220

Carga térmica: fim-de-semana

TFM_iap_original

Temperatura nominal de consumo: 60°C (N.B. existem válvulas misturadoras)

Temperaturas de abastecimento ao depósito (°C):

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15

Perfis de consumo (l)

hora	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

01													
02													
03													
04													
05													
06													
07													
08													
09													
10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
11	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
12	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
13	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
14	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
15	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
16	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
17	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
18	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
19	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
20													
21													
22													
23													
24													
diário	220	220	220	220	220	220	220	220	220	220	220	220	220

Localização, posição e envolvente do sistema

Concelho de Lisboa

Coordenadas nominais: 38.7°N, 9.2°W

TRY para RCCTE/STE e SOLTERM (LNEG(2009) www.lneg.pt solterm.suporte@lneg.pt)

Obstruções do horizonte: aferição de obstrução significativa

Orientação do painel: inclinação 28° - azimute -29°

Balanco energético mensal e anual

	Rad.Horiz. kWh/m ²	Rad.Inclin. kWh/m ²	Desperdiçado kWh	Fornecido kWh	Carga kWh	Apoio kWh
Janeiro	46	66	.	152	357	205
Fevereiro	62	81	.	176	322	146
Março	96	113	.	233	357	124
Abril	132	140	.	275	345	70
Mai	166	166	.	301	357	55
Junho	176	170	.	299	345	46
Julho	194	190	.	340	357	17
Agosto	182	190	1.	344	357	13
Setembro	124	142	.	297	345	48
Outubro	86	109	.	243	357	114
Novembro	56	78	.	177	345	169
Dezembro	41	59	.	135	357	221

Anual	1362	1505	1.	2972	4202	1229

Fracção solar: 70.7%

Rendimento global anual do sistema: 46% Produtividade: 694 kWh/[m² colector]

N.B. 'Fornecido' é designado 'E solar' nos Regulamentos Energéticos (DLs 78,79,80/06)

Anexo C.2 – Cálculo do volume do vaso de expansão

O volume total (v_t) de líquido na tubagem do circuito primário é determinado recorrendo ao diâmetro interior da tubagem (16,92 mm) e ao comprimento de tubagem estimado (27 m), ao volume de água que irá existir em cada coletor (1,13 L, segundo o catálogo dos equipamentos seleccionados) e ao número de coletores e ao volume de água que irá existir no permutador interno do depósito de acumulação de AQS (3,5 L, segundo o catálogo do equipamento seleccionado):

$$v_t = \left(\pi \times \left(\frac{Dn_{tubagem}}{2} \right)^2 \times L_{tubagem} + v_{coletor} \times n_{coletores} + v_{permutador} \right)$$

$$v_t = \left(3.14 \times \left(\frac{0.01692}{2} \right)^2 \times 27 + 0.00113 \times 2 + 0.0035 \right) = 0,0118 \text{ m}^3$$

Estima-se que a temperatura máxima do fluido primário no circuito seja cerca de 100°C. É então possível calcular o volume útil do vaso de expansão (v_e):

$$v_e = \left(\frac{0,07T - 2,5}{100} \right) \times v_t = \left(\frac{0,07 \times 100 - 2,5}{100} \right) \times 0,0118 = 0,000532 \text{ m}^3$$

A pressão no sistema não pode nunca ser inferior à pressão atmosférica, sob o risco de ocorrer a entrada de ar atmosférico nos componentes (tubagens, coletores), com consequente mau funcionamento e diminuição do tempo de vida da instalação. Por esta razão, assumiu-se que P_{\min} do sistema não poderá ser inferior a 1,5 bar. Considerou-se P_{\max} de 4 bar.

O rendimento de utilização pode ser determinado através da equação:

$$\eta = \left(\frac{(P_{\max} + 1) - (P_{\min} + 1)}{(P_{\max} + 1)} \right) = \left(\frac{(4 + 1) - (1.5 + 1)}{(4 + 1)} \right) = 0.5$$

Recorrendo à equação seguinte, é possível determinar o volume nominal do vaso de expansão:

$$v_n = \frac{v_e}{\eta} = \frac{0,000532}{0.5} = 0,0011 \text{ m}^3 = 1,1 \text{ L}$$

O volume do vaso de expansão não poderá ser inferior a 0.011 m^3 , ou seja 1,1 L.

Anexo D

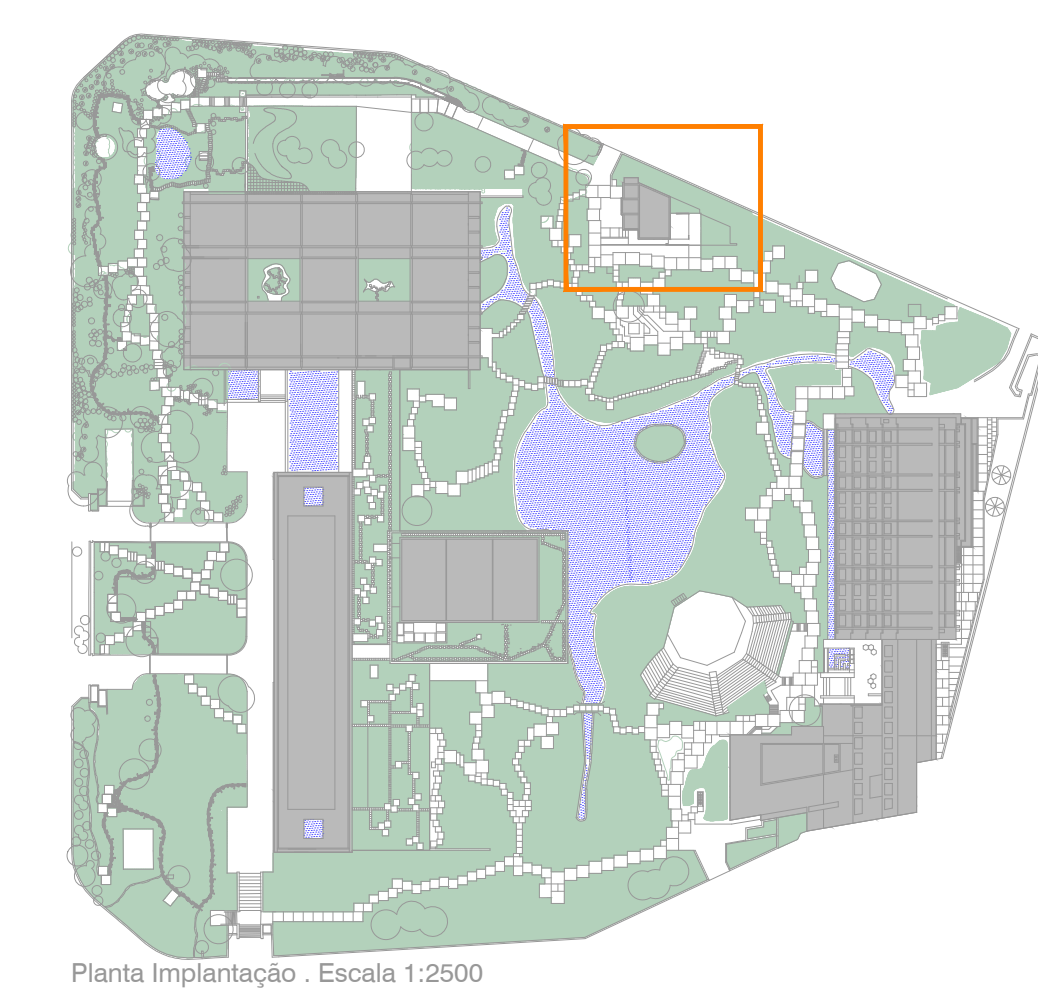
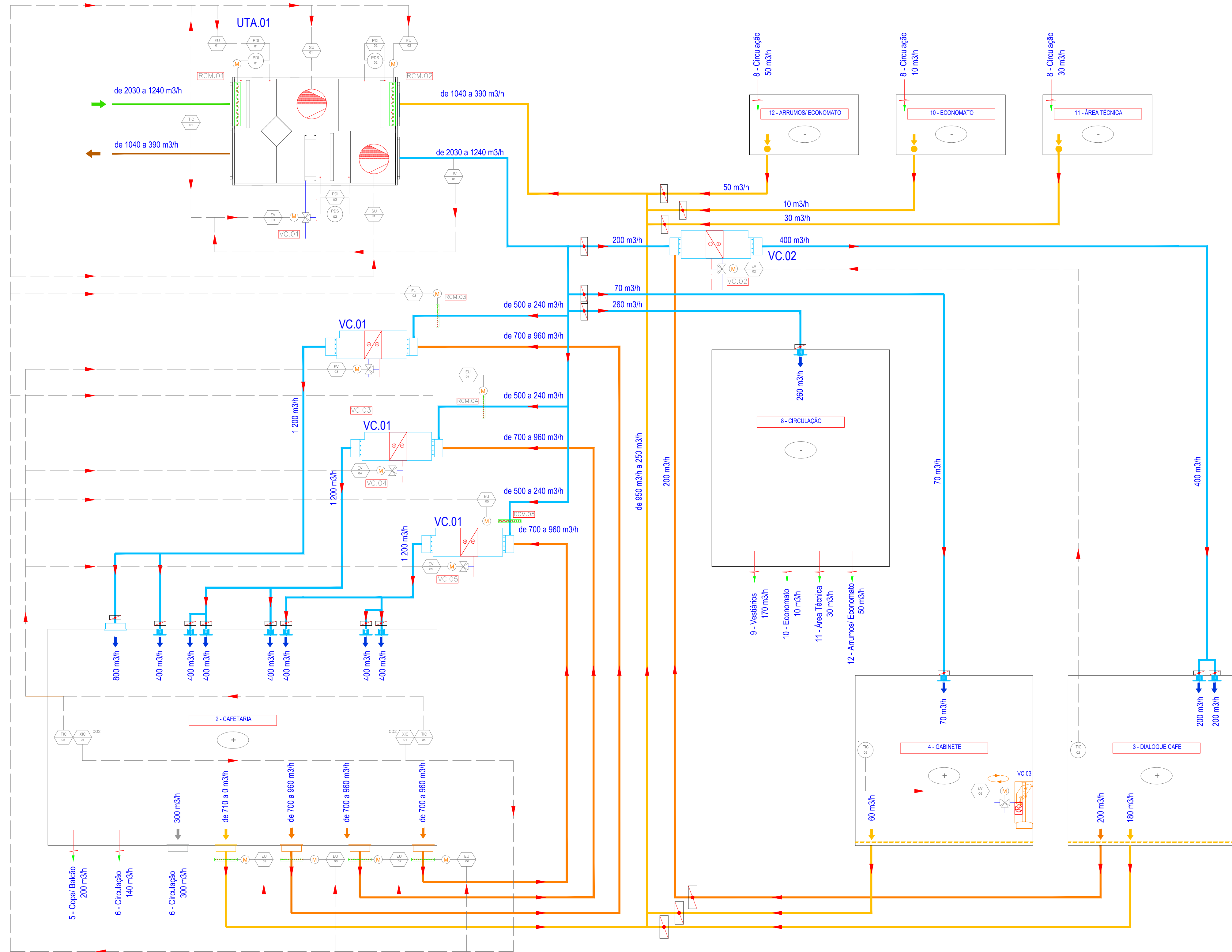
Anexo D.1 – Lista de desenhos

Desenho	Título	Data	Revisão
Esquemas de princípio e diagramas P&ID			
TFM.2013.00	Esquema de princípio da rede aeráutica e diagramas P&ID - UTA e Ventiloinvectores	dezembro de 2013	00
TFM.2013.01	Esquema de princípio da rede aeráutica e diagramas P&ID – Ventiladores	dezembro de 2013	00
TFM.2013.02	Esquema de princípio da rede hidráulica	dezembro de 2013	00
TFM.2013.03	Esquema de princípio - Sistema Solar Térmico	dezembro de 2013	00
Rede aeráutica			
TFM.2013.10	Planta do piso 0	dezembro de 2013	00
TFM.2013.11	Planta de Cobertura	dezembro de 2013	00
Rede hidráulica			
TFM.2013.20	Planta do piso 0	dezembro de 2013	00
Alimentações elétricas			
TFM.2013.30	Planta do piso 0	dezembro de 2013	00
TFM.2013.31	Planta de Cobertura	dezembro de 2013	00
Gestão Técnica Centralizada			
TFM.2013.40	Planta do piso 0	dezembro de 2013	00
TFM.2013.41	Planta de Cobertura	dezembro de 2013	00
Sistema Solar Térmico para produção de AQS			
TFM.2013.50	Planta do piso 0, Planta de Cobertura e Corte	dezembro de 2013	00



Anexo D.2 - Desenhos dos projetos de AVAC e de SST

LEGENDA

	Ar de extração
	Ar de retorno
	Ar de insuflação
	Ar novo
	Ar rejeitado
	Registo de caudal constante
	Atuador
	Válvula de controlo
	Registo de caudal motorizado
	Ventilador com variação de frequência
	Ventilador sem variação
	Visualização no PLC
	Visualização no equipamento
PDI	Indicação de pressão diferencial
SU	Variação de velocidade ou frequência
TIC	Indicação de temperatura, e controlo
XIC	Indicação de concentração de CO2, e controlo
EU	Controlo por tensão elétrica
EV	Controlo de válvula por tensão elétrica

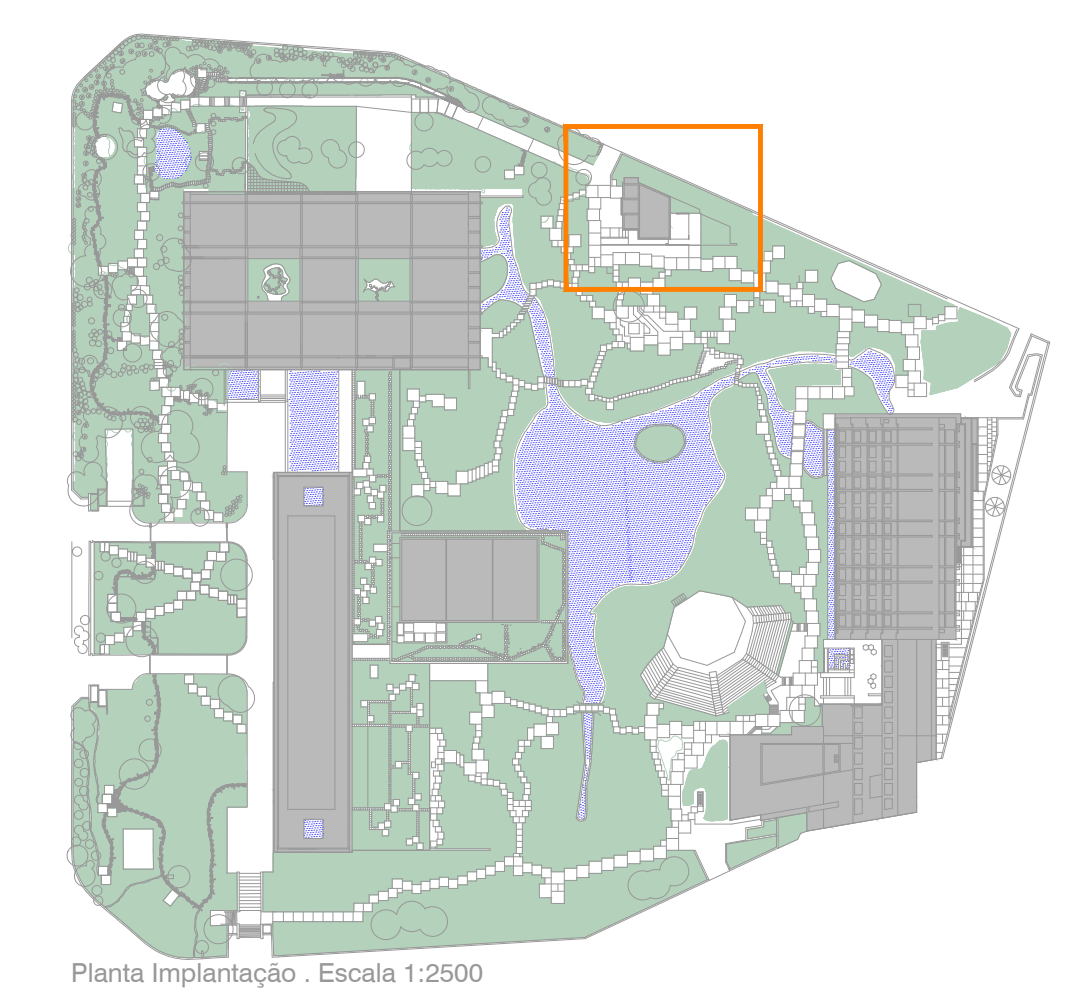
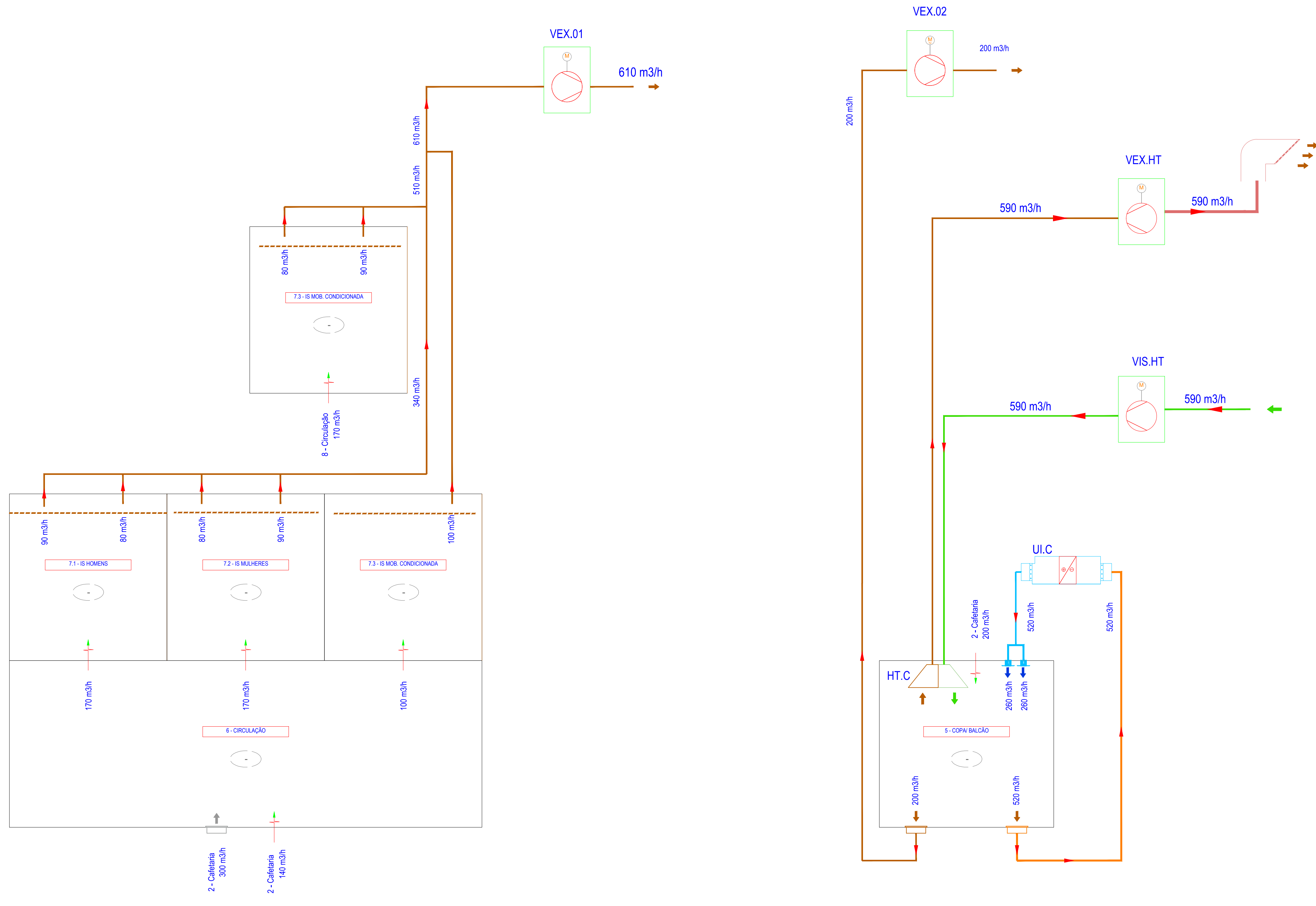


Planta Implantação - Escala 1:2500



Antigo Centro de Iniciação Artística Infantil Cafeteria e Dialogue Café	dezembro 2013
Instalações mecânicas de ventilação e ar condicionado - Esquema de Princípio da rede aeráulica e diagramas P&ID - UTA e ventilosconvetores	TFM.2013.00
Trabalho de Final de Mestrado - Mestrado em Engenharia Mecânica Inês Alves de Frias Pinto, n.º 37951	
Orientadores: Cláudia Sêneca Casaca - Instituto Superior de Engenharia de Lisboa (ISEL) Guilherme Carrilho da Graça - NaturalWorks	 

LEGENDA

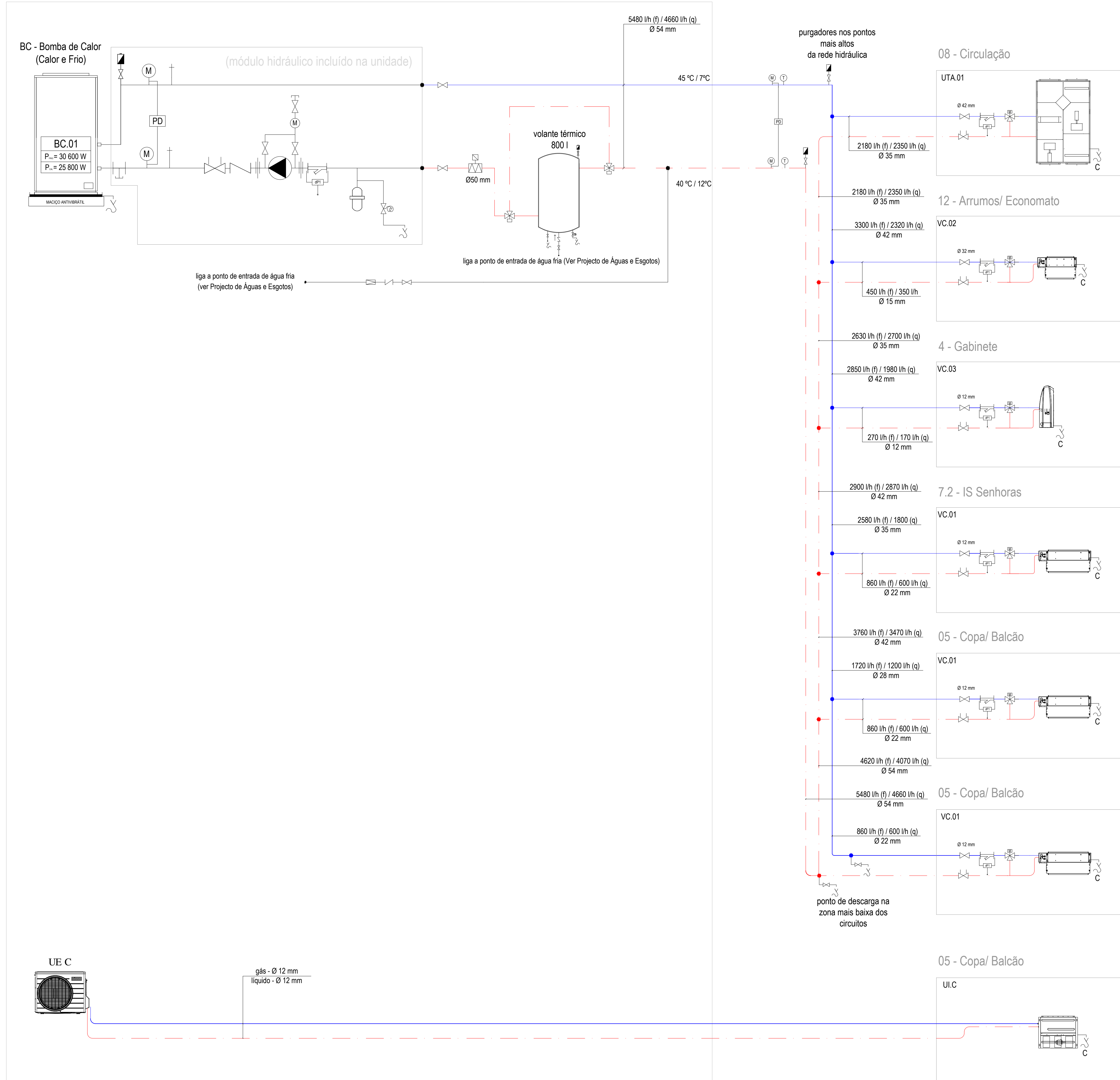
	Ar de extração
	Ar de retorno
	Ar de insuflação
	Ar novo
	Ar rejeitado
	Registo de caudal constante
	Atuador
	Válvula de controlo
	Registo de caudal motorizado
	Ventilador com variação de frequência
	Ventilador sem variação
	Visualização no PLC
	Visualização no equipamento
PDI	Indicação de pressão diferencial
SU	Variação de velocidade ou frequência
TIC	Indicação de temperatura, e controlo
XIC	Indicação de concentração de CO2, e controlo
EU	Controlo por tensão elétrica
EV	Controlo de válvula por tensão elétrica



Planta Implantação - Escala 1:2500

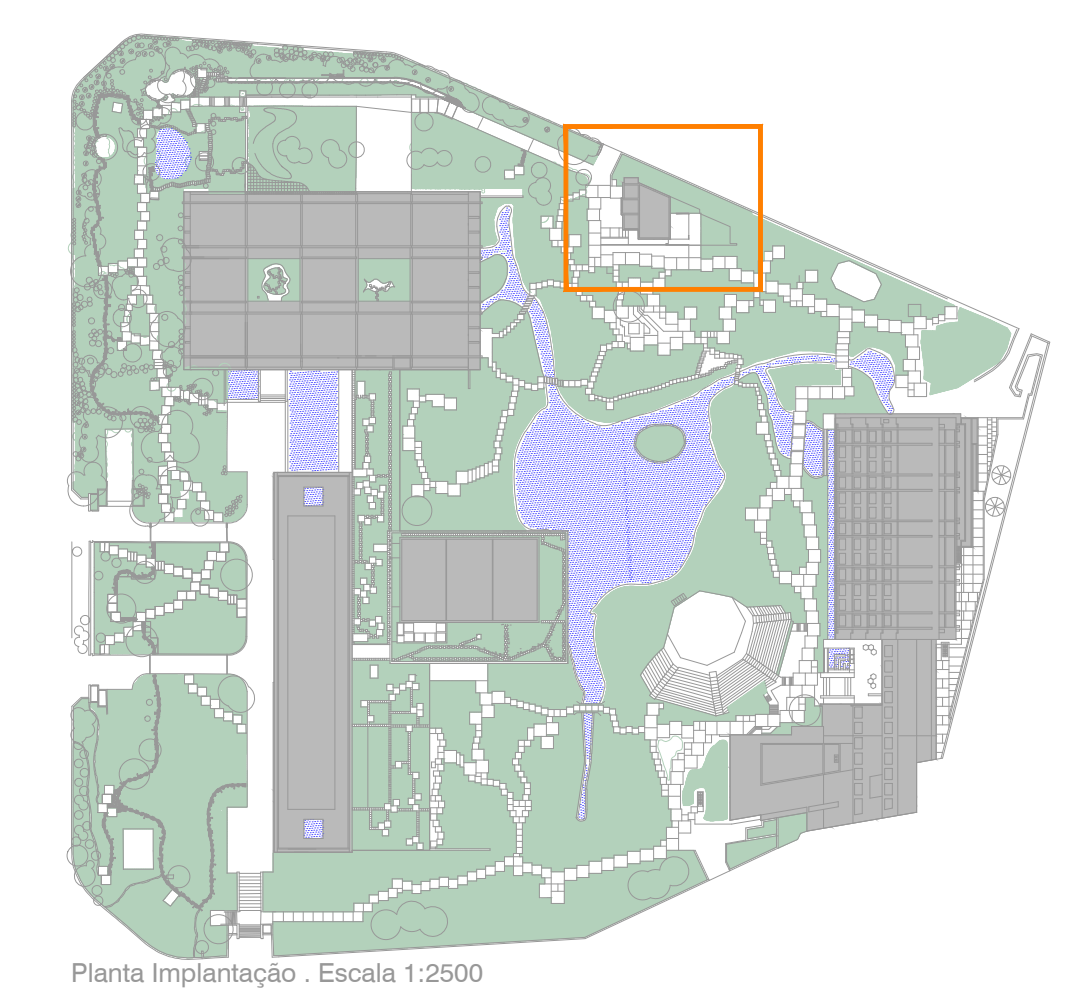
Antigo Centro de Iniciação Artística Infantil Cafeteria e Dialogue Café	dezembro 2013
Instalações mecânicas de ventilação e ar condicionado - Esquema de Princípio da rede aerúlica e diagramas P&ID - Ventiladores	TFM.2013.01
Trabalho de Final de Mestrado - Mestrado em Engenharia Mecânica Inês Alves de Frias Pinto, n.º 37951	
Orientadores: Cláudia Sêneca Casaca - Instituto Superior de Engenharia de Lisboa (ISEL) Guilherme Carrilho da Graça - NaturalWorks	 

Área Técnica



LEGENDA

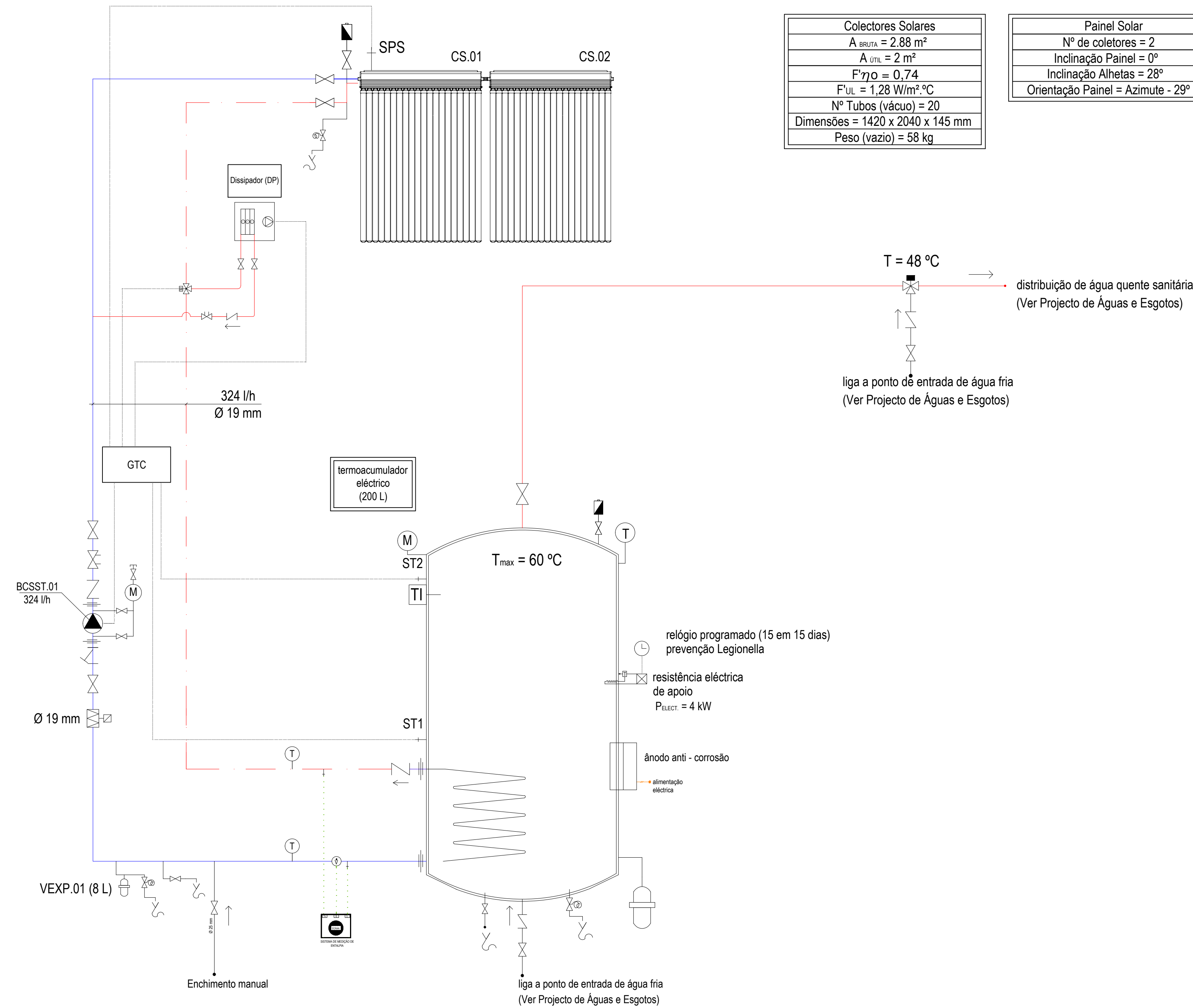
	Válvula de Corte
	Filtro tipo "Y"
	Válvula de Retenção
	Válvula de segurança
	Válvula de Regulação
	Valvula Motorizada 3 vias
	Válvula de 3 vias (protecção térmica)
	Válvula de 3 vias manual
	Válvula motorizada de 2 vias
	Válvula de Enchimento
	Válvula Balanceadora
	Purgador de Ar
	Bomba de circulação
	Vaso de Expansão
	Termómetro
	Manómetro
	Esgoto Sifonado
	Junta anti-vibrátil
	Tampão macho
	Sonda de Temperatura
	Separador de Ar
	circuito de ida
	circuito de retorno



Antigo Centro de Iniciação Artística Infantil Cafeteria e Dialogue Café	dezembro 2013
Instalações mecânicas de ventilação e ar condicionado - Esquema de Princípio da rede hidráulica	TFM.2013.02
Trabalho de Final de Mestrado - Mestrado em Engenharia Mecânica Inês Alves de Frias Pinto, n.º 37951	
Orientadores: Cláudia Sêneca Casaca - Instituto Superior de Engenharia de Lisboa (ISEL) Guilherme Carrilho da Graça - NaturalWorks	

LEGENDA

	Válvula de Corte
	Filtro tipo "Y"
	Válvula de Retenção
	Válvula de segurança
	Válvula de Regulação
	Valvula Motorizada 3 vias
	Válvula de 3 vias (protecção térmica)
	Válvula de 3 vias manual
	Válvula motorizada de 2 vias
	Válvula de Enchimento
	Válvula Balanceadora
	Purgador de Ar
	Bomba de circulação
	Vaso de Expansão
	Termómetro
	Manómetro
	Esgoto Sifonado
	Junta anti-vibrátil
	Tampão macho
	Sonda de Temperatura
	Separador de Ar
	circuito de ida
	circuito de retorno



Colectores Solares
A _{BRUTA} = 2,88 m ²
A _{UTIL} = 2 m ²
F _{η0} = 0,74
F _{UL} = 1,28 W/m ² °C
Nº Tubos (vácuo) = 20
Dimensões = 1420 x 2040 x 145 mm
Peso (vazio) = 58 kg

Painel Solar
Nº de coletores = 2
Inclinação Painel = 0°
Inclinação Alhetas = 28°
Orientação Painel = Azimute - 29°









Planta Implantação - Escala 1:2500

Antigo Centro de Iniciação Artística Infantil Cafetaria e Dialogue Café	dezembro 2013
Esquema de Princípio - Sistema Solar Térmico	TFM.2013.03
Trabalho de Final de Mestrado - Mestrado em Engenharia Mecânica Inês Alves de Frias Pinto, n.º 37951	
Orientadores: Cláudia Sêneca Casaca - Instituto Superior de Engenharia de Lisboa (ISEL) Guilherme Carrilho da Graça - NaturalWorks	

LEGENDA

-  válvula de extração
-  difusores lineares
-  grelha de parede
-  grelha de teto
-  hotte compensada
-  ventiloconvetor chão
-  ventiloconvetor de conduta
-  unidade interior (monosplit)
-  unidade de tratamento de ar
-  bomba de calor
-  unidade exterior (monosplit)
-  atenuador acústico
-  porta de visita
-  registo corta-fogo
-  registo térmico
-  válvula anti-retorno
-  registo de caudal
-  ventilador de cobertura
-  ventilador com caixa de filtragem

-  ar novo
-  insuflação
-  retorno
-  extração
-  rejeição
-  transferência

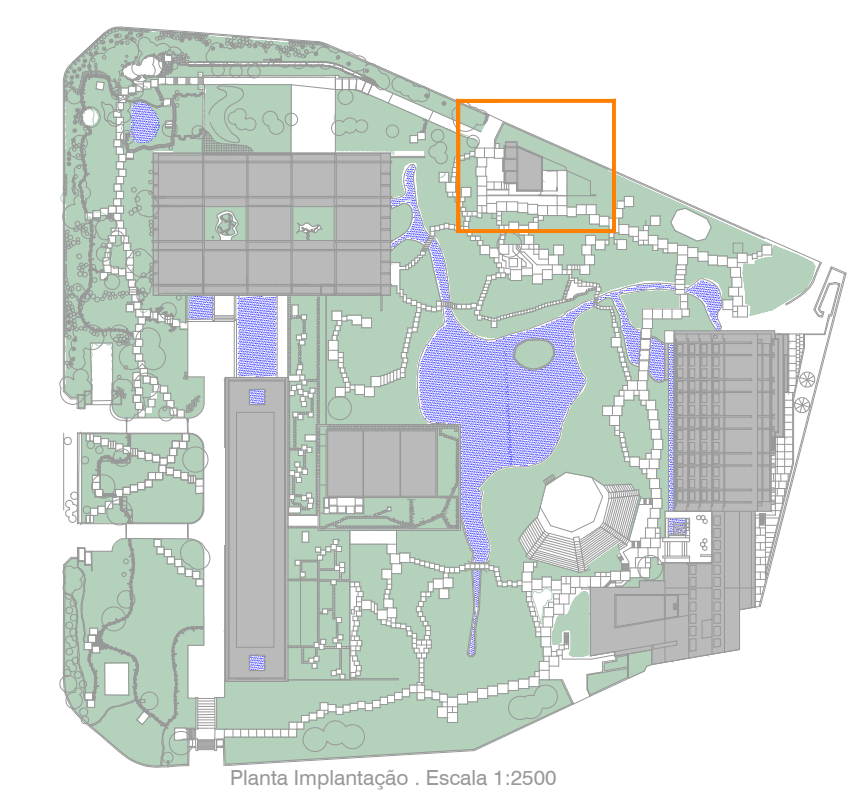
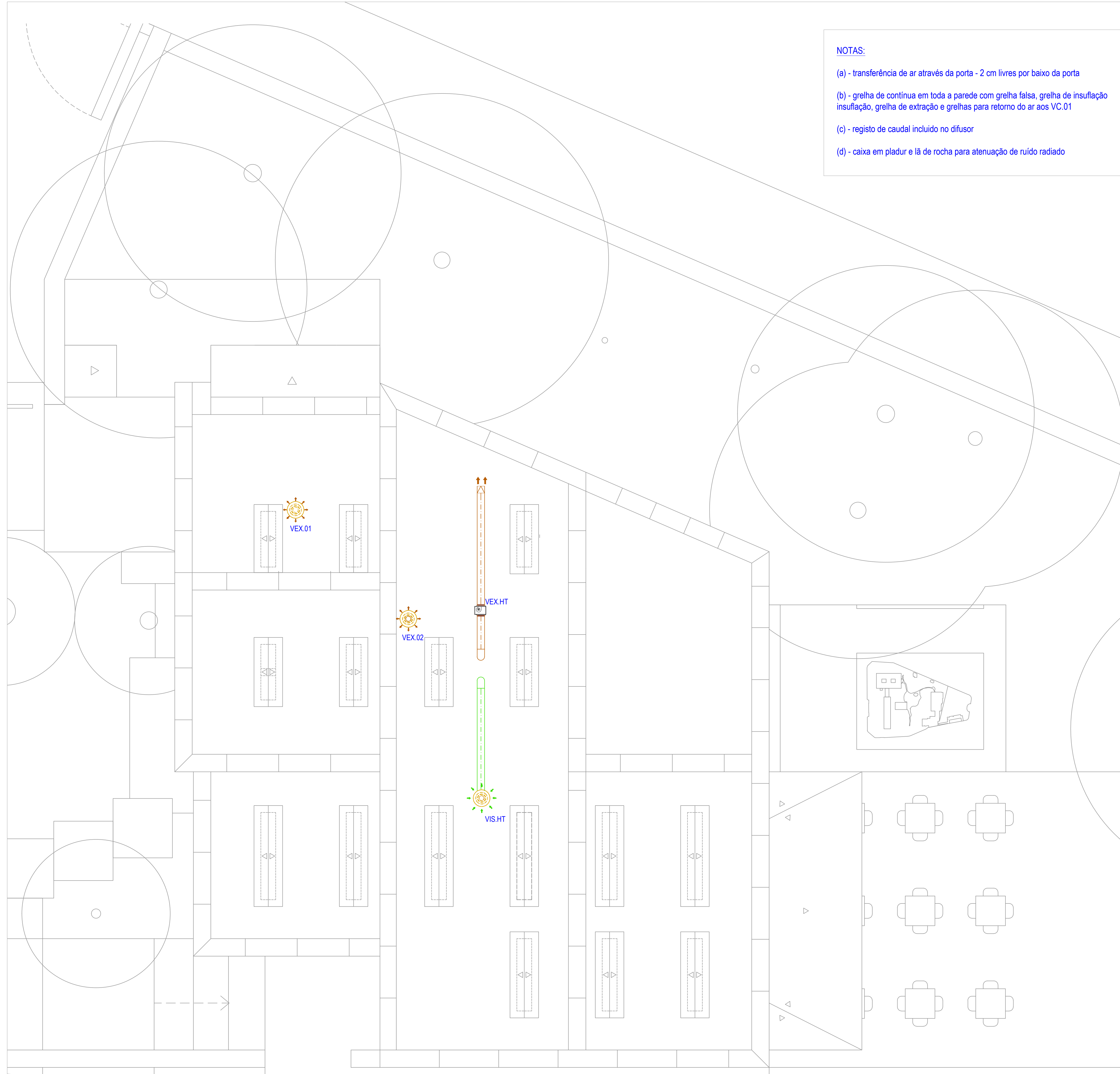
NOTAS:



(a) - transferência de ar através da porta - 2 cm livres por baixo da porta

(b) - grelha de contínua em toda a parede com grelha falsa, grelha de insuflação insuflação, grelha de extração e grelhas para retorno do ar aos VC.01

(c) - registo de caudal incluído no difusor

(d) - caixa em pladur e lâ de rocha para atenuação de ruído radiado





Antigo Centro de Iniciação Artística Infantil Cafetaria e Dialogue Café	dezembro 2013
Instalações mecânicas de ventilação e ar condicionado - Rede aeráulica - Planta de Cobertura	TFM.2013.11
Trabalho de Final de Mestrado - Mestrado em Engenharia Mecânica Inês Alves de Frias Pinto, n.º 37951	ESC 1:100
Orientadores: Cláudia Sêneca Casaca - Instituto Superior de Engenharia de Lisboa (ISEL) Guilherme Carrilho da Graça - NaturalWorks	 





LEGENDA

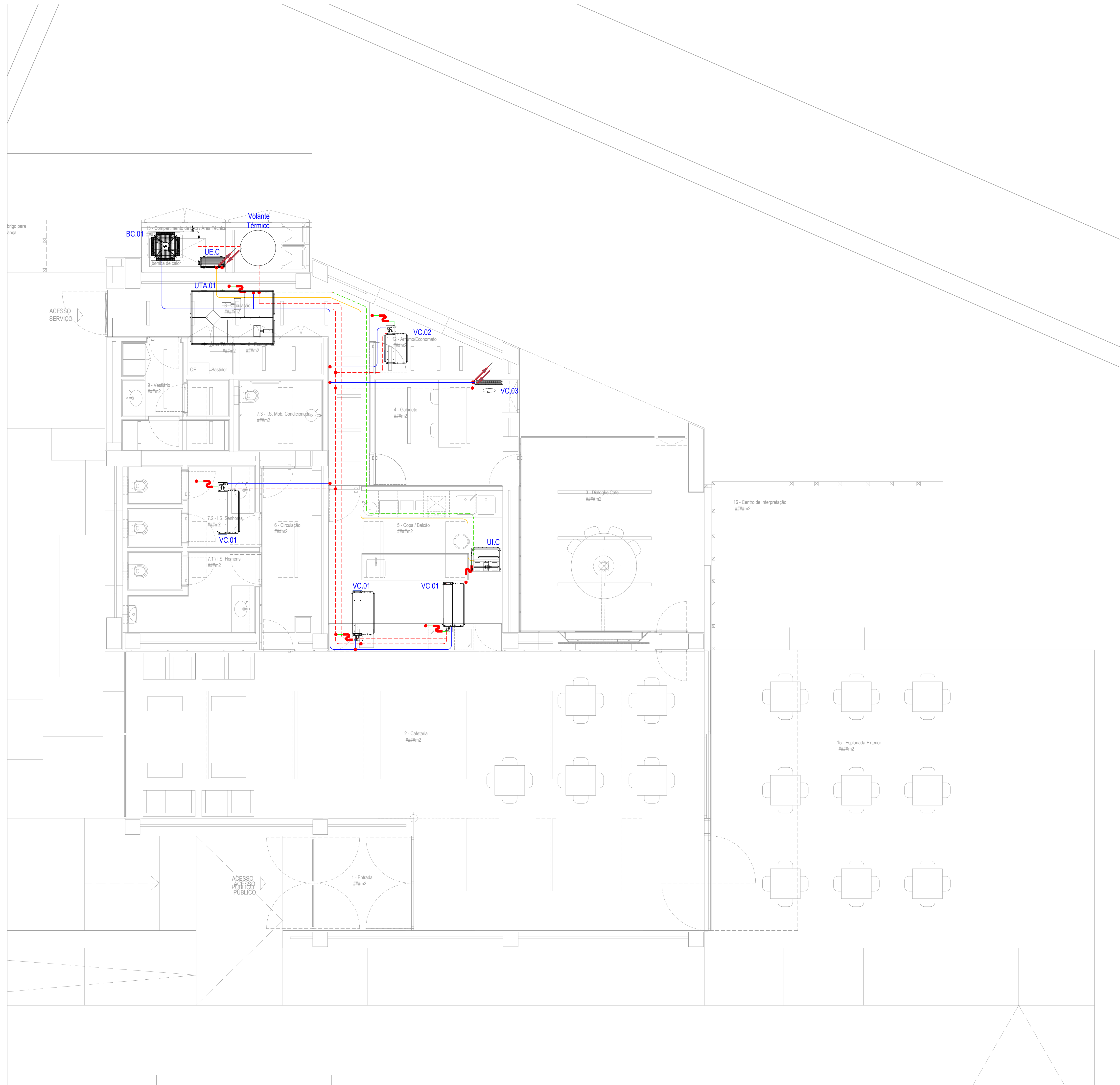
-  bomba de calor
-  unidade exterior (monosplit)
-  unidade de tratamento de ar
-  ventiloconvetor chão
-  ventiloconvetor de conduta
-  unidade interior (monosplit)
-  volante térmico
-  descarga de condensados

circuito a água (dois tubos)


-  ida
-  retorno

circuito expansão direta

-  ida
-  retorno


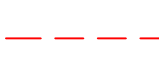


Planta Implantação - Escala 1:2500

Antigo Centro de Iniciação Artística Infantil Cafeteria e Dialogue Café	dezembro 2013
Instalações mecânicas de ventilação e ar condicionado - Rede hidráulica - Planta do Piso 0	TFM.2013.20
Trabalho de Final de Mestrado - Mestrado em Engenharia Mecânica Inês Alves de Frias Pinto, n.º 37951	ESC 1:100
Orientadores: Cláudia Sêneca Casaca - Instituto Superior de Engenharia de Lisboa (ISEL) Guilherme Carrilho da Graça - NaturalWorks	


LEGENDA

-  unidade de tratamento de ar
-  bomba de calor
-  unidade exterior (monosplit)
-  ventiloconvetor chão
-  ventiloconvetor de conduta
-  unidade interior (monosplit)
-  dissipador de calor
-  registo corta-fogo
-  registo de caudal
-  ventilador de cobertura
-  ventilador com caixa de filtragem
-  display
-  central de GTC
-  quadro elétrico

- alimentações elétricas
-  conjunto de cabos
 -  único cabo


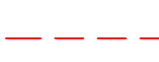


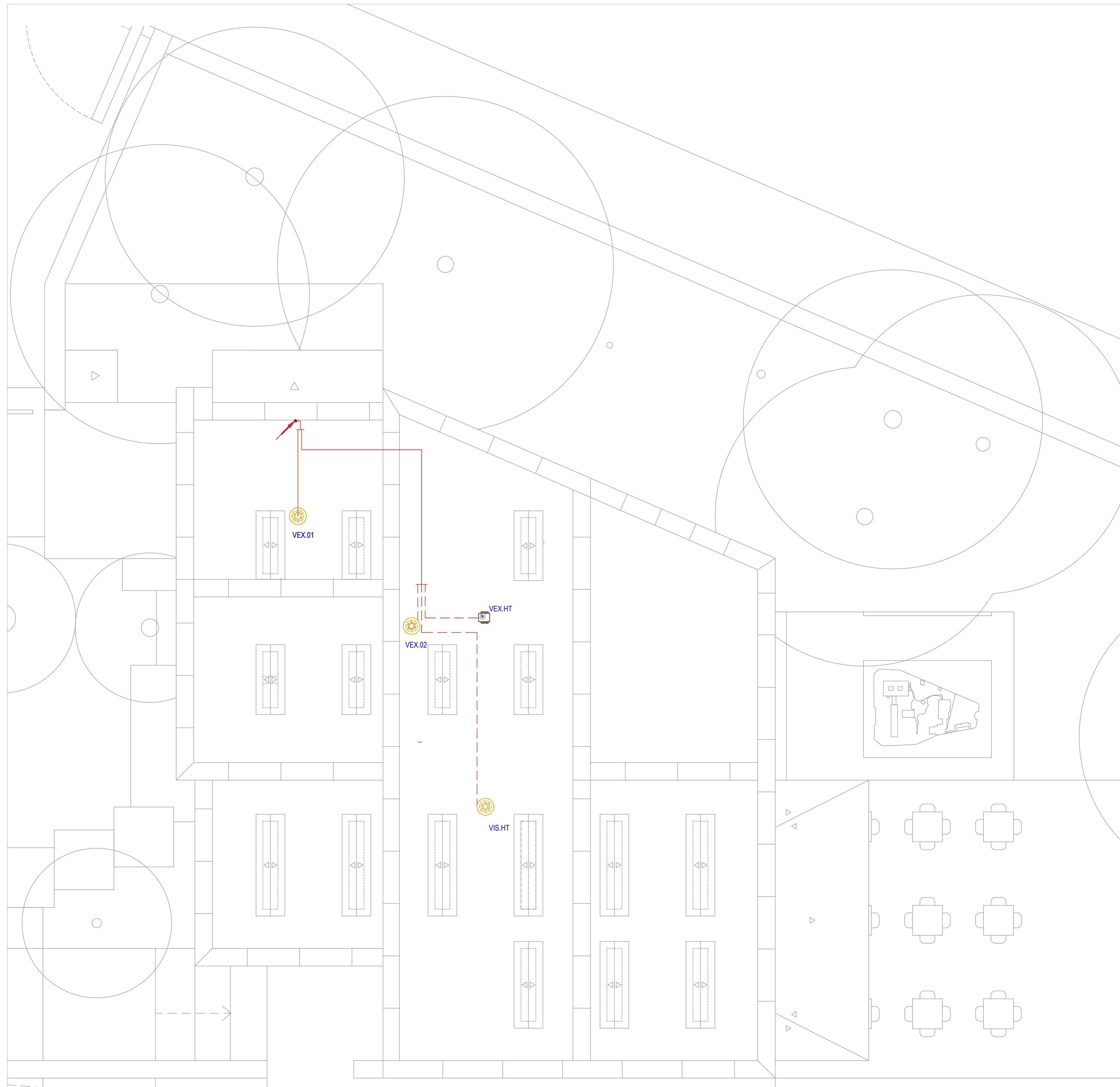
Planta Implantação - Escala 1:2500

Antigo Centro de Iniciação Artística Infantil Cafetaria e Dialogue Café	dezembro 2013
Instalações mecânicas de ventilação e ar condicionado - Alimentações elétricas - Planta do piso 0	TFM.2013.30
Trabalho de Final de Mestrado - Mestrado em Engenharia Mecânica Inês Alves de Frias Pinto, n.º 37951	ESC 1:100
Orientadores: Cláudia Sêneca Casaca - Instituto Superior de Engenharia de Lisboa (ISEL) Guilherme Carrilho da Graça - NaturalWorks	

LEGENDA



-  unidade de tratamento de ar
-  bomba de calor
-  unidade exterior (monosplit)
-  ventiloconvetor chão
-  ventiloconvetor de conduta
-  unidade interior (monosplit)
-  dissipador de calor
-  registo corta-fogo
-  registo de caudal
-  ventilador de cobertura
-  ventilador com caixa de filtragem
-  display
-  central de GTC
-  quadro elétrico

- alimentações elétricas
-  conjunto de cabos
 -  único cabo



Planta Implantação - Escala 1:2500





Antigo Centro de Iniciação Artística Infantil Cafeteria e Dialogue Café	dezembro 2013
Instalações mecânicas de ventilação e ar condicionado - Alimentações elétricas - Planta de Cobertura	TFM.2013.31
Trabalho de Final de Mestrado - Mestrado em Engenharia Mecânica Inês Alves de Frias Pinto, n.º 37951	ESC 1:100
Orientadores: Cláudia Sêneca Casaca - Instituto Superior de Engenharia de Lisboa (ISEL) Guilherme Carrilho da Graça - NaturalWorks	 

LEGENDA



-  coletor solar térmico
-  unidade de tratamento de ar
-  bomba de calor
-  unidade exterior (monosplit)
-  ventiloconvetor chão
-  ventiloconvetor de conduta
-  unidade interior (monosplit)
-  dissipador de calor
-  registo de caudal
-  termostato
-  sonda de CO2
-  sonda de temperatura
-  display
-  central de GTC
-  quadro elétrico

Gestão Técnica Centralizada

Inputs:

-  conjunto de cabos
-  único cabo


Outputs:

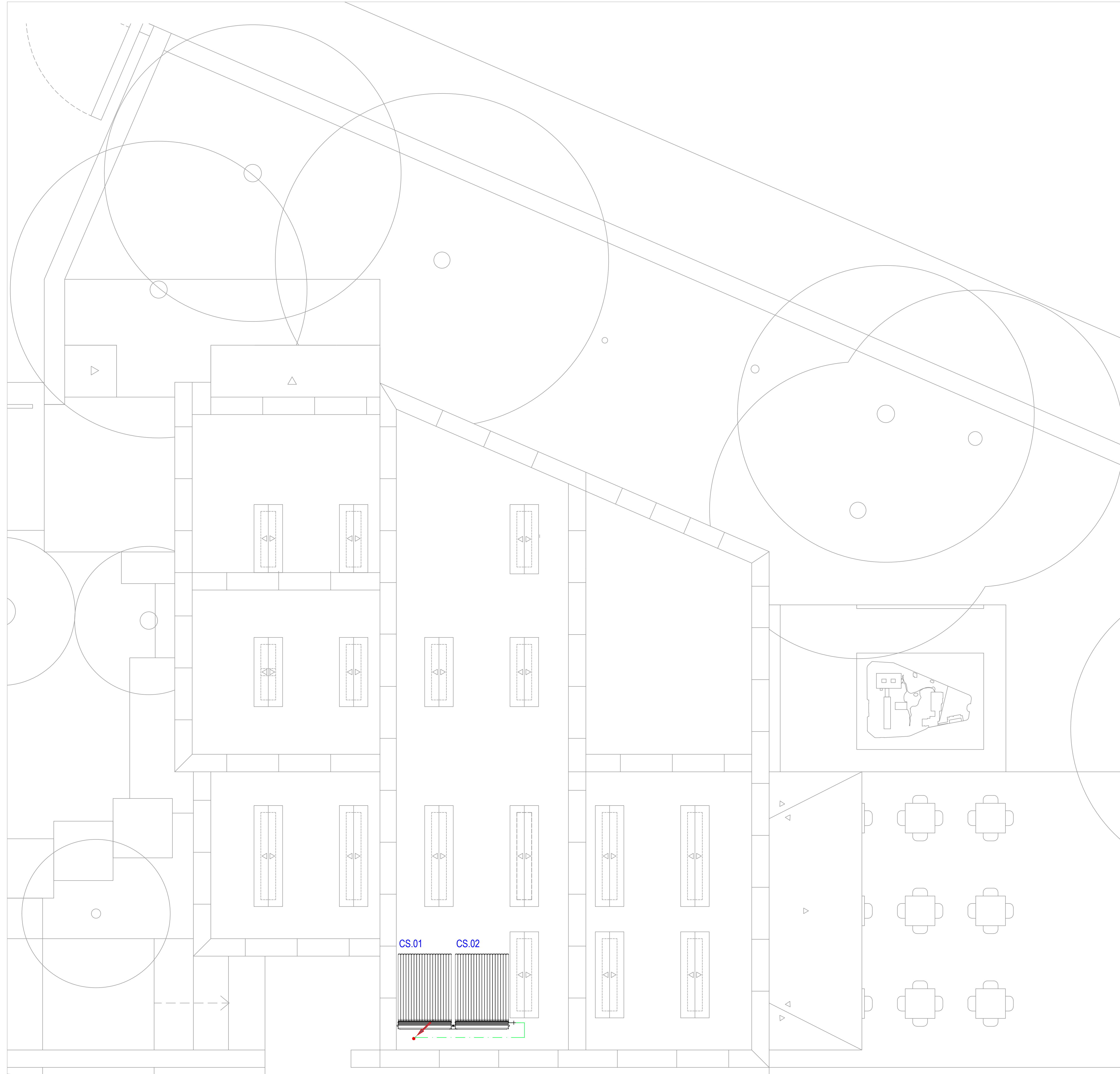
-  conjunto de cabos
-  único cabo



Planta Implantação - Escala 1:2500



Antigo Centro de Iniciação Artística Infantil Cafeteria e Dialogue Café	dezembro 2013
Instalações mecânicas de ventilação e ar condicionado - Gestão Técnica Centralizada - Planta do piso 0	TFM.2013.40
Trabalho de Final de Mestrado - Mestrado em Engenharia Mecânica Inês Alves de Frias Pinto, n.º 37951	ESC 1:100
Orientadores: Cláudia Sêneca Casaca - Instituto Superior de Engenharia de Lisboa (ISEL) Guilherme Carrilho da Graça - NaturalWorks	





LEGENDA



-  coletor solar térmico
-  unidade de tratamento de ar
-  bomba de calor
-  unidade exterior (monosplit)
-  ventiloconvetor chão
-  ventiloconvetor de conduta
-  unidade interior (monosplit)
-  dissipador de calor
-  registo de caudal
-  termostato
-  sonda de CO2
-  sonda de temperatura
-  display
-  central de GTC
-  quadro elétrico

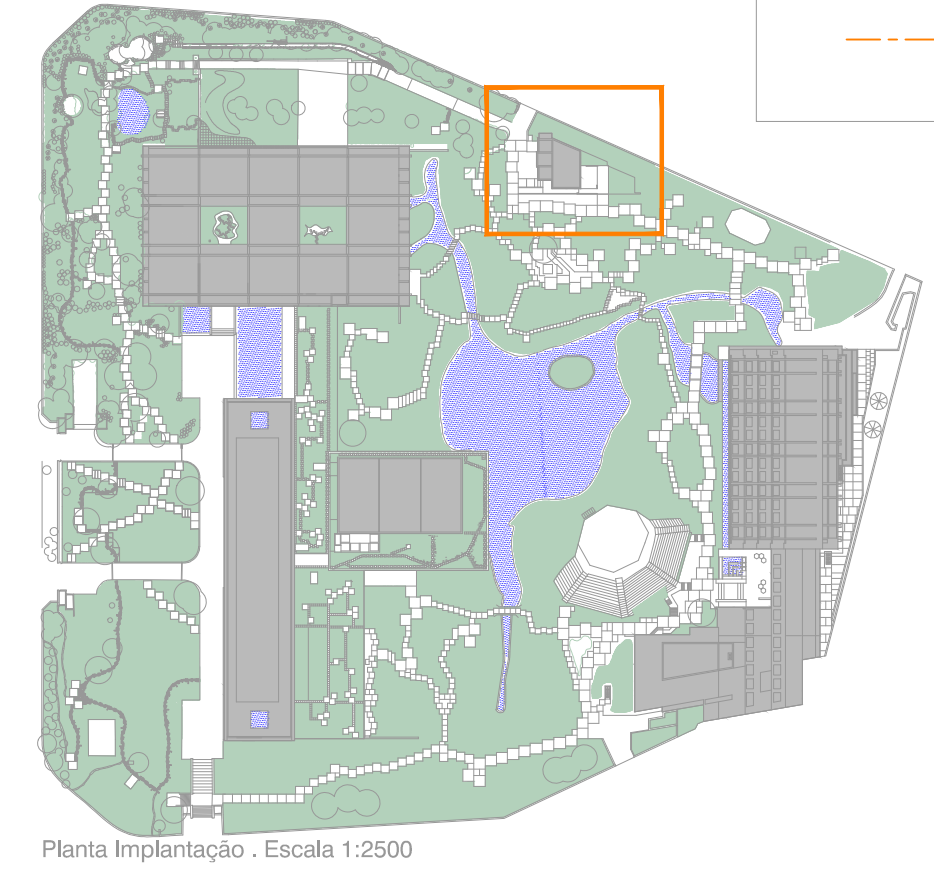
Gestão Técnica Centralizada

Inputs:



-  conjunto de cabos
-  único cabo

Outputs:

-  conjunto de cabos
-  único cabo





Planta Implantação - Escala 1:2500

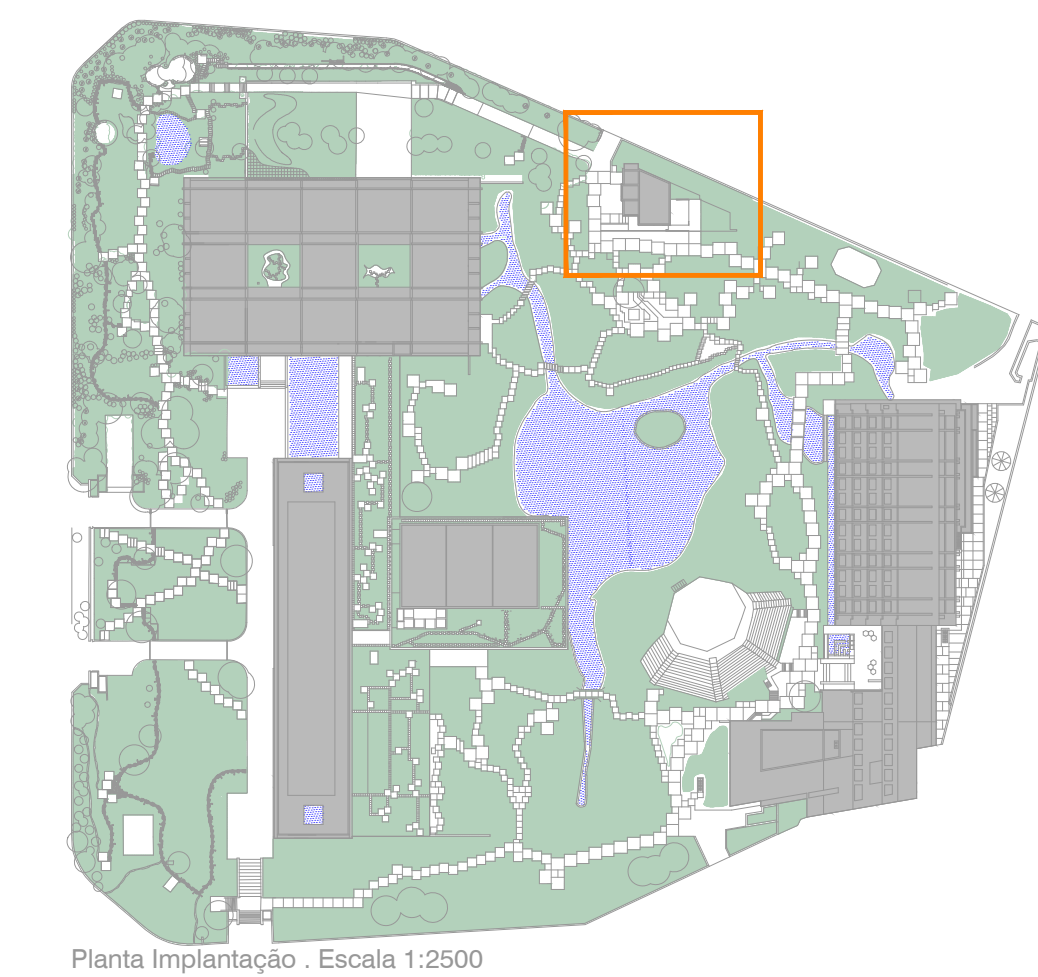
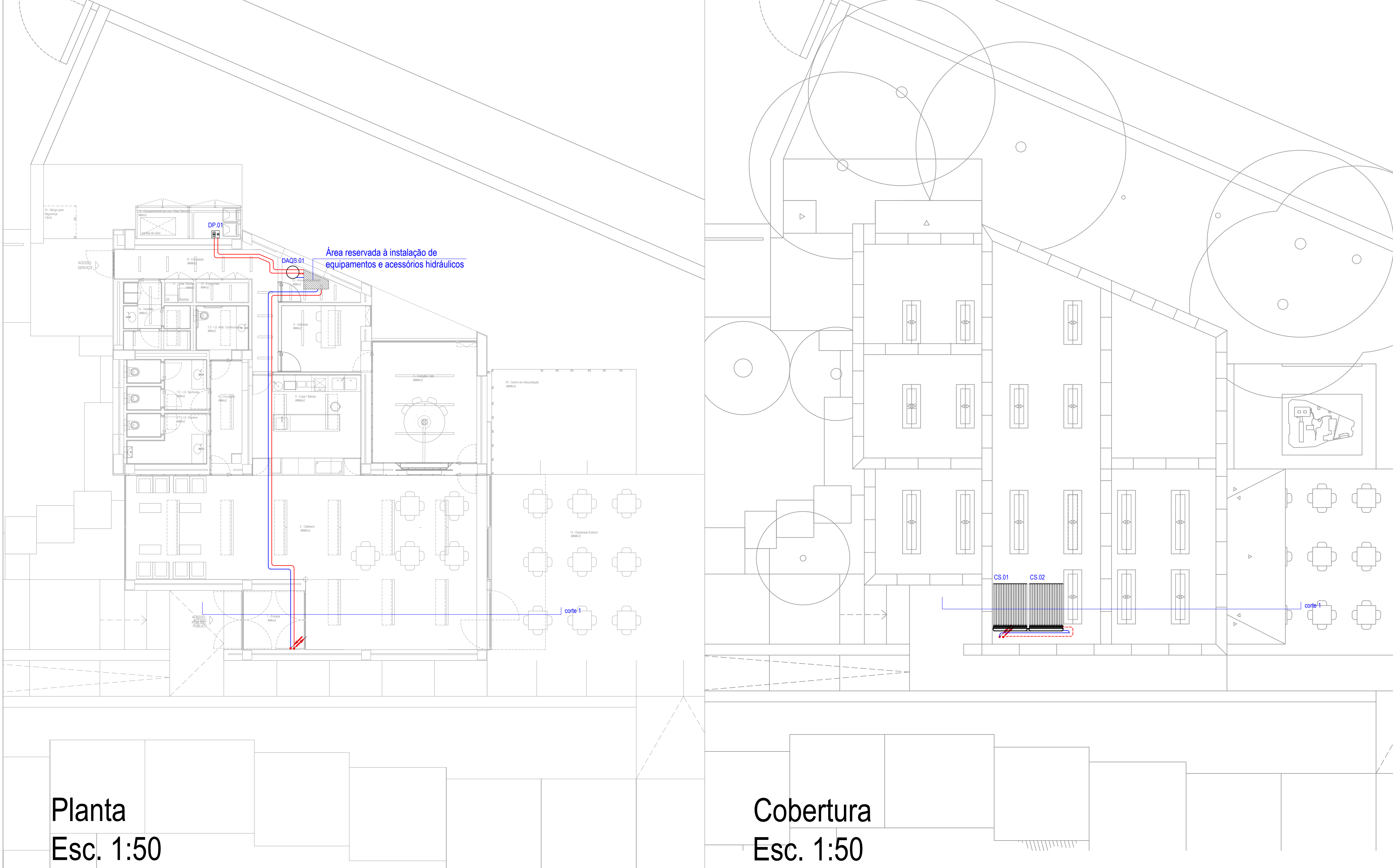
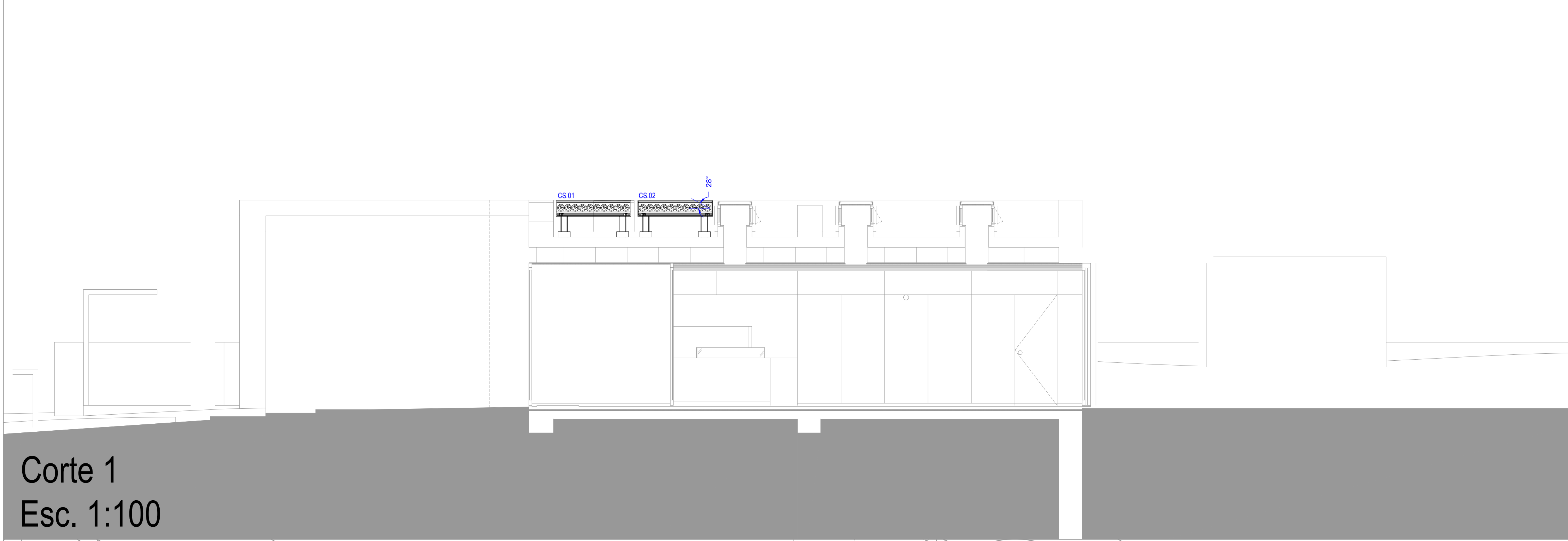
Antigo Centro de Iniciação Artística Infantil Cafetaria e Dialogue Café	dezembro 2013
Instalações mecânicas de ventilação e ar condicionado - Gestão Técnica Centralizada - Planta de Cobertura	TFM.2013.41
Trabalho de Final de Mestrado - Mestrado em Engenharia Mecânica Inês Alves de Frias Pinto, n.º 37951	ESC 1:100
Orientadores: Cláudia Sêneca Casaca - Instituto Superior de Engenharia de Lisboa (ISEL) Guilherme Carrilho da Graça - NaturalWorks	 


LEGENDA

-  coletor solar termico
-  depósito de AQS
-  dissipador de calor

circuito primário do SST

-  ida aos coletores
-  retorno dos coletores



Antigo Centro de Iniciação Artística Infantil Cafeteria e Dialogue Café	dezembro 2013
Sistema Solar Térmico para produção de AQS	TFM.2013.50
Trabalho de Final de Mestrado - Mestrado em Engenharia Mecânica Inês Alves de Frias Pinto, n.º 37951	ESC -
Orientadores: Cláudia Séneca Casaca - Instituto Superior de Engenharia de Lisboa (ISEL) Guilherme Carrilho da Graça - NaturalWorks	

Anexo E

Anexo E.1 – Resumo de *inputs* de simulação em condições nominais

Designação	nº ocup	Q _{ins} (m ³ /h)	Q _{ext} (m ³ /h)	Carga de ocupação (lat.+sens.) (W/ocup.)	Densidade de Iluminação (Wm ²)	Densidade de equipamentos (Wm ²)	Infiltrações (RPH)
Cafetaria	18,6	930	196	160	7,4	30	0,85/ 2,3
Dialogue Cafe	4,68	234	211	132	11,5	30	0,85
Gabinete	1,9	95	86	132	21,1	30	0,85
Copa/ Balcão	3,94	-	200	220	8,1	30	0,75
Circulação	-	-	-	-	8,3	30	0,75
IS Homens	-	-	-	170	16,1	30	0,75
IS Senhoras	-	-	-	170	16,3	30	0,75
IS Mob. Condicionada	-	-	-	100	31,7	30	0,75
Circulação	-	260	-	-	13,8	30	0,85
Vestiários	-	-	-	170	22,5	30	0,75
Economato	-	-	-	10	66,7	30	0,75
Área técnica	-	-	-	30	0	30	0,75
Arrumos/ Economato	-	-	-	50	21,1	30	0,75

Anexo E.2 – Cálculo do fator de forma do edifício

O fator de forma (FF) é um valor que indica a relação entre a área de envolvente (exterior e com zonas não úteis) do edifício e o seu volume. De acordo com o RCCTE [5], é determinado recorrendo à seguinte equação:

$$FF = \frac{[A_{ext} + \sum \tau A_{int}]}{V}$$

Onde A_{ext} é a área de envolventes exteriores em m^2 , A_{int} a área de envolventes interiores (entre espaços úteis e espaços não úteis) em m^2 , τ é definido no anexo IV do RCCTE [5] e V é o volume do edifício em m^3 .

O edifício em estudo não apresenta envolventes interiores, o FF calculado foi 0,73, conforme apresentado na Tabela E.1.

Tabela E.1 – Cálculo do fator de forma do edifício

Paredes exteriores (m^2)	109
Coberturas exteriores (m^2)	203
Pavimentos exteriores (m^2)	0
Envidraçados exteriores (m^2)	72
Paredes interiores (m^2)	0
Coberturas interiores (m^2)	0
Pavimentos interiores (m^2)	0
Envidraçados interiores (m^2)	0
Área total de envolventes (m^2):	384
Volume (m^3)	526
Fator de Forma	0,73

Anexo E.3 – Estimativa do número anual de horas de funcionamento da bomba de circulação do SST

A temperatura máxima de acumulação no depósito de AQS são 85°C (valor de catálogo para o equipamento selecionado) e pretende-se que o circuito primário do SST entre em funcionamento quando a água reservada atingir a temperatura mínima de 60°C (valor de referência para consumo de AQS referido no RCCTE [5]). A potência do permutador interno do depósito calculada para ΔT de 25 °C (85-60 °C) foi 7,7 kW.

Foi definido em projeto que o SST funcionará com caudal constante e que o fluido térmico é uma mistura de água com glicol a 25%, com $\rho = 986 \text{ kg/m}^3$ e $C_p = 4,050 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}$. Com estes dados, foi possível determinar o ΔT do fluido térmico no permutador.

$$P = Q \times \rho \times C_p \times \Delta T$$

$$7700 \text{ w} = 0,00009 \text{ m}^3/\text{s} \times 986 \text{ kg/m}^3 \times 4050 \text{ ws/kg}^\circ\text{C} \times \Delta T$$

$$\Delta T = 13^\circ\text{C}$$

Conhecendo a energia fornecida anualmente pelo SST, apresentada no relatório do *Solterm*, estimou-se o volume total de fluido térmico que circula no primário anualmente:

$$E = V \times \rho \times C_p \times \Delta T$$

$$10684800000 \text{ ws} = V \times 986 \text{ kg/m}^3 \times 4050 \text{ ws/kg}^\circ\text{C} \times 13^\circ\text{C}$$

$$V = 125 \text{ m}^3$$

O número de horas de funcionamento da bomba de circulação do SST foi estimado dividindo o volume total de fluido circulado anualmente pelo caudal horário de circulação.

$$n^{\circ} \text{ de de funcionamento da bomba de circulação} = \frac{V_{\text{anual}}(m^3)}{Q_{\text{horário}}(m^3/h)}$$

$$n^{\circ} \text{ de horas de funcionamento da bomba de circulação} = \frac{125 m^3}{0,324 m^3/h}$$

$$n^{\circ} \text{ de horas de funcionamento da bomba de circulação} = 387 \text{ horas}$$

Anexo E.4 – Cálculo de IEEs

Tabela E.2 – Simulação em *HAP*, UTA com caudal constante, com recuperação de calor

	h/ano	potência W ou densidade W/m ²	A m ²	Energia kWh/ano	Eletricidade kWh/ano	IEE kgep/m ² . ano
Iluminação						
Pronto-a-comer	5785	10,9	203	12826	12826	18,32

Equipamento						
Ventilação Copa	6500	8	20	1040	1040	1,49
Equipamento Copa	6500	250	20	32013	32013	45,73
Ventilação mecânica (extração)	6570	120	-	788	788	1,13
Equipamento Pronto-a-comer	6570	30	183	36128	36128	51,61
Produção de AQS				1229	1229	1,76
Bomba de circulação do SST	387	20	-	7,74	7,74	0,01

Produção Térmica						
Arrefecimento – geral				21309	8493	6,07
Aquecimento - geral				8178,1	3236	3,93
Arrefecimento – copa				34672,8	10253	7,32
Aquecimento - copa				0	0,00	0,00

Outros consumos						
Ventiladores em Arrefecimento				10277,7	10278	7,34
Ventiladores em Aquecimento				6956,4	6956	8,45
Ventiladores – ar novo				103,4	103	0,00

IEE	153,74
Classe Energética	B

Tabela E.3 – Simulação em *HAP*, UTA com caudal constante, sem recuperação de calor

	horas/ano	potência W ou densidade W/m ²	A m ²	Energia kWh/ano	Eletricidade kWh/ano	IEE kgep/m ² . ano
Iluminação						
Pronto-a-comer	5785	10,9	203	12826	12826	18,32

Equipamento						
Ventilação Copa	6500	8	20	1040	1040	1,49
Equipamento Copa	6500	250	20	32013	32013	45,73
Ventilação mecânica (extração)	6570	120	-	788	788	1,13
Equipamento Pronto-a-comer	6570	30	183	36128	36128	51,61
Produção de AQS				1229	1229	1,76
Bomba de circulação do SST	387	20	-	7,74	7,74	0,01

Produção Térmica						
Arrefecimento – geral				20793	8287	5,92
Aquecimento - geral				13567,3	5368	6,52
Arrefecimento – copa				34672,8	10253	7,32
Aquecimento - copa				0	0,00	0,00

Outros consumos						
Ventiladores em Arrefecimento				9395,5	9396	6,71
Ventiladores em Aquecimento				7880,4	7880	9,57
Ventiladores – ar novo				61,6	62	0,00

IEE	156,62
Classe Energética	B

Tabela E.4 – Simulação em *Energyplus*, UTA com caudal constante, com recuperação de calor

	h/ano	potência W ou densidade W/m ²	A m ²	Energia kWh/ano	Eletricidade kWh/ano	IEE kgep/m ² . ano
Iluminação						
Pronto-a-comer	5785	10,9	203	12826	12826	18,32

Equipamento						
Ventilação Copa	6500	8	20	1040	1040	1,49
Equipamento Copa	6500	250	20	32013	32013	45,73
Ventilação mecânica (extração)	6570	120	-	788	788	1,13
Equipamento Pronto-a-comer	6570	30	183	36128	36128	51,61
Produção de AQS				1229	1229	1,76
Bomba de circulação do SST	387	20	-	7,74	7,74	0,01

Produção Térmica						
Arrefecimento – geral				19258	6978	4,98
Aquecimento - geral				18181	6540	7,94
Arrefecimento – copa				22087	5937	4,24
Aquecimento - copa				0	0,00	0,00

Outros consumos						
Ventiladores em Arrefecimento				8451	8451	6,04
Ventiladores em Aquecimento				8029	8029	9,75
Ventiladores – ar novo				0	0	0,00

IEE	153,00
Classe Energética	B

Tabela E.5 – Simulação em HAP, UTA com caudal variável, com recuperação de calor

	h/ano	potência W ou densidade W/m ²	A m ²	Energia kWh/ano	Eletricidade kWh/ano	IEE kgep/m ² .ano
Iluminação						
Pronto-a-comer	5785	10,9	203	12826	12826	18,32

Equipamento						
Ventilação Copa	6500	8	20	1040	1040	1,49
Equipamento Copa	6500	250	20	32013	32013	45,73
Ventilação mecânica (extração)	6570	120	-	788	788	1,13
Equipamento Pronto-a-comer	6570	30	183	36128	36128	51,61
Produção de AQS				1229	1229	1,76
Bomba de circulação do SST	387	20	-	7,74	7,74	0,01

Produção Térmica						
Arrefecimento – geral				23099	9206	6,58
Aquecimento - geral				5648	2234	2,71
Arrefecimento – copa				34672,8	10253	7,32
Aquecimento - copa				0	0,00	0,00

Outros consumos						
Ventiladores em Aquecimento				5100,6	5101	6,19
Ventiladores – ar novo				145	145	0,00

IEE	151,09
Classe Energética	B

Tabela E.6 – Simulação em *HAP*, UTA com caudal variável, sem recuperação de calor

	horas/ano	potência W ou densidade W/m ²	A m ²	Energia kWh/ano	Eletricidade kWh/ano	IEE kgep/m ² . ano
Iluminação						
Pronto-a-comer	5785	10,9	203	12826	12826	18,32

Equipamento						
Ventilação Copa	6500	8	20	1040	1040	1,49
Equipamento Copa	6500	250	20	32013	32013	45,73
Ventilação mecânica (extração)	6570	120	-	788	788	1,13
Equipamento Pronto-a-comer	6570	30	183	36128	36128	51,61
Produção de AQS				1229	1229	1,76
Bomba de circulação do SST	387	20	-	7,74	7,74	0,01

Produção Térmica						
Arrefecimento – geral				22585	9001	6,43
Aquecimento - geral				9859,6	3901	4,74
Arrefecimento – copa				34672,8	10253	7,32
Aquecimento - copa				0	0,00	0,00

Outros consumos						
Ventiladores em Arrefecimento				9802,3	9802	7,00
Ventiladores em Aquecimento				6017,8	6018	7,31
Ventiladores – ar novo				57,4	57	0,00

IEE	153,37
Classe Energética	B