Optimização de energia no sistema de climatização de um centro de processamento de dados, incluindo a utilização de sistemas de arrefecimento gratuito

João Filipe Martins Moreira

Dissertação de Mestrado

Orientador: Eng.º Clito Afonso

U.PORTO
FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO

Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica

Fevereiro de 2017

Para a Marta, os meus pais e irmã por acreditarem em mim

Resumo

A utilização de equipamentos de climatização é cada vez mais frequente, e surgem novas tecnologias para aumentar a eficiência do processo e diminuir os custos de operação dos sistemas de climatização.

Nos centros de processamento de dados, onde o consumo de energia eléctrica é elevado e o arrefecimento ambiente do interior é uma constante, os sistemas de climatização são responsáveis por uma grande parte dos consumos energéticos do edifício. Tendo em conta o tipo de edifício, existem normas para a construção das suas infra-estruturas. Os sistemas de climatização, que fazem parte dessas infra-estruturas, devem portanto obedecer a essas normas.

As novas tecnologias e novos sistemas de climatização, como o arrefecimento gratuito do ar, têm melhorado a eficiência energética dos edifícios, diminuindo os consumos de energia e consequentemente reduzindo as emissões de CO_2 para a atmosfera. O arrefecimento gratuito do ar ou *free-cooling*, baseia-se na utilização total ou parcial do ar exterior para proceder à climatização de um espaço, quando se verificam as condições óptimas, utilizando um controlador que permita gerir a abertura de registos face à temperatura exterior e interior medida.

Com esta base, será analisado um centro de processamento de dados, efectuando o levantamento estrutural e energético do edifício. Posteriormente, e de acordo com os requisitos do utilizador final (cliente) e com as normas vigentes, serão determinadas a potência de arrefecimento necessária e seleccionados dois sistemas de climatização que cumpram esses requisitos. Efectuar-se-á a respectiva implementação no local em estudo, e será determinada a redução, ao nível energético e económico, que cada solução trará à operação da instalação. Para uma melhor análise das soluções, efectuar-se-ão os cálculos de investimento e os respectivos retornos de investimento, bem a determinação dos índices de eficiência energética em cada solução. Este processo irá facilitar a escolha da solução por parte do utilizador final, podendo este, tomar uma decisão de qual sistema mais o beneficia.

Palavras-chave: *Free-Cooling*, eficiência energética, Centro de processamento de dados

Abstract

The use of air conditioning equipment is becoming more frequent, and new technologies are emerging to increase the efficiency of the process and decrease the operating costs of air conditioning systems.

In data centers, where electric power consumption is high and indoor cooling is a constant, the air conditioning systems are responsible for a large part of the building's energy consumption. Considering the type of building, there are standards for the construction of infrastructures. HVAC systems, which form part of these infrastructures, must therefore comply with those standards.

New technologies and new air conditioning systems, such as free cooling, have improved the energy efficiency of buildings, reducing energy consumption and consequently reducing CO_2 emissions into the atmosphere. Free cooling is based on the use of all or part of the outside air to air conditioning a space when the optimum conditions are verified using a controller to manage the opening of registers by measuring the diferencial between the outside and indoor temperature.

With this base, a data center will be analyzed, carrying out the structural and energetic survey of the building. Subsequently, according to the requirements of the customer and current standards, the required cooling power will be determined and two air conditioning systems will be selected that meet these requirements. The respective implementation will be carried out in the place under study, and the reduction, in the energetic and economic level, that each solution will bring to the installation will be determined. For a better analysis of the solutions, the investment calculations and the respective investment returns will be carried out, as well as the determination of the energy efficiency indices in each solution. This process will facilitate the choice of the solution by the customer, who can make a decision on which system benefits him the most.

Keywords: Free-Cooling, Energy Efficiency, Data Center

Agradecimentos

A todas as pessoas, que directa ou indirectamente, contribuíram para a realização deste documento.

Ao meu orientador, Eng.º Clito Afonso, por todo apoio prestado, pelas preciosas recomendações e pela total disponibilidade e compreensão.

Aos meus pais, pelos valores que me transmitiram e por me terem apoiado em todas as decisões.

À Marta, o meu especial agradecimento pelo apoio incansável, paciência extrema e dedicação incondicional.

Índice

1. Introdução 1
1.1 Enquadramento Geral 1
1.2 Motivação 2
1.3 Objectivos 2
1.4 Estrutura do trabalho 2
2. Revisão bibliográfica 4
2.1 Introdução 4
2.2 Regulamentos Energéticos 8
2.3 Centro de processamento de dados 15
2.3.1 Introdução 15
2.3.2 Regulamentos na construção de um centro de processamento de dados 21
2.3.3 Eficiência energética em centros de processamento de dados 35
3. Sistemas de arrefecimento em centros de processamento de dados 38
3.1 Tipos de equipamentos utilizados 38
3.2 Sistemas de distribuição de ar 40
3.2.1 Insuflação e distribuição em pavimento falso (VUF) 41
3.2.2 Insuflação e distribuição no tecto (VOH) 43
3.2.3 Insuflação horizontal (HDP) 45
3.2 Tipos de instalação 46
3.3 Sistemas de arrefecimento gratuito 48
3.4.1 Arrefecimento gratuito do ar 48
3.4.2 Arrefecimento gratuito da água 53
4. Caso de estudo 56
4.1 Índice de Eficiência Energética 56
4.2 Local de estudo 59
4.3 Requisitos do utilizador final 61
4.4 Zona Climática 61
4.5 Características dos elementos da envolvente 63
4.5.1 Paredes exteriores (P1) 65
4.5.2 Paredes interiores (P3 e P5) 66
4.5.3 Paredes interiores (P2 e P4) 67
4.5.4 Cobertura e Pavimento 68
4.5.5 Portas e envidraçados 68

4.6 Correcção de Pontes Térmicas 68
4.7 Inércia Térmica 69
4.8 Caracterização das zonas térmicas 71
4.8.1 Ocupação 71
4.8.2 Iluminação 72
4.8.3 Equipamento 72
4.8.4 Ventilação e caudais de ar novo 73
4.9 Instalação de climatização existente 74
4.10 Consumos eléctricos actuais 74
5. Simulação Térmica 76
5.1 Determinação da actual classe energética 76
5.2 HAP 78
5.2.1 Introdução das condições climatéricas 79
5.2.2 Introdução da radiação solar 80
5.2.3 Introdução dos perfis de utilização 82
5.2.4 Introdução dos aspectos construtivos 83
5.2.5 Introdução do espaço a climatizar 84
5.2.6 Selecção do sistema de climatização 85
5.3 Resultado obtidos 90
6. Dimensionamento do sistema de climatização 93
6.1 Dimensionamento do sistema de climatização – Caso 1 93
6.1.1 Dimensionamento das unidades CRAC tipo CW 93
6.1.2 Dimensionamento das unidades produtoras de água gelada 95
6.1.3 Dimensionamento dos circuitos de água gelada 96
6.1.4 Dimensionamento do sistema de arrefecimento gratuito do ar 103
6.2 Dimensionamento do sistema de climatização – Caso 2 106
6.2.1 Dimensionamento das unidades CRAC tipo DX 107
6.2.2 Dimensionamento das tubgens de fluido frigorigénio 108
6.2.3 Dimensionamento do sistema de arrefecimento gratuito do ar 112
7. Análise económica 114
7.1 Custos de operação da instalação 114
7.1.1 Custos de operação da instalação – Caso 1 114
7.1.2 Custos de operação da instalação – Caso 2 116
7.1.3 Comparação dos custos de operação da instalação para os dois casos 118

7.2 Custos de investimento 118
7.3 Índices de rendibilidade 119
7.3.1 Índices de rendibilidade – Caso 1 122
7.3.2 Índices de rendibilidade – Caso 2 123
7.3.3 – Comparação económica dos dois casos de estudo 125
8. Análise Energética 126
8.1 Determinação dos novos índices de eficiência energética 126
8.2 Emissões de CO_2 127
9. Conclusões 130
10. Bibliografia 132
11. Anexos 135

Índice de ilustrações

Ilustração 1 - Evolução das temperaturas medidas por satélite [2] 4
Ilustração 2 - Emissões de GEE [4] 6
Ilustração 3 - Emissões de GEE por sectores [4] 6
Ilustração 4 - Evolução temporal da legislação sobre eficiência energética..... 14
Ilustração 5 - Regulamentos em vigor..... 15
Ilustração 6 - Utilizadores de internet nos vários continentes [12]..... 16
Ilustração 7 - População e utilizadores de internet nos vários continentes [12]..... 16
Ilustração 8 - Necessidades energéticas dos centros de processamento de dados no mundo [14] 18
Ilustração 9 - Distribuição do consumo energético de um centro de processamento de dados 20
Ilustração 10 - Referências da norma TIA 942 [16] 22
Ilustração 11 - Gráfico psicrométrico com as especificações das condições do ambiente dos espaços com equipamentos TI da ASHRAE [17]..... 31
Ilustração 12 - Definição das faces dos servidores e sentidos dos fluxos de ar [17] 33
Ilustração 13 - Representação de corredores frios e quentes [17]..... 34
Ilustração 14 - Sentido do fluxo de ar mais utilizado 34
Ilustração 15 - Eficiência de utilização energética [18]..... 37
Ilustração 16 - Unidades CRAC de expansão directa (extraído de *STULZ*) 39
Ilustração 17 - *Chiller* com rejeição de calor a ar e a água..... 40
Ilustração 18 - Esquema de uma sala de um centro de processamento de dados com insuflação de ar pelo pavimento elevado [16] 43
Ilustração 19 - Esquema de uma sala de um centro de processamento de dados com insuflação de ar pelo tecto [16]..... 45
Ilustração 20 - Esquema de funcionamento de uma sala com climatização através de unidades CRAC do tipo DX 46
Ilustração 21 - Esquema de unidades CRAC do tipo CW com *chiller* com rejeição de calor a ar (extraído de *STULZ*) 47
Ilustração 22 - Esquema de uma instalação com unidades CRAC do tipo CW com *chiller* com rejeição de calor a água 48
Ilustração 23 - Esquema do sistema de arrefecimento gratuito do ar 49
Ilustração 24 - Representação dos diversos climas e referências dos mesmos nos Estados Unidos da América (extraído de *TRANE*)..... 53
Ilustração 25 - Representação das unidades CRAC com arrefecimento gratuito da água (extraído de *STULZ*) 54
Ilustração 26 - Representação das unidades produtoras de água gelada (*chiller*) com arrefecimento adiabático (extraído de *EMERSON*)..... 55
Ilustração 27 - Representação das unidades produtoras de água gelada do tipo água-água com arrefecimento gratuito..... 55
Ilustração 28- Centro de processamento de dados em estudo 60
Ilustração 29 - Planta do edifício em estudo..... 60
Ilustração 30 - Zonas climáticas de inverno (I3, I2 e I1) e verão (V3, V2 e V1) em Portugal [25] 61
Ilustração 31 - Planta do edifício em estudo com as respectivas cotas..... 65

Ilustração 32 - Corte transversal do edifício em estudo com as respectivas cotas 65
Ilustração 33 - Esquema da constituição da parede exterior, P1 [26] 65
Ilustração 34 - Esquema da constituição das paredes interiores, P3 e P5 [26] 66
Ilustração 35 - Valores dos consumos efectivos do edifício (dados fornecidos pelo utilizador final) 75
Ilustração 36 - Representação da simulação das condições climatéricas segundo o programa HAP (extraído de Carrier Corporation, HAP 4.41, 2009) 79
Ilustração 37 - Representação da introdução das condições climatéricas, do local em estudo, no programa HAP (extraído de Carrier Corporation, HAP 4.41, 2009) 80
Ilustração 38 - Representação da simulação da energia irradiada segundo o programa HAP (extraído de Carrier Corporation, HAP 4.41, 2009) 81
Ilustração 39 - Representação dos perfis de radiação solar corrigidos no programa HAP (extraído de Carrier Corporation, HAP 4.41, 2009) 82
Ilustração 40 - Introdução dos perfis de ocupação no programa HAP (extraído de Carrier Corporation, HAP 4.41, 2009) 82
Ilustração 41 - Introdução dos perfis de iluminação no programa HAP (extraído de Carrier Corporation, HAP 4.41, 2009) 83
Ilustração 42 - Introdução dos perfis dos equipamentos internos no programa HAP (extraído de Carrier Corporation, HAP 4.41, 2009) 83
Ilustração 43 - Introdução do cálculo do coeficiente global de transmissão de calor das paredes no programa HAP (extraído de Carrier Corporation, HAP 4.41, 2009) 84
Ilustração 44 - Introdução do cálculo do coeficiente global de transmissão de calor da cobertura no programa HAP (extraído de Carrier Corporation, HAP 4.41, 2009) 84
Ilustração 45 - Introdução das propriedades do espaço em estudo referentes às cargas internas no programa HAP (extraído de Carrier Corporation, HAP 4.41, 2009) 85
Ilustração 46 - Mapa mundial com as classificações ao nível do clima [31] 86
Ilustração 47 - Introdução das propriedades do sistema de climatização no programa HAP (extraído de Carrier Corporation, HAP 4.41, 2009) 88
Ilustração 48 - Representação da selecção do economizador no programa HAP (extraído de Carrier Corporation, HAP 4.41, 2009) 88
Ilustração 49 - Representação da selecção do humidificador no programa HAP (extraído de Carrier Corporation, HAP 4.41, 2009) 89
Ilustração 50 - Representação da selecção da bateria de frio/chiller no programa HAP (extraído de Carrier Corporation, HAP 4.41, 2009) 89
Ilustração 51 - Representação da selecção dos ventiladores no programa HAP (extraído de Carrier Corporation, HAP 4.41, 2009) 90
Ilustração 52 - Representação da evolução horária das temperaturas no mês de Julho (extraído de Carrier Corporation, HAP 4.41, 2009) 90
Ilustração 53 - Esquema tipo da unidade CRAC do tipo CW (extraído de *STULZ*) 94
Ilustração 54 - Unidade tipo chiller (extraído de *TRANE*) 95
Ilustração 55 - Esquema de princípio hidráulico 100
Ilustração 56 - Implementação de equipamentos e traçado das tubagens hidráulicas 100
Ilustração 57 - Esquema da unidade CRAC com *plenum* de *free-cooling* (extraído de *STULZ*). 103
Ilustração 58 - Dimensões do plenum de free-cooling (extraído de STULZ) 105

Ilustração 59 - Planta da implementação das condutas, registos e grelhas do sistema de free-cooling no Caso 1 106
Ilustração 60 - Corte transversal da implementação das condutas, registos e grelhas..... 106
Ilustração 61 - Esquema da unidade CRAC do tipo DX (extraído de STULZ) 107
Ilustração 62 - Abaco para dimensionamento de tubagens de fluido frigorigénio R410A (extraído de STULZ) 109
Ilustração 63 - Implementação das unidades interiores e condensadores 110
Ilustração 64 - Recomendações do fabricante para a instalação de sifões (extraído de STULZ) 111
Ilustração 65 - Planta da implementação das condutas, registos e grelhas do sistema de FC do Caso 2 113
Ilustração 66 - Representação das características do chiller seleccionado no programa HAP (extraído de Carrier Corporation, HAP 4.41, 2009)..... 115
Ilustração 67 - Representação dos custos com os novos equipamentos – Caso 1 (extraído de Carrier Corporation, HAP 4.41, 2009) 116
Ilustração 68 - Representação da alteração do tipo de sistema de climatização (extraído de Carrier Corporation, HAP 4.41, 2009) 116
Ilustração 69 - Representação da introdução das características das unidades CRAC DX (extraído de Carrier Corporation, HAP 4.41, 2009)..... 117
Ilustração 70 - Representação dos custos com os novos equipamentos – Caso 2 (extraído de Carrier Corporation, HAP 4.41, 2009) 118

Índice de tabelas

Tabela 1 - Áreas de aplicação das diversas normas para centros de processamento de dados 21
Tabela 2 - Disponibilidade dos serviços nas classificações TIER [16] 23
Tabela 3 - Principais características das classificações TIER [16] 24
Tabela 4 - Características das classificações TIER dos sistemas mecânicos [16]..... 29
Tabela 5 - Especificação das condições do ambiente dos espaços com equipamentos TI [17].. 30
Tabela 6- Limites máximos para controlo de economizadores [21] 52
Tabela 7 - Condições a respeitar no método de cálculo dinâmico simplificado para a determinação do IEE_{pr} dos edifícios [24]..... 57
Tabela 8 - Condições mínimas a respeitar no método de cálculo simplificado para a determinação do IEE_{ef} de edifícios existentes [24] 58
Tabela 9 - Forma de cálculo do IEE_s para efeitos da determinação da classificação energética de PES e GES [25] 59
Tabela 10 - Intervalos do valor de R_{IEE} e respectiva classe energética para PES e GES [25] 59
Tabela 11 - Dados da localização do edifício em estudo 60
Tabela 12 - Critério para a determinação da zona climática de inverno [25]..... 62
Tabela 13 - Critério para a determinação da zona climática de verão [25] 62
Tabela 14 - Parâmetros de referência para a estação de aquecimento 62
Tabela 15 - Parâmetros de referência para a estação de arrefecimento 62
Tabela 16 - Valores das resistências térmicas superficiais [25] 64
Tabela 17 - Representação do cálculo do coeficiente global de transferência de calor para a parede exterior, P1..... 66
Tabela 18 - Representação do cálculo do coeficiente global de transferência de calor das paredes interiores, P3 e P5 67
Tabela 19 - Representação do cálculo do coeficiente global de transferência de calor para as paredes interiores, P2 e P4 68
Tabela 20 - Classes de inércia térmica [25]..... 70
Tabela 21 - Regras de simplificação aplicáveis à quantificação da inércia térmica de edifícios existentes [25]..... 70
Tabela 22 - Perfil de ocupação do edifício em estudo, em percentagem..... 72
Tabela 23 - Perfil de utilização da iluminação do edifício em estudo, em percentagem 72
Tabela 24 - Caudal mínimo de ar novo determinado em função da carga de poluente devido à ocupação [29]..... 73
Tabela 25 - Caudal mínimo de ar novo determinado em função da carga de poluente devido ao edifício [29] 74
Tabela 26 - Valores dos consumos efectivos do edifício (dados fornecidos pelo utilizador final) 75
Tabela 27 - Consumos de energia a considerar no IEE_s e no IEE_T [24] 77
Tabela 28 - Dados climatéricos para o local em estudo (extraído do *SolTerm* 5.0 [31]) 80
Tabela 29 - Representação do somatório de todas as cargas envolvidas no edifício em estudo (extraído de Carrier Corporation, HAP 4.41, 2009)..... 91
Tabela 30 - Ficha técnica da unidade CRAC do tipo CW (extraído de *STULZ*)..... 94

Tabela 31 - Representação das características da unidade produtora de água gelada seleccionada (extraído de *TRANE*) 96
Tabela 32 - Propriedades para o cálculo da perda de carga 101
Tabela 33 - Cálculo da perda de carga linear 101
Tabela 34 - Cálculo dos comprimentos equivalentes dos acessórios 102
Tabela 35 - Cálculo da perda de carga total da instalação 102
Tabela 36 - Ficha técnica da unidade CRAC DX (extraído de STULZ) 108
Tabela 37 - Comprimento das tubagens entre unidades interiores e condensadores 110
Tabela 38 - Secção das tubagens entre unidades interiores e condensadores 111
Tabela 39 - Valores dos consumos e custos efectivos do edifício (dados fornecidos pelo utilizador final) 114
Tabela 40 - Representação dos custos com os novos equipamentos – Caso 1 (extraído de Carrier Corporation, HAP 4.41, 2009) 115
Tabela 41 - Representação dos custos com os novos equipamentos – Caso 2 (extraído de Carrier Corporation, HAP 4.41, 2009) 117
Tabela 42 - Comparação da poupança económica para os dois casos em estudo 118
Tabela 43 - Comparação dos custos de investimento para os dois casos em estudo 119
Tabela 44 - Cash flow para o Caso 1 122
Tabela 45 - Índices de rendibilidade para o Caso 1 123
Tabela 46 - Cash flow para o Caso 2 124
Tabela 47 - Índices de rendibilidade para o Caso 2 124
Tabela 48 - Comparação dos índices de rendibilidade para os dois casos de estudo 125
Tabela 49 - Comparação dos consumos e custos energéticos nos dois casos de estudo 126
Tabela 50 - Representação dos índices de eficiência energética nos dois casos de estudo 127
Tabela 51 - Representação dos factores de emissão de CO2 para o ano 2016 [37] 128
Tabela 52 - Representação da distribuição da produção de energia no ano 2015 [38] 128
Tabela 53 - Redução do consumo de energia nos dois casos de estudo 128
Tabela 54 - Redução das emissões de CO2 para o Caso 1 129
Tabela 55 - Redução das emissões de CO2 para o Caso 2 129
Tabela 56 - Comparação dos principais parâmetros dos dois casos de estudo 130

Lista de acrónimos

UE – União Europeia

GEE – Gases com efeito de estufa

HAP – Hourly Analysis Program

ROI – Retorno sobre o investimento

CO_2 – Dióxido de carbono

CQNUAC – Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre as Alterações Climáticas

CH_4 – Metano

MDL – Mecanismo de Desenvolvimento Limpo

PIAC – Painel Intergovernamental para as Alterações Climáticas

RCCTE – Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios

RSECE – Regulamento dos Sistemas Energéticos e de Climatização dos Edifícios

QAI – Qualidade de Ar Interior

IEE – Índice de eficiência energética

SCE – Sistema de Certificação Energética dos Edifícios

REH – Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação

RECS – Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços

TI – Tecnologias de informação

PUE – Eficiência de utilização Energética

DCiE – Eficiência das infra-estruturas do centro de processamento de dados

CRAC – Unidades de tratamento de ar para sala de computadores

CW – Água gelada

DX – Expansão directa

CFD – Dinâmica de fluido computacional

VUF – Insuflação e distribuição em pavimento elevado

VOH – Insuflação e distribuição no tecto

HDP – Insuflação horizontal

NOH – Convecção natural superior

FC – *Free-cooling,* arrefecimento gratuito

HLS – *High-Limit Shutoff*, limite máximo para desligar

R_{IEE} – Rácio de classe energética

PES – Pequeno Edifício de Comércio e Serviços

GES – Grande Edifício de Comércio e Serviços

PRE – Plano de Racionalização Energética

AVAC – Aquecimento Ventilação e Ar Condicionado

NUTS – Nomenclatura das Unidades Territoriais para Fins Estatísticos

GD – Graus dias

$T_{ext,v}$ – Temperatura exterior na estação de arrefecimento

b_{tr} – Coeficiente de redução de perdas

Csa – Clima temperado com Verão quento e seco nas regiões a sul do sistema montanhoso Montejunto-Estrela

Csb – Clima Temperado com Verão seco e suave em quase todas as regiões a Norte do sistema montanhoso Montejunto-Estrela

VAL – Valor actual líquido

TIR – Taxa de retorno do investimento

ERSE – Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos

1. Introdução

1.1 Enquadramento Geral

Actualmente, a energia é cada vez mais um factor crítico para a rentabilidade das empresas, serviços e indústria. A eficiência energética é uma prioridade para a competitividade e é também aqui que a reabilitação terá um papel muito importante. O investimento em novos edifícios está a ser substituído pelo investimento e remodelação dos espaços existentes com vista a ganhos futuros na factura energética.

A União Europeia (UE), que com a primeira directiva para os edifícios apostou nos edifícios novos, está agora a corrigir a trajectória e a criar mecanismos que facilitem a reabilitação energética como caminho para a eficiência energética. "Com a utilização dos edifícios a serem responsáveis por cerca de 40% do consumo energético, todas as regulamentações europeias que abordam a eficiência energética têm impacto no sector dos edifícios, directa ou indirectamente", refere Paul Hodson, chefe da unidade para a eficiência energética da Comissão Europeia. Acontece que este caminho não se faz sem um correcto dimensionamento e instalação de sistemas de climatização, no caso da renovação do que já existe e que em muitos casos está obsoleto, não é eficiente e representa custos de funcionamento elevados e pouco ecológicos. Sendo a eficiência energética a tónica da UE para a energia na área dos edifícios, as metas a atingir não podem descurar os sistemas de climatização.

Um dos grandes objectivos e preocupações urgentes da UE é a redução do consumo energético e neste patamar, parte da resposta está na indústria dos sistemas de climatização com a disponibilização de novos sistemas e equipamentos mais eficientes.

Existe um potencial significativo nos edifícios de serviços pois, nestes edifícios, o consumo de energia dedicada à climatização tem uma maior importância relativamente ao que sucede nas habitações, sendo de esperar um impacto relevante dos requisitos da eficiência energética deste sector.

A Directiva para a eficiência energética, cujo objectivo é voltar a colocar a Europa no caminho para cumprir a meta de 20% de eficiência energética em 2020, é um dos pilares fundamentais para a redução dos consumos de energia. [1]

1.2 Motivação

A escolha deste tema para o trabalho de dissertação baseia-se na filosofia da poupança energética, em particular num edifício, um centro de processamento de dados, em que os gastos actuais na utilização dos sistemas de climatização são elevados, podendo ser reduzidos através da aplicação de algumas soluções, quer a nível de equipamentos, quer a nível de controlo da instalação de climatização. Uma das soluções, a nível de equipamentos, cada vez mais utilizada para diminuir os custos de operação dos sistemas de climatização é a implementação de sistemas de arrefecimento gratuito, sendo já em alguns países obrigatório. Outra solução que pode ser implementada é a utilização de unidades de tratamento de ar do tipo expansão directa.

Já a nível de controlo da instalação, este quando bem implementado permite maximizar o processo e optimizar toda a sua gestão e operação permitindo ao utilizador uma melhor percepção.

1.3 Objectivos

Este trabalho de dissertação tem como objectivo o estudo de um sistema de climatização de um centro de processamento de dados existente e a determinação de uma optimização energética ao nível dos componentes de climatização, passando pela utilização de sistemas de arrefecimento gratuito levando a uma maior eficiência energética do edifício, a menores custos de operação do sistema de climatização e consequente diminuição da emissão de gases com efeito de estufa (GEE).

1.4 Estrutura do trabalho

Esta dissertação é composta por nove capítulos.

O primeiro capítulo já foi descrito nos pontos anteriores, enquanto o segundo capítulo assenta numa revisão bibliográfica quer a nível de regulamentos energéticos quer a nível de regulamentos na construção de um centro de processamento de dados.

No terceiro capítulo irá ser feita referência aos sistemas de arrefecimento mais utilizados em centros de processamentos de dados. Já no quarto capítulo irá estar a caracterização do local do caso em estudo, incluindo os requisitos do utilizador final e todos os levantamentos necessários da instalação existente.

O capítulo cinco será composto pela descrição do processo da simulação energética, tendo em consideração o capítulo quatro. Esta parte da dissertação tem como principal ferramenta de trabalho o programa "Hourly Analysis Program" (HAP) disponibilizado pela *Carrier*, que permite determinar o somatório de todas as cargas actuantes no processo, as condições de projecto e a evolução psicrométrica ao longo do ano. É também estudada a radiação solar que afecta o local em estudo bem como a viabilidade para se efectuar o arrefecimento gratuito do ar. Por fim, são introduzidos todos os dados do projecto no HAP e analisados os resultados obtidos do balanço térmico.

No capítulo seis serão seleccionados os novos sistemas de climatização e a respectiva implementação de acordo com as normas estabelecidas para um centro de processamento de dados.

No sétimo capítulo irão ser apresentados os custos de investimento associados aos novos sistemas de climatização como também uma simulação dos respectivos custos de operação e uma comparação com os actuais, de forma a determinar o retorno sobre o investimento (ROI) e o *payback*.

O oitavo capítulo faz uma análise, ao nível da eficiência energética, das novas soluções propostas para o sistema de climatização e é determinado o impacto na redução das emissões de dióxido de carbono (CO_2).

O capítulo nove faz um resumo dos resultados obtidos e as respectivas conclusões.

2. Revisão bibliográfica

2.1 Introdução

As alterações climáticas são uma realidade. As temperaturas estão a aumentar, os padrões de precipitação estão a mudar, os glaciares e a neve estão a derreter e o nível médio das águas do mar está a subir. É de esperar que estas alterações prossigam e que se tornem mais frequentes e intensas, levando a fenómenos climáticos extremos que acarretam perigos como inundações e secas. Na Europa, os impactos e as vulnerabilidades no que respeita à natureza, à economia e à saúde dos habitantes diferem entre regiões, territórios e sectores económicos.

É muito provável que a maior parte do aquecimento observado desde meados do século XX se deva ao aumento das concentrações dos GEE, resultantes das emissões provocadas pela actividade humana. A temperatura global subiu cerca de 0,8ºC nos últimos 150 anos e prevê-se que continue a aumentar.

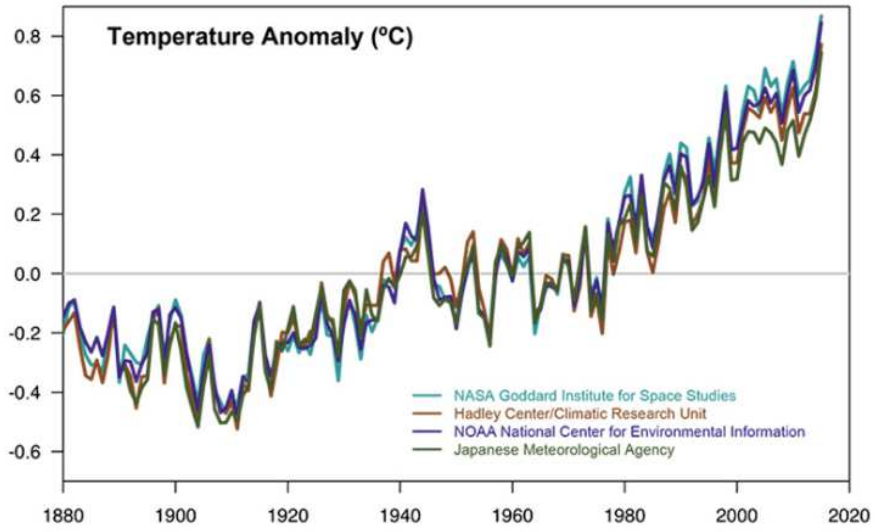


Ilustração 1 - Evolução das temperaturas medidas por satélite [2]

Um aumento superior a 2ºC, das temperaturas registadas na época pré-industrial, aumenta o risco de ocorrência de alterações perigosas para os sistemas humano e natural à escala global. A Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre as Alterações Climáticas (CQNUAC) consagra como objetivo, limitar o aumento da temperatura média global registado desde a era pré-industrial a um valor inferior a

2ºC. Para atingir tal objectivo, é preciso que as emissões mundiais de GEE estabilizem na presente década e que, até 2050, se registe uma diminuição de 50% relativamente aos níveis de 1990. Tendo em conta os esforços necessários por parte dos países em desenvolvimento, a UE apoia o objectivo de reduzir as suas emissões de GEE entre 80% e 95% até 2050 (face aos valores de 1990). [3]

Ainda que as políticas e esforços destinados a reduzir as emissões se venham a revelar eficazes, algumas alterações climáticas serão inevitáveis, pelo que serão igualmente necessárias estratégias e medidas de adaptação ao seu impacto.

Na Europa, os maiores aumentos de temperatura verificam-se no sul do continente e na região do Ártico. As quedas mais acentuadas da precipitação são registadas no sul, enquanto no norte e noroeste se registam situações opostas. Os aumentos previstos da intensidade e frequência das vagas de calor e das inundações, assim como as alterações da distribuição de algumas doenças infecto-contagiosas e dos pólenes têm efeitos adversos para a saúde humana.

As alterações climáticas constituem uma pressão suplementar para os ecossistemas, levando várias plantas e espécies animais a deslocarem-se para norte e para terrenos de maior altitude. Esta situação afecta negativamente a agricultura, a silvicultura, a transformação de energia, o turismo e as infra-estruturas em geral.

Entre as regiões europeias mais vulneráveis às alterações climáticas enumeram-se:

- O sul da Europa e a bacia do Mediterrâneo (devido ao aumento das vagas de calor e da seca);
- As zonas de montanha (devido ao aumento do degelo);
- As zonas costeiras e planícies aluviais (devido à subida do nível médio das águas do mar e ao aumento das chuvas intensas, inundações e tempestades);
- O extremo norte da Europa e o Ártico (devido ao aumento das temperaturas e ao degelo).

Os GEE são emitidos, quer através de processos naturais, quer através de actividades humanas, sendo que o GEE natural mais importante presente na atmosfera

é o vapor de água. As atividades humanas libertam grandes quantidades de outros GEE na atmosfera, o que aumenta as concentrações atmosféricas desses gases e, consequentemente, o efeito de estufa, contribuindo para o aumento da temperatura média.

As principais fontes de GEE de origem humana são:

- A queima de combustíveis fósseis (carvão, petróleo e gás) na produção de eletricidade, nos transportes, na indústria e em utilizações domésticas libertando dióxido de carbono (CO_2);
- A agricultura e produção de animais originam a libertação de metano (CH_4), enquanto as alterações da utilização dos solos, tal como a desflorestação originam a libertação de CO_2;
- Os aterros sanitários libertam CH_4;
- A utilização de gases industriais fluorados.

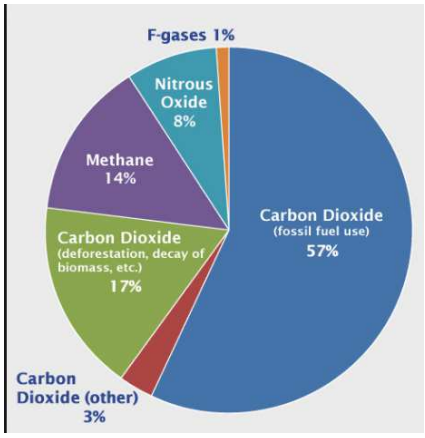


Ilustração 2 - Emissões de GEE [4]

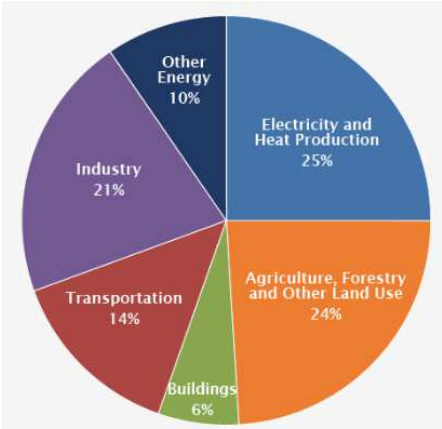


Ilustração 3 - Emissões de GEE por sectores [4]

Considerando as alterações climatéricas, a CQNUAC estabeleceu um objectivo a longo prazo, que consiste na estabilização das concentrações na atmosfera de GEE, a um nível que evite uma interferência antropogénica perigosa com o sistema climático. O Protocolo de Quioto foi um primeiro passo para a prossecução desse objectivo. Estabeleceu metas para a redução das emissões em muitos países industrializados, incluindo a maior parte dos Estados-Membros da UE, e limitou os aumentos das emissões nos restantes países.

Os primeiros quinze Estados-Membros da UE adoptaram um objectivo conjunto de redução das emissões em 8% abaixo dos níveis de 1990 até 2012. Através de um acordo interno da UE, alguns Estados-Membros foram autorizados a aumentar as suas emissões enquanto outros deverão reduzi-las. Muitos dos novos Estados-Membros têm objectivos de redução entre 6% e 8% relativamente aos respectivos anos de referência (1990 para a maior parte). [5]

Espera-se que os países cumpram os seus objectivos, essencialmente através de políticas e medidas nacionais. Os países estão autorizados a cumprir parte dos seus objectivos de redução das emissões, com investimentos em projectos de redução de emissões nos países em desenvolvimento através do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) ou em países desenvolvidos através da Aplicação Conjunta. O MDL destina-se igualmente a apoiar o desenvolvimento sustentável, por exemplo, através do financiamento de projectos de energias renováveis.

O Painel Intergovernamental para as Alterações Climáticas (PIAC) defende reduções de emissões, a nível mundial, de cerca de 50% até metade do século XXI, o que implica reduções de 60% a 80% nas emissões dos países desenvolvidos. Os países em desenvolvimento com elevados níveis de emissões, tais como a China, a Índia e o Brasil, deverão limitar o seu crescimento de emissões.

Muitos países europeus adoptaram programas nacionais destinados a reduzir as emissões. Foram igualmente adoptadas várias políticas e medidas a nível europeu através do Programa Europeu para as Alterações Climáticas, tais como:

- Um maior recurso às fontes de energia renováveis (eólica, solar, biomassa) e instalações de produção combinada de calor e electricidade;
- Melhorias generalizadas de eficiência energética em edifícios, indústria, electrodomésticos;
- Redução das emissões de CO_2 dos veículos novos de passageiros;
- Medidas de redução nas indústrias transformadoras;
- Medidas de redução das emissões dos aterros sanitários.

Em Março de 2007, os líderes da UE aprovaram um ambicioso plano para a energia e para as alterações climáticas, com vista a reduzir as emissões de GEE da UE em, pelo menos, 20% até 2020 (em relação a níveis de 1990) e assegurar que 20% de toda energia primária da UE utilizada seja energia renovável. Em Janeiro de 2008, a Comissão Europeia propôs um novo pacote de medidas no domínio da energia e das alterações climáticas, a fim de cumprir o objectivo de redução de emissões. Em todos os Estados-Membros, vários sectores como a agricultura, os transportes e a construção foram chamados a contribuir para alcançar os objectivos europeus, de acordo com as suas capacidades financeiras. Para os sectores com utilização intensiva de energia, tais como as indústrias químicas e do aço, a Comissão propôs o reforço do Regime de Comércio de Licenças de Emissões para ajudá-los a atingir o objectivo de redução de 20%. A redução das emissões de GEE exigirá uma maior utilização de energias renováveis, o que também implica um fornecimento energético mais diversificado para a Europa.

Foram definidas reduções adicionais de emissões para novos sectores, como o da aviação, as emissões de CO_2 de veículos rodoviários e a captura e armazenamento de carbono.

No âmbito da CQNUAC, decorreu o Acordo de Paris em 2015, para estabelecer medidas de forma a se atingir as metas até 2020. No entanto, este ainda está aberto para assinaturas das diversas nações até Abril de 2017. [3] [5]

2.2 Regulamentos Energéticos

No âmbito do Protocolo de Quioto, Portugal, em articulação com os compromissos definidos para a UE, assumiu responsabilidades quanto ao controlo das emissões de GEE. Nesse contexto, impôs-se um consenso sobre a importância de melhorar a eficiência energética dos edifícios e de reduzir o consumo de energia e as correspondentes emissões de CO_2 no sector dos edifícios. Surgiu então a Directiva n.º 2002/91/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 16 de Dezembro, relativa ao

desempenho energético dos edifícios, na qual se implementam um conjunto de requisitos, para além de outros, importantes para este sector, tais como:

- Implementar um sistema de certificação energética de forma a informar o cidadão sobre a qualidade térmica dos edifícios, no momento da construção, da venda ou do arrendamento dos mesmos, exigindo também que o sistema de certificação abranja igualmente todos os grandes edifícios públicos e edifícios frequentemente visitados pelo público;
- A obrigatoriedade de uma verificação periódica dos consumos reais, nos edifícios existentes de maior dimensão, e a disponibilização desta informação ao público que os utilizar, mediante afixação de um certificado apropriado em local bem visível.

Esta nova Directiva, veio com a intenção de ser um ponto de viragem, para o qual foi criado o Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios (SCE), Decreto-Lei n.º 78/2006 de 4 Abril, que é um dos três pilares sobre os quais assentou a legislação relativa à qualidade térmica dos edifícios em Portugal e, que veio a proporcionar uma redução energética significativa no país ao nível da utilização de edifícios, em concreto, com a actualização do Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE), Decreto-Lei n.º 80/2006 de 4 Abril, e do Regulamento dos Sistemas Energéticos e de Climatização dos Edifícios (RSECE), Decreto-Lei n.º 79/2006 de 4 Abril.

Até a essa altura, o RSECE existente (Decreto-Lei nº118/98), procurou introduzir algumas medidas de racionalização, fixando limites à potência máxima dos sistemas a instalar num edifício para, sobretudo, evitar o seu sobredimensionamento, conforme a prática do mercado mostrava ser comum, e assim contribuir para a sua eficiência energética, evitando investimentos desnecessários. A prática da aplicação do RSECE veio a demonstrar alguma indiferença por parte da maioria dos intervenientes no processo. A instalação de sistemas de climatização foi sendo tratada, na maior parte dos casos, directamente entre fornecedores e clientes, remetendo-se, na prática, à aplicação do Regulamento exclusivamente para o nível da responsabilidade técnica dos projectistas ou dos instaladores ou, simplesmente, dos fornecedores dos

equipamentos. A actualização do RSECE e o novo processo de certificação energética veio trazer novos requisitos dos quais se destacaram:

- A necessidade da existência de um perito qualificado, e de uma classificação energética do edifício;
- A obrigatoriedade de todos os grandes edifícios existentes passar a cumprir o RSECE num prazo máximo de 6 anos e ao facto dos edifícios novos estarem sujeitos a uma auditoria após 3 anos de funcionamento;
- O enquadramento no Regulamento de edifícios com área superior a 1000 m2 ou potência do equipamento de climatização superior a 25 kW;
- Necessidade de um projecto de climatização;
- Limitação da potência de climatização;
- Introdução de requisitos de Qualidade de Ar Interior (QAI);
- A introdução do Índice de Eficiência Energética (IEE).

Quanto ao RCCTE, enquanto a primeira versão (Decreto-Lei nº40/90) pretendia limitar potenciais consumos e era, portanto, relativamente pouco exigente nos seus objectivos concretos devido às questões de viabilidade económica face a potenciais consumos baixos, justificou-se uma contabilização mais realista dos consumos, com uma maior probabilidade de ocorrer, evoluindo portanto na direcção de maiores exigências de qualidade térmica da envolvente dos edifícios. A nova versão do RCCTE estabeleceu requisitos de qualidade para os novos edifícios de habitação e de pequenos edifícios de serviços sem sistemas de climatização, impondo limites aos consumos energéticos para climatização e produção de águas quentes, num claro incentivo à utilização de sistemas eficientes e de fontes energéticas com menor impacto em termos de energia primária. Esta legislação impôs a instalação de painéis solares térmicos e valorizou a utilização de outras fontes de energia renovável.

A 19 de Maio de 2010 surge a Directiva nº2010/31/UE que vem reformular a Directiva nº2002/91/CE no sentindo de simplificar, clarificar e reforçar determinadas disposições e tem por objetivo o aproveitamento do potencial de redução do custo operacional dos edifícios e o aumento da eficiência energética. Esta Directiva visa,

ainda, atingir uma redução das emissões de GEE na ordem dos 20% em relação aos valores registados no ano de 1990 (ou 30% se houver um compromisso internacional).

Assim, a UE fixou o objetivo de substituir, gradualmente, o uso de combustíveis fósseis por energias provenientes de fontes renováveis, e o uso de equipamentos com melhor eficiência energética, especialmente nos edifícios. Com esta Directiva, e confirmando a qualidade do motor de políticas globais e multilaterais de combate às alterações climáticas, a UE dá mais um passo na luta contra o aquecimento global. A intenção da Directiva tem os seguintes objetivos:

- Reduzir a dependência energética do exterior;
- Reduzir as emissões de GEE (para além do CO_2);
- Reduzir os custos de energia para os consumidores;
- Aumentar o conforto dos utilizadores dos edifícios;
- Contribuir para o desenvolvimento sustentável.

Esta Directiva focaliza a sua abordagem no desempenho energético individual dos edifícios, levando a que a análise da demanda energética e da produção de energia de um edifício sejam feitas separadamente. Contudo, reconhecendo a diversidade do clima e as diferenças entre os edifícios dos Estado-Membros da UE, a Directiva 2010/31/UE não aborda de um modo uniforme, a implementação das medidas relativas ao desempenho energético dos edifícios, com o objetivo de os tornar em edifícios com necessidades quase nulas de energia, nem apresenta uma metodologia de cálculo específica, dando aos Estados-Membros flexibilidade na elaboração da regulamentação respectiva, de forma a transpor a Directiva adequadamente.

No caso de Portugal, a transposição da Directiva dá-se pelo Decreto-Lei n.º 118/2013. Este diploma assegura não só a transposição da Directiva 2010/31/UE, mas também uma revisão da legislação nacional, que se consubstancia em melhorias ao nível da sistematização e âmbito de aplicação ao incluir, num único diploma, o Sistema de Certificação Energética (SCE), o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH) e o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios

de Comércio e Serviços (RECS), atendendo, simultaneamente, aos interesses inerentes à aplicabilidade integral e utilidade deste quadro legislativo, e aos interesses de simplificação e clareza na produção legislativa de carácter predominantemente técnico.

A actualização da legislação nacional existente envolve alterações a vários níveis com destaque, em primeiro lugar, para as modificações estruturais e de sistematização pela aglutinação, num só diploma, de uma matéria anteriormente regulada em três diplomas distintos, procedendo-se assim a uma reorganização significativa que visa promover a harmonização conceptual e terminológica, e a facilidade de interpretação por parte dos destinatários das normas. Em segundo lugar, a separação clara do âmbito de aplicação do REH e do RECS, passando o primeiro a incidir exclusivamente sobre os edifícios de habitação, e o último sobre os de comércio e serviços, facilitando o tratamento técnico e a gestão administrativa dos processos, ao mesmo tempo que reconhece as especificidades técnicas de cada tipo de edifício naquilo que é mais relevante para a caracterização e melhoria do desempenho energético. A definição de requisitos e a avaliação de desempenho energético dos edifícios passa a basear-se nos seguintes pilares: no caso de edifícios de habitação assumem posição de destaque o comportamento térmico e a eficiência dos sistemas, aos quais acrescem, no caso dos edifícios de comércio e serviços, a instalação, a condução e a manutenção de sistemas técnicos. Para cada um destes pilares são ainda definidos princípios gerais, concretizados em requisitos específicos para edifícios novos, edifícios sujeitos a grande intervenção e edifícios existentes. A definição de um mapa evolutivo de requisitos com um horizonte temporal no limite até 2020 permite criar condições de previsibilidade que facilitam a antecipação e a adaptação do mercado, ao mesmo tempo que aponta no sentido de renovação do parque imobiliário por via da promoção de edifícios cada vez mais eficientes. Criam-se, igualmente, condições para uma ágil adaptação dos requisitos regulamentares, com base em critérios de nível óptimo de rentabilidade, resultantes do desempenho energético dos edifícios e dos seus componentes.

Além da actualização dos requisitos de qualidade térmica, são introduzidos requisitos de eficiência energética para os principais tipos de sistemas técnicos dos

edifícios. Ficam assim igualmente sujeitos a padrões mínimos de eficiência energética, os sistemas de climatização, de preparação de água quente sanitária, de iluminação, de aproveitamento de energias renováveis e de gestão de energia. Em complemento à eficiência energética, mantém-se a promoção da utilização de fontes de energia renovável, com clarificação e reforço dos métodos para quantificação do respectivo contributo, e com natural destaque para o aproveitamento do recurso solar, abundantemente disponível no nosso país. Do mesmo modo, por via da definição de formas adequadas de quantificação, é incentivada a utilização de sistemas ou soluções passivas nos edifícios, bem como a optimização do desempenho em consequência de um menor recurso aos sistemas activos de climatização. Neste contexto surge igualmente o conceito de edifício com necessidades quase nulas de energia, o qual passará a constituir o padrão para a nova construção a partir de 2020, ou de 2018 no caso de edifícios novos de entidades públicas, bem como uma referência para as grandes intervenções no edificado existente. Este padrão conjuga a redução, na maior extensão possível e suportada numa lógica de custo-benefício, das necessidades energéticas do edifício, com o abastecimento energético através do recurso a energia de origem renovável. Atendendo às especificidades do sector social, será ainda analisada a viabilidade de os custos com a certificação energética da habitação social serem financiados através de fundos ou de outros instrumentos destinados a financiar medidas de eficiência energética. São definidas regras e requisitos para a instalação, condução e manutenção dos sistemas de climatização em edifícios de comércio e serviços, no sentido de promover o respectivo funcionamento optimizado em termos energéticos. Atendendo ao tipo, às características e ao habitual regime de funcionamento dos sistemas de ar condicionado e de caldeiras utilizados para climatização em Portugal, considera-se que a implementação de um sistema de recomendações sobre a substituição dos sistemas terá resultados mais favoráveis.

Merece ainda especial destaque o reconhecimento do pré-certificado e do certificado SCE como certificações técnicas, pretendendo-se por esta via clarificar a sua aplicação em matéria de consulta e vistorias, tornando tais certificações técnicas obrigatórias na instrução de operações urbanísticas. No que respeita à política de QAI, considera-se da maior relevância a manutenção dos valores mínimos de caudal de ar

novo por espaço e dos limiares de protecção para as concentrações de poluentes do ar interior, de forma a salvaguardar os mesmos níveis de proteção de saúde e de bem-estar dos ocupantes dos edifícios. Neste âmbito, salienta-se que passa a privilegiar-se a ventilação natural em detrimento dos equipamentos de ventilação mecânica, numa óptica de optimização de recursos, de eficiência energética e de redução de custos. São ainda eliminadas as auditorias de qualidade do ar interior, mantendo-se contudo a necessidade de se proceder ao controlo das fontes de poluição e à adopção de medidas preventivas, tanto ao nível da concepção dos edifícios, como do seu funcionamento, de forma a cumprir os requisitos legais para a redução de possíveis riscos para a saúde pública. Através do Decreto-Lei nº118/2013 procurou-se introduzir as orientações e a prática internacional com base nos conhecimentos mais avançados sobre a eficiência energética e o conforto térmico. [6] [7] [8] [9] [10]

Ilustração 4 - Evolução temporal da legislação sobre eficiência energética

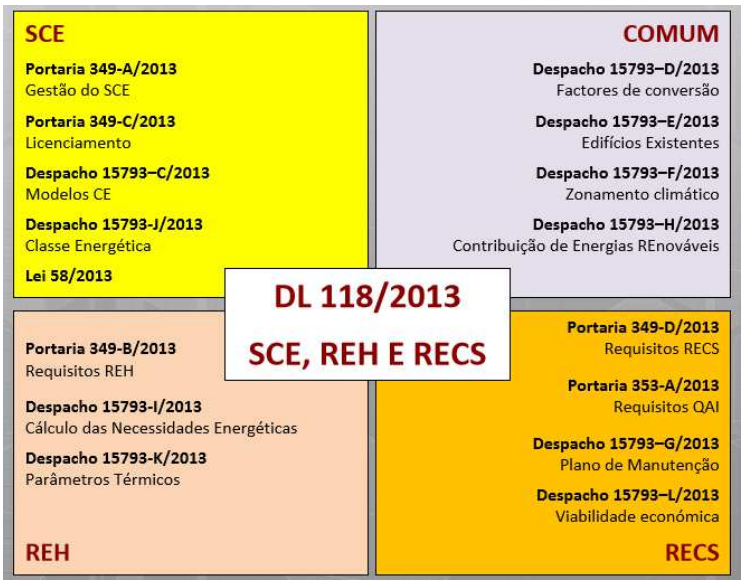


Ilustração 5 - Regulamentos em vigor

2.3 Centro de processamento de dados

2.3.1 Introdução

Desde o aparecimento das primeiras construções que estas têm evoluído de maneira a poder responder às necessidades impostas pela sociedade. Isto originou uma distinção entre construções para habitação e construções especializadas na prestação de um determinado serviço.

Actualmente, nas sociedades modernas ou em vias de desenvolvimento, o papel das telecomunicações assume especial relevância em diversos domínios. Tal facto deve-se predominantemente à implementação generalizada da internet, cuja invenção no século XX revolucionou o modo de comunicar, transformando o planeta numa aldeia global. Apesar da sua curta existência, a internet apresenta uma enorme adesão a nível global, devido fundamentalmente à velocidade entre a troca de informação (dados) e à possibilidade de comunicar em tempo real, independentemente da distância entre os intervenientes. Esta ferramenta tem uma aplicação transversal quer a nível individual quer a nível empresarial, político e militar. [11]

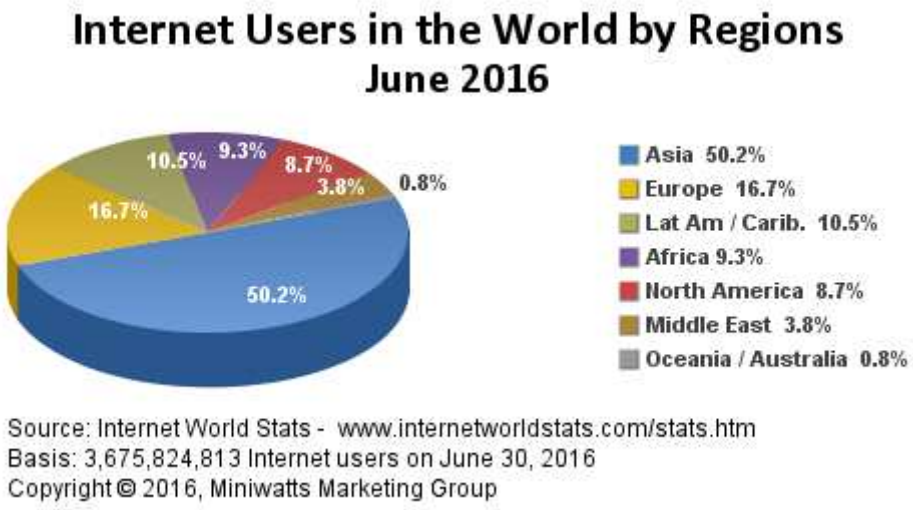


Ilustração 6 - Utilizadores de internet nos vários continentes [12]

WORLD INTERNET USAGE AND POPULATION STATISTICS JUNE 30, 2016 - Update						
World Regions	Population (2016 Est.)	Population % of World	Internet Users 30 June 2016	Penetration Rate (% Pop.)	Growth 2000-2016	Table % Users
Asia	4,052,652,889	55.2 %	1,846,212,654	45.6 %	1,515.2%	50.2 %
Europe	832,073,224	11.3 %	614,979,903	73.9 %	485.2%	16.7 %
Latin America / Caribbean	626,054,392	8.5 %	384,751,302	61.5 %	2,029.4%	10.5 %
Africa	1,185,529,578	16.2 %	340,783,342	28.7 %	7,448.8%	9.3 %
North America	359,492,293	4.9 %	320,067,193	89.0 %	196.1%	8.7 %
Middle East	246,700,900	3.4 %	141,489,765	57.4 %	4,207.4%	3.8 %
Oceania / Australia	37,590,820	0.5 %	27,540,654	73.3 %	261.4%	0.8 %
WORLD TOTAL	7,340,094,096	100.0 %	3,675,824,813	50.1 %	918.3%	100.0 %

NOTES: (1) Internet Usage and World Population Statistics updated as of June 30, 2016. (2) CLICK on each world region name for detailed regional usage information. (3) Demographic (Population) numbers are based on data from the US Census Bureau, Eurostats and from local census agencies. (4) Internet usage information comes from data published by Nielsen Online, by the International Telecommunications Union, by GfK, by local ICT Regulators and other reliable sources. (5) For definitions, disclaimers, navigation help and methodology, please refer to the Site Surfing Guide. (6) Information in this site may be cited, giving the due credit and placing a link to www.internetworldstats.com. Copyright © 2001 - 2016, Miniwatts Marketing Group. All rights reserved worldwide.

Ilustração 7 - População e utilizadores de internet nos vários continentes [12]

As tecnologias de suporte às aplicações de telecomunicações baseiam-se em equipamentos de redes de transmissão e de redes de acesso de alto débito. Esses equipamentos, de elevado custo, apresentam exigências funcionais nomeadamente de instalação, operação e manutenção.

Os centros de processamento de dados surgiram como resposta à necessidade de existirem espaços com ambientes específicos, com exigências do ponto de vista técnico para a colocação de servidores e de bancos de armazenamento de dados. A importância deste tipo de edificações é facilmente perceptível se tivermos em conta a evolução de utilizadores de telecomunicações, nomeadamente de internet. [11] [13]

A responsabilidade das infra-estruturas dos centros de processamento de dados e daqueles que a operavam era assegurar a disponibilidade contínua do serviço. Pretendia-se "*Uptime* Perpétuo" com elevado nível de fiabilidade. Era importante manter o negócio a funcionar sem qualquer interrupção e independentemente dos custos. Havia uma boa razão para esta prioridade. A perda da capacidade de processamento ou no acesso à informação significa problemas para as empresas e organizações que dependem fortemente de dados electrónicos. Uma falha pode significar um desastre sob a forma de receitas perdidas, clientes insatisfeitos e violações de conformidade em relação a regulamentações nacionais ou internacionais.

Pode-se argumentar no entanto, que ao longo da última década, a fiabilidade tem merecido uma prioridade elevada quase à exclusão de qualquer outra temática, como a eficiência energética. A opinião generalizada baseia-se na natureza vital dos centros de processamentos de dados de ambientes críticos. A eficiência energética não era prioritária, mas na verdade parecia ser o oposto da fiabilidade. Esta oposição foi agravada porque na maioria das empresas e organizações, cabe aos departamentos de tecnologias de informação (TI), assumir a responsabilidade das infra-estruturas do centro de processamento de dados. As despesas de energia são no entanto da responsabilidade de outros centros de custos.

Hoje porém, a responsabilidade ambiental ganha visibilidade nos resultados das organizações e empresas. Diante das pressões crescentes, sobre o aumento da população mundial, desenvolvimento económico e as mudanças climáticas, os cidadãos, clientes, accionistas e analistas exigem que as organizações e empresas considerem a sustentabilidade e que ajam em conformidade. Algumas destas exigências manifestam-se da seguinte forma:

- Como parte do processo de selecção de fornecedores, 80% dos clientes estão agora a avaliar o impacto ambiental;

- Existe uma tendência internacional em que os organismos governamentais começam a exigir, nos seus processos de compras, o recorrer de forma crescente a produtos e serviços electrónicos com elevada sustentabilidade ambiental.

Realmente, o principal desafio dos centros de processamento de dados actuais é a quantidade incrível de energia necessária para mantê-los a funcionar. Um centro com 2000 m^2, e uma densidade energética de 1000 W/m^2 tem um pico de consumo de climatização que é comparável a um edifício de escritórios com uma área de 20000 m^2 e um consumo energético total anual comparável a um edifício de escritórios com uma área de 40000 m^2. Hoje em dia, os centros de processamento de dados consomem o equivalente a cerca de 2% da electricidade total. As estimativas apontam neste momento para uma duplicação dos consumos nos próximos três a quatro anos, caso as actuais tendências na concepção e operação dos centros de processamento de dados continuem.

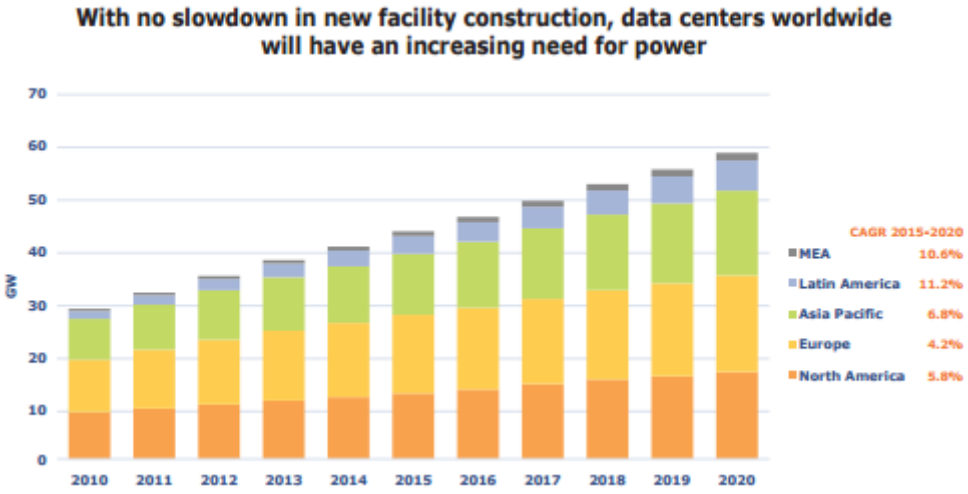


Ilustração 8 - Necessidades energéticas dos centros de processamento de dados no mundo [14]

Os consumos energéticos são muito elevados, em grande parte devido ao aumento da densidade dos servidores. Os fabricantes procuram ajudar os clientes a aproveitar ao máximo cada metro quadrado de espaço nos centros de processamento de dados, e estão agora a integrar cada vez mais processadores e mais poder de computação do que nunca. Na verdade, a densidade de um servidor aumentou dez vezes na última década e o consumo médio de energia do servidor quadruplicou. Maior densidade resulta em temperaturas de operação mais elevadas e aumenta os requisitos energéticos e de climatização para evitar uma eventual falha dos sistemas. [15]

Infelizmente, a maioria das empresas e organizações ainda não estão preparadas para lidar com esses requisitos. Prevê-se que as falhas de energia e os limites no fornecimento de energia, irão interromper as operações dos centros em mais de 90% de todas as organizações e empresas nos próximos cinco anos. No mesmo período, um em cada quatro centros de processamento de dados irá estar sujeito a uma perturbação suficientemente grave, originada por questões energéticas ou de climatização que irá afectar a capacidade das organizações e empresas em funcionar normalmente.

Como podemos imaginar, esta (in-)eficiência energética tem o potencial de ser extremamente dispendiosa e é uma preocupação constante que continuamente coloca pressão nos recursos disponíveis das organizações e empresas. A consultora internacional *IDC*, consultora que ajuda as empresas fornecedoras de TI a definir e implementar as estratégias de marketing mais adequadas à sua realidade e estágio de evolução, de forma a atingirem os seus objectivos de negócio, estima que o custo de energia e de climatização para a base instalada de servidores é aproximadamente 50% do valor investido na aquisição de novos servidores. Prevê-se que esta fatia de custos chegue rapidamente aos 66%. De acordo com a organização internacional *Uptime Institute*, organização focada no melhoramento do desempenho e eficiência de infra-estruturas críticas, como os centros de processamento de dados, os custos de energia representam neste momento a despesa principal dos centros de processamento de dados tendo ultrapassado os custos imobiliários. [15]

Num centro de processamento de dados, os consumos energéticos normalmente são distribuídos conforme ilustração abaixo:

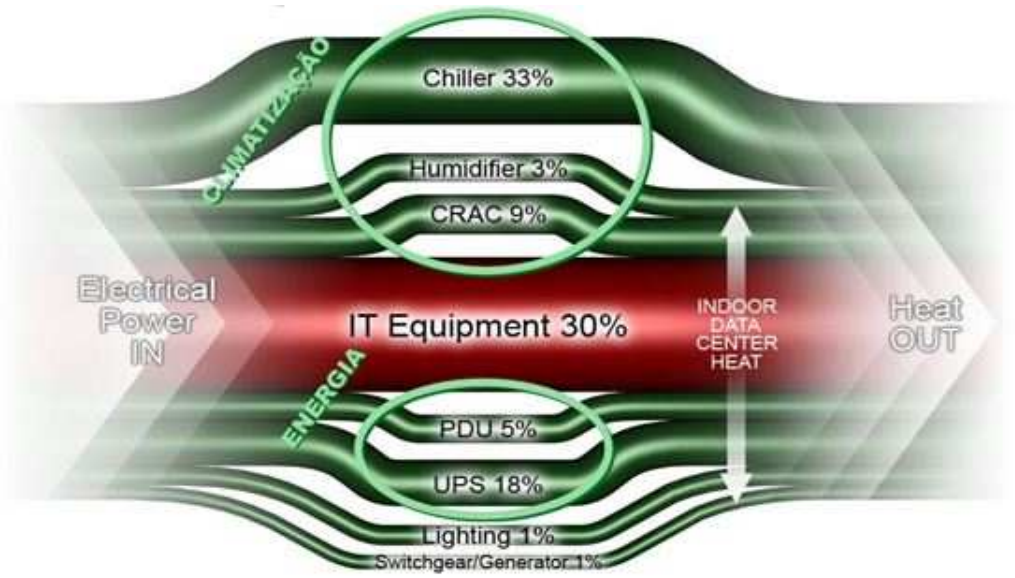


Ilustração 9 - Distribuição do consumo energético de um centro de processamento de dados

Como podemos constatar, a climatização de um centro de processamento de dados tem um peso substancial no consumo energético do edifício, como tal, a optimização dos sistemas de climatização podem contribuir de forma significativa para a diminuição dos consumos energéticos totais.

Neste campo existem muitas possibilidades de melhoria. Estudos internacionais estimam que as melhores práticas na gestão de energia em conjunto com incitativas de TI de consolidação e virtualização podem reduzir o consumo de energia em 45%. Usualmente, as análises de eficiência energética efectuadas nestes edifícios mostram que, mesmo pequenas mudanças podem gerar grandes retornos. Seguem alguns exemplos:

- Implementação de motores de velocidade variável nos equipamentos de climatização, como por exemplo nos ventiladores das unidades interiores, bombas e ventiladores exteriores das unidades de refrigeração;
- Aumentar a temperatura da água gelada (nos sistemas de climatização que recorrem a água gelada) para um “set-point” de 9ºC. Por cada grau de aumento de temperatura da água refrigerada, existe um potencial de poupança energética de 5% para a unidade produtora de água gelada com motores de frequência variável;

- Reorganização nas salas do centro de processamento de dados para eliminar os espaços entre os bastidores. Os espaços entre os bastidores aumentam a recirculação do ar quente e prejudicam a refrigeração dos equipamentos TI, resultando em pontos quentes na sala. O equipamento TI funciona de forma mais eficiente quando não existem "espaços livres" nos bastidores. Isto pode ser obtido com recurso a painéis de preenchimento;
- Considerando uma distribuição eficiente dos equipamentos TI nas salas do centro de processamento de dados, como a criação de uma organização dos bastidores em corredor frio/corredor quente. Esta organização em combinação com unidades de climatização e ventilação adequadas pode resultar em poupanças de 5% a 12% no consumo de energia. [15]

2.3.2 Regulamentos na construção de um centro de processamento de dados

Tratando-se de infra-estruturas vitais para qualquer empresa, surgiram normas regulamentares tais como:

- TIA-942 (Norma Americana);
- EN 50173-5 (Norma Europeia);
- ASHRAE TC9.9 – Thermal Guidelines for Data Processing Environments.

Organization	*BICSI*	*TIA*	*ISO*	*CENELEC*	*ASHRAE*	*ICREA*
Standard	BICSI 002 (2014)	TIA 942A (2012)	ISO 24764 (2010)	EN 50173-5 / EN 50600	ASHRAE TC9.9	ICREA-Std-131-2013
Recognition	Worldwide	US /Canada (Int'l)	Worldwide	EU (Int'l)	US/Canada (Int'l)	Int'l (21 Countries)
Areas Covered						
Electrical	Yes			Yes		Yes
Mechanical	Yes				Yes	
Telecom	Yes	Yes	Yes	Draft		Yes
Environment	Yes	Yes		Yes	Yes	Yes
Site	Yes					
Security	Yes			Draft		Yes

Tabela 1 - Áreas de aplicação das diversas normas para centros de processamento de dados

A Norma Americana, TIA-942, aprovada em 2005 é actualmente a norma mais utilizada. Esta norma assenta em diversas referências como podemos observar na ilustração abaixo:

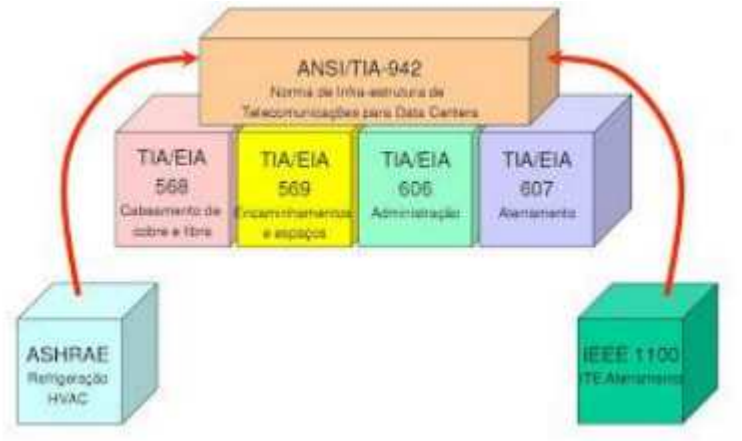


Ilustração 10 - Referências da norma TIA 942 [16]

Este documento normativo descreve como se deve organizar fisicamente o centro de processamento de dados, definindo todos os elementos a considerar como os compartimentos base e seus requisitos essenciais (temperatura, humidade relativa, pavimento falso, entre outros). Para além disso a noma define as classificações TIER, que servem para mensurar o nível da infra-estrutura de um local destinado ao funcionamento de um centro de processamento de dados.

A classificação TIER, criada em meados de 1990, nasceu com o objectivo central de orientar o projecto de uma topologia de centro de processamento de dados que proporcionasse elevados níveis de disponibilidade ditados pelas estratégias e regras de negócios dos seus clientes. Resumindo, permite quantificar o quão preparados estão os centros de processamento de dados para lidar com problemas. É essencial, na hora de contratar serviços, observar se o centro de processamento de dados escolhido para processar as aplicações da empresa, está em conformidade com as boas práticas de mercado e preparado para dar respostas rápidas em caso de incidentes.

Uma das formas de avaliar esse requisito é verificar se o centro possui certificações internacionais e se está enquadrado na classificação TIER. O sistema de

TIER é dividido em quatro níveis (I, II, III e IV) que focam a topologia e a *performance* do ambiente do centro de processamento de dados, avaliando se o local oferece disponibilidade de processamento de acordo com as necessidades das empresas. A classificação compara as instalações do prestador de serviços com base no desempenho ou tempo de funcionamento esperado pelo *site*.

Tier	Disponibilidade	Downtime anual
1	99,971%	28,8 horas
2	99,749%	22,0 horas
3	99,982%	1,6 hora (95 minutos)
4	99,995%	0,4 hora (26 minutos)

Tabela 2 - Disponibilidade dos serviços nas classificações TIER [16]

Segundo o *Uptime Institute*, a classificação TIER permite também que as empresas alinhem o investimento em infra-estruturas do centro às metas das estratégias de crescimento e de tecnologia. Cada um dos quatro níveis permite alinhar uma função específica no mundo de negócios e estabelece os critérios apropriados para fornecimento de energia, climatização do local, manutenção e capacidade de suportar uma falha ou incidente. Esta classificação é progressiva e incorpora as exigências de todas as camadas mais baixas. As empresas escolhem os fornecedores de serviços pelo nível que melhor atende às necessidades dos seus negócios. As empresas que seleccionam um TIER I e II normalmente não dependem da entrega de produtos e serviços em tempo real. Já os negócios que precisam ficar *online* vinte e quatro horas, sete dias por semana, como é caso dos bancos, sites de vendas online ou outros serviços de missão crítica, precisam que a sua rede e aplicações estejam disponíveis em contínuo. Normalmente, essas companhias vão optar por fornecedores com TIER III ou IV. Esses serviços são geralmente utilizados por organizações que conhecem os custos de uma ruptura e o impacto sobre a receita com a queda dos sistemas.

As classificações TIER são assim divididas:

Nível de TIER	Requisitos
I	• Caminho de distribuição único e não redundante que serve os equipamentos TI; • Componentes de capacidade não redundantes; • Infra-estrutura do local básico garantindo disponibilidade de 99,671%;
II	• Cumpre todos os requisitos da TIER I; • Infra-estrutura do local com componentes de capacidade redundante, garantindo a disponibilidade de 99,741%;
III	• Cumpre todos os requisitos da TIER I e II; • Múltiplos caminhos de distribuição independentes, que servem os equipamentos TI; • Todos os equipamentos TI devem possuir dupla alimentação e serem totalmente compatíveis com a topologia da arquitectura do local; • Infra-estrutura local paralelamente sustentável, garantindo a disponibilidade de 99,982%;
IV	• Cumpre todos os requisitos da TIER I, II e III; • Todos os equipamentos de climatização são independentes e com dupla alimentação eléctrica; • Infra-estrutura do local tolerante a falhas, com instalações de armazenamento e distribuição de energia eléctrica, garantindo a disponibilidade de 99,995%;

Tabela 3 - Principais características das classificações TIER [16]

A construção de um centro de processamento de dados pode ser dividida nas seguintes categorias:

- Telecomunicações;
- Arquitectura e estrutura;
- Sistema eléctrico;
- Mecânico.

Para obtenção da classificação TIER, cada categoria da lista acima deverá ser classificada primeiramente, sendo que a classificação TIER do centro de processamento de dados é igual à categoria com o TIER mais baixo. Por exemplo, se um centro possuir para a categoria sistema eléctrico um TIER III, mas na categoria mecânico for TIER II, a classificação geral do centro é TIER II, como tal, é essencial que os investimentos em infra-estruturas sejam ponderados e distribuídos nas diversas categorias de forma a se obter a classificação necessária.

Tendo em conta que esta dissertação apenas foca os sistemas de climatização num centro de processamento de dados, é necessário descrever os requisitos a este nível para as diversas classificações TIER:

- **TIER I:**

O sistema de climatização inclui unidades de climatização simples ou múltiplas, com a capacidade de arrefecimento para manter a temperatura e humidade relativa do espaço em condições de projecto, com nenhuma unidade redundante. Se estas unidades de climatização são alimentadas por um sistema de produção de água gelada, os componentes destes sistemas são igualmente dimensionadas para manter as condições de projecto, sem unidades redundantes. As tubagens, neste tipo de sistemas, são únicas, em que uma falha numa secção da tubagem irá causar a interrupção parcial ou total do sistema de climatização. Se um gerador é fornecido, todos os equipamentos de climatização devem ser alimentados pelo sistema gerador.

- **TIER II:**

Este nível inclui várias unidades de climatização com a capacidade de arrefecimento para manter a temperatura e humidade relativa do espaço em condições de projecto, com uma unidade redundante do tipo N + 1. Se estas unidades são alimentadas por um sistema de produção de água gelada, os componentes desses sistemas também são dimensionados para manter as condições de projecto, com uma unidade redundante. As tubagens são únicas, que em caso de uma falha numa secção, irá causar a interrupção parcial ou total do sistema de climatização. O sistema deve ser projectado para operação contínua e incorporar um mínimo de redundância N + 1, nas unidades de climatização. As unidades implementadas nas salas do centro de processamento de dados devem ser instaladas com redundância N + 1, mas com um mínimo de uma unidade redundante para cada três ou quatro unidades necessárias.

Os sistemas de bombagem de água gelada devem ser instalados com sistema de bomba dupla e com controlo automático e manual. Cada bomba deve ser alimentada electricamente a partir de quadros eléctricos diferentes.

A insuflação de ar para o centro de dados deve ser dimensionada de acordo com os tipos e *layout* dos bastidores de servidores instalados. O sistema de arrefecimento de ar deve ter capacidade suficiente para suportar a carga total de calor libertada pelos equipamentos, iluminação, meio-ambiente, e manter os níveis de humidade relativa constante. O ar climatizado deve ser distribuído ao equipamento através do espaço de acesso entre o pavimento falso e o pavimento real sendo que existem grelhas de pavimento com registo para regulação de caudal que permitem a saída do ar para a sala. Nesta sala e outros espaços associados deve ser mantida a pressão positiva para os compartimentos não relacionados com o centro de processamento de dados, bem como para o exterior.

Os circuitos de potência eléctrica para o sistema de climatização devem ser distribuídos por diversos quadros eléctricos para minimizar as falhas do sistema eléctrico no sistema de climatização. Todos os sistemas de controlo de temperatura devem ser alimentados através de circuitos dedicados redundantes da UPS.

Deve ser instalado um gerador para fornecer energia ininterruptamente aos equipamentos responsáveis pela climatização. O tanque de armazenamento de combustível para o gerador deve ser dimensionado para fornecer no mínimo, 24 horas de funcionamento com as condições de projecto para a carga total. Deve existir redundância e isolamento no sistema de armazenamento de combustível para garantir que a contaminação do sistema de combustível ou uma falha mecânica no sistema de combustível não afecte o funcionamento do gerador.

- **TIER III:**

O sistema de climatização de uma instalação de nível III inclui várias unidades de climatização com a capacidade de arrefecimento para manter a temperatura e humidade relativa do espaço em condições de projecto, com unidades redundantes suficientes para permitir uma falha ou serviço de um quadro eléctrico. Se estas unidades de climatização são alimentadas por um sistema de produção de água gelada, os componentes deste sistema são igualmente dimensionadas para manter as condições de projecto, com um quadro eléctrico fora de serviço. Deve existir dois

sistemas de tubagens, também redundantes que, em caso de falha ou manutenção, não causem interrupções do sistema de climatização.

Os equipamentos redundantes devem ser suficientes para colocar fora de serviço algum equipamento que necessite de manutenção, sem afectar o sistema de climatização. Tendo em conta o número de unidades interiores de climatização instaladas, e considerando os factores de manutenção e de redundância, os circuitos de tubagem para estas unidades devem ser divididos. Cada sala deve ter bombas de circulação independentes, em que a água gelada deverá ser fornecida a partir de um circuito central em anel. Os circuitos de água devem ser localizados no perímetro do edifício e estar instalados numa calha, no pavimento falso, para que as fugas de água que possam ocorrer permaneçam nessa mesma calha. Devem ser instalados na calha, sensores de detecção de água. As linhas de água gelada devem ser totalmente isoladas e redundantes. A alimentação eléctrica deve ser fornecida às unidades de climatização, alternadamente proveniente de quadros eléctricos diferentes, de forma a se obter redundância elétrica. Todos os equipamentos de climatização devem ser apoiados por gerador.

- **TIER IV:**

O sistema de climatização de uma instalação de nível IV inclui várias unidades de climatização com a capacidade de arrefecimento suficiente para manter a temperatura e humidade relativa do espaço em condições de projecto, com unidades redundantes suficientes para permitir falha ou serviço de um quadro eléctrico. Se estas unidades de climatização são alimentadas por um sistema de produção de água gelada, os componentes deste sistema são igualmente dimensionados para manter condições de projecto, com um quadro eléctrico fora de serviço. Os circuitos de potência eléctrica para o sistema de climatização devem ser distribuídos por diversos quadros eléctricos para minimizar as falhas do sistema eléctrico no sistema de climatização.

Tendo em conta o número de unidades interiores de climatização instaladas, e considerando os factores de manutenção e de redundância, os circuitos de tubagem para estas unidades devem ser divididos. Cada sala deve ter bombas de circulação independentes em que a água gelada deverá ser fornecida a partir de um circuito

central em anel. Os circuitos de água devem estar localizados no perímetro do edifício e instalados numa calha no pavimento falso para que as fugas de água, que possam ocorrer, permaneçam nessa mesma calha. Devem ser instalados, na calha, sensores de detecção de água. As linhas de água gelada devem ser totalmente isoladas e redundantes. A alimentação eléctrica deve ser fornecida às unidades de climatização alternadamente e provir de quadros eléctricos diferentes, de forma a se obter redundância elétrica. Devem possuir sistemas de armazenamento de água. Todos os equipamentos de climatização devem ser apoiados por gerador.

Table 11. Rating reference guide (mechanical)

	TIER 1	TIER 2	TIER 3	TIER 4
MECHANICAL				
General				
Routing of water or drain piping not associated with the data center equipment in data center spaces	Permitted but not recommended	Permitted but not recommended	Not permitted	Not permitted
Positive pressure in computer room and associated spaces relative to outdoors and non-data center spaces	No requirement	Yes	Yes	Yes
Floor drains in computer room for condensate drain water, humidifier flush water, and sprinkler discharge water	Yes	Yes	Yes	Yes
Mechanical systems on standby generator	No requirement	Yes	Yes	Yes
Water-Cooled System				
Indoor Terminal Air Conditioning Units	No redundant air conditioning units	One redundant AC Unit per critical area	Qty. of AC Units sufficient to maintain critical area during loss of one source of electrical power	Qty. of AC Units sufficient to maintain critical area during loss of one source of electrical power
Humidity Control for Computer Room	Humidification provided	Humidification provided	Humidification provided	Humidification provided
Electrical Service to Mechanical Equipment	Single path of electrical power to AC equipment	Single path of electrical power to AC equipment	Multiple paths of electrical power to AC equipment. Connected in checkerboard fashion for cooling redundancy	Multiple paths of electrical power to AC equipment. Connected in checkerboard fashion for cooling redundancy
Heat Rejection				
Dry-coolers (where applicable)	No redundant dry coolers	One redundant dry cooler per system	Qty. of dry coolers sufficient to maintain critical area during loss of one source of electrical power	Qty. of dry coolers sufficient to maintain critical area during loss of one source of electrical power
Closed-Circuit Fluid Coolers (where applicable)	No redundant fluid coolers	One redundant fluid cooler per system	Qty. of fluid coolers sufficient to maintain critical area during loss of one source of electrical power	Qty. of fluid coolers sufficient to maintain critical area during loss of one source of electrical power
Circulating Pumps	No redundant condenser water pumps	One redundant condenser water pump per system	Qty. of condenser water pumps sufficient to maintain critical area during loss of one source of electrical power	Qty. of condenser water pumps sufficient to maintain critical area during loss of one source of electrical power
Piping System	Single path condenser water system	Single path condenser water system	Dual path condenser water system	Dual path condenser water system

	TIER 1	TIER 2	TIER 3	TIER 4
Chilled Water System				
Indoor Terminal Air Conditioning Units	No redundant air conditioning units	One redundant AC Unit per critical area	Qty. of AC Units sufficient to maintain critical area during loss of one source of electrical power	Qty. of AC Units sufficient to maintain critical area during loss of one source of electrical power
Humidity Control for Computer Room	Humidification provided	Humidification provided	Humidification provided	Humidification provided
Electrical Service to Mechanical Equipment	Single path of electrical power to AC equipment	Single path of electrical power to AC equipment	Multiple paths of electrical power to AC equipment	Multiple paths of electrical power to AC equipment
Heat Rejection				
Chilled Water Piping System	Single path chilled water system	Single path chilled water system	Dual path chilled water system	Dual path chilled water system
Chilled Water Pumps	No redundant chilled water pumps	One redundant chilled water pump per system	Qty. of chilled water pumps sufficient to maintain critical area during loss of one source of electrical power	Qty. of chilled water pumps sufficient to maintain critical area during loss of one source of electrical power
Air-Cooled Chillers	No redundant chiller	One redundant chiller per system	Qty. of chilled water pumps sufficient to maintain critical area during loss of one source of electrical power	Qty. of chillers sufficient to maintain critical area during loss of one source of electrical power
Water-cooled Chillers	No redundant chiller	One redundant chiller per system	Qty. of chillers sufficient to maintain critical area during loss of one source of electrical power	Qty. of chillers sufficient to maintain critical area during loss of one source of electrical power
Cooling Towers	No redundant cooling tower	One redundant cooling tower per system	Qty. of cooling towers sufficient to maintain critical area during loss of one source of electrical power	Qty. of cooling towers sufficient to maintain critical area during loss of one source of electrical power
Condenser Water Pumps	No redundant condenser water pumps	One redundant condenser water pump per system	Qty. of condenser water pumps sufficient to maintain critical area during loss of one source of electrical power	Qty. of condenser water pumps sufficient to maintain critical area during loss of one source of electrical power
Condenser Water Piping System	Single path condenser water system	Single path condenser water system	Dual path condenser water system	Dual path condenser water system

	TIER 1	TIER 2	TIER 3	TIER 4
Air-Cooled System				
Indoor Terminal Air Conditioning Units/Outdoor Condensers	No redundant air conditioning units	One redundant AC Unit per critical area	Qty. of AC Units sufficient to maintain critical area during loss of one source of electrical power	Qty. of AC Units sufficient to maintain critical area during loss of one source of electrical power
Electrical Service to Mechanical Equipment	Single path of electrical power to AC equipment	Single path of electrical power to AC equipment	Multiple paths of electrical power to AC equipment	Multiple paths of electrical power to AC equipment
Humidity Control for Computer Room	Humidification provided	Humidification provided	Humidification provided	Humidification provided
HVAC Control System				
HVAC Control System	Control system failure will interrupt cooling to critical areas	Control system failure will not interrupt cooling to critical areas	Control system failure will not interrupt cooling to critical areas	Control system failure will not interrupt cooling to critical areas
Power Source to HVAC Control System	Single path of electrical power to HVAC control system	Redundant, UPS electrical power to AC equipment	Redundant, UPS electrical power to AC equipment	Redundant, UPS electrical power to AC equipment
Plumbing (for water-cooled heat rejection)				
Dual Sources of Make-up Water	Single water supply, with no on-site back-up storage	Dual sources of water, or one source + on-site storage	Dual sources of water, or one source + on-site storage	Dual sources of water, or one source + on-site storage
Points of Connection to Condenser Water System	Single point of connection	Single point of connection	Two points of connection	Two points of connection
Fuel Oil System				
Bulk Storage Tanks	Single storage tank	Multiple storage tanks	Multiple storage tanks	Multiple storage tanks
Storage Tank Pumps and Piping	Single pump and/or supply pipe	Multiple pumps, multiple supply pipes	Multiple pumps, multiple supply pipes	Multiple pumps, multiple supply pipes

Tabela 4 - Características das classificações TIER dos sistemas mecânicos [16]

Para além dos sistemas de classificações existentes, a norma TIA-942 fixa alguns parâmetros no que diz respeito às condições interiores das salas dos centros de processamento de dados, nomeadamente:

- Temperatura de bolbo seco:
  - Gama permitida: 20ºC a 25ºC;
  - Set-point normal: 22ºC;
  - Controlo de temperatura:+/- 1ºC.
- Humidade relativa:
  - Gama permitida: 40% a 55%;
  - Set-point normal: 45%;
  - Controlo de humidade: +/- 5%.
- Ponto de orvalho máximo: 21ºC;
- Máxima variação de temperatura: 5ºC/h.

Também é necessário considerar que:

- As medições de temperatura e humidade devem ser feitas no ambiente com sondas instaladas a 1,5 metros acima do pavimento falso e entre três a seis metros de distância ao longo dos corredores frios;
- Deve existir uma sobrepressão entre a sala principal e as restantes áreas de forma a impedir a entrada de poeiras para o interior da sala;
- A circulação do ar deve ser feita na direcção paralela às linhas de bastidores;
- A sala principal deve receber ar novo vindo do exterior para os ocupantes. Este ar novo deve ser introduzido próximo das unidades interiores ao nível do tecto. [16]

Contudo, a norma TIA-942 ainda refere que as condições de climatização dos centros de processamento de dados podem ser encontradas com maior detalhe no documento da ASHRAE TC9.9 [17] e [19], que se irá abordar seguidamente.

A alteração das condições ambientais são importantes para os equipamentos de TI, mas também para os equipamentos de energia, especialmente onde o espaço e fluxo de ar são compartilhados pelos dois tipos de equipamentos.

A ASHRAE, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, tem vindo a consciencializar a indústria do efeito do aumento da temperatura de funcionamento nos equipamentos de TI. Em alguns casos, os equipamentos de energia podem ser submetidos a temperaturas mais elevadas do que os equipamentos informáticos. No entanto, as temperaturas mais altas podem afectar a fiabilidade dos equipamentos e diminuir o ciclo de vida útil dos mesmos. A exposição a temperaturas mais elevadas, juntamente com o facto de que o ciclo de vida útil dos equipamentos de energia é tipicamente maior do que os equipamentos de TI, aumenta a importância dos sistemas de climatização nos centros de processamento de dados. Uma ampla pesquisa em diversos equipamentos TI levou às seguintes especificações e classificações por parte da ASHRAE:

Classes (a)	Equipment Environmental Specifications							
	Product Operations (b)(c)					Product Power Off (c) (d)		
	Dry-Bulb Temperature (˚C) (e) (g)	HumidityRange, non-Condensing (h) (i)	Maximum Dew Point (˚C)	Maximum Elevation (m)	Maximum Rate of Change(˚C/hr) (f)	Dry-Bulb Temperature (˚C)	Relative Humidity (%)	Maximum Dew Point (˚C)
Recommended (applies to all A classes, evaluate ITE metrics in this paper for conditions outside this range)								
A1 to A4	18 to 27	5.5ºC DP to 60% RH and 15ºC DP						
Allowable								
A1	15 to 32	20% to 80% RH	17	3050	5/20	5 to 45	8 to 80	27
A2	10 to 35	20% to 80% RH	21	3050	5/20	5 to 45	8 to 80	27
A3	5 to 40	-12˚C DP & 8% RH to 85% RH	24	3050	5/20	5 to 45	8 to 85	27
A4	5 to 45	-12˚C DP & 8% RH to 90% RH	24	3050	5/20	5 to 45	8 to 90	27
B	5 to 35	8% RH to 80% RH	28	3050	NA	5 to 45	8 to 80	29
C	5 to 40	8% RH to 80% RH	28	3050	NA	5 to 45	8 to 80	29

Tabela 5 - Especificação das condições do ambiente dos espaços com equipamentos TI [17]

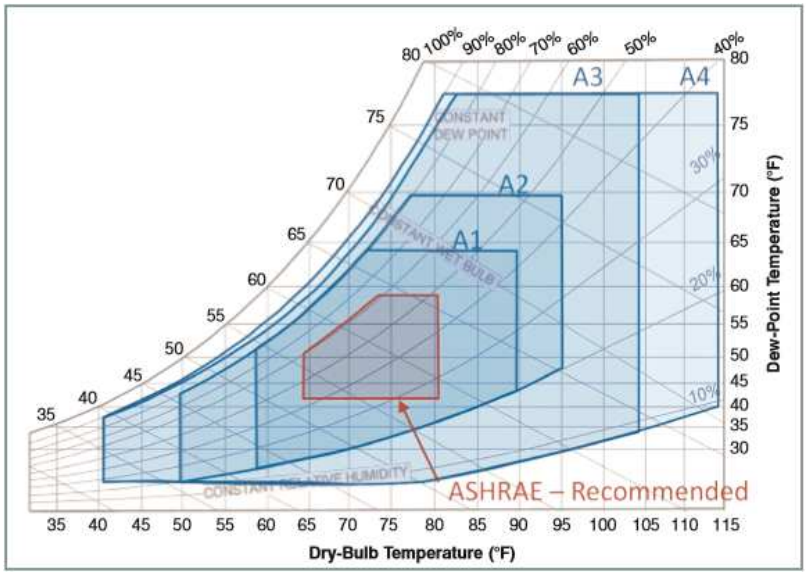


Ilustração 11 - Gráfico psicrométrico com as especificações das condições do ambiente dos espaços com equipamentos TI da ASHRAE [17]

A tabela e a ilustração acima, para além de terem em consideração a exposição dos equipamentos TI a elevadas temperaturas, também têm em consideração os seguintes pontos:

- Os custos de energia associados à operação dos sistemas de climatização;
- Os custos associados à substituição de baterias;
- Reparações nos equipamentos TI;
- Os custos associados à limpeza e manutenção dos centros de processamento de dados.

Para além dos valores apresentados na Tabela 5, existem mais detalhes para estabelecer os requisitos dos sistemas de climatização em centros de processamentos de dados, nomeadamente:

- Variação da temperatura ambiente

  Algumas empresas, com centros de processamento de dados, estabeleceram critérios para as variações máximas admissíveis nas temperaturas para evitar choques térmicos nos equipamentos TI. Esse máximo recomendável para as Classe 1 e 2 é de 5ºC/h;

- Variação da humidade relativa

  A elevada humidade relativa pode causar vários problemas nos equipamentos TI. Esses problemas incluem falhas de pó higroscópico, erros de mídia de fita, desgaste excessivo e corrosão. Em casos extremos, a condensação pode ocorrer sobre as superfícies frias dos equipamentos. A baixa humidade relativa pode resultar em descarga electrostática que pode destruir os equipamentos ou afectar negativamente a operação. Os produtos de fita e mídia podem ter erros excessivos quando expostos a uma baixa humidade relativa. A taxa de variação da humidade deve ser inferior a 5%/h;

- Filtragem e contaminação

  As poeiras podem afectar negativamente o funcionamento dos equipamentos TI, portanto, uma filtragem de alta qualidade e manutenção adequada são essenciais neste tipo de instalações. A acumulação de poeiras e outros contaminantes nas superfícies existentes podem retardar a capacidade do dispositivo de dissipar calor e deteriorar o equipamento TI.

  O ar exterior deve ser tratado de forma a remover poeiras, sais e gases corrosivos, antes de ser introduzido nas salas.

  Os níveis de poeiras podem desempenhar um papel importante na escolha da eficiência de filtragem. Certas instalações são tão críticas relativamente a poeiras, que necessitam de reduzir a contaminação por partículas através da implementação de normas utilizadas na concepção de salas limpas. Para melhorar este aspecto é necessário recorrer a uma manutenção preventiva e procedimentos habituais de funcionamento relacionados com a inspecção e substituição dos filtros;

- Ventilação e fluxo de ar

  A partir de um fluxo de ar e *design*, do ponto de vista mecânico, existem várias configurações possíveis para os equipamentos TI. No entanto, antes de embarcar numa discussão sobre o fluxo de ar é importante estabelecer as

definições padrão para as faces dos equipamentos TI e a sua montagem para que se possa usar para fazer referência à direcção do fluxo de ar.

A norma ASHRAE define uma nomenclatura padronizada para os caminhos de fluxo de ar para equipamentos TI, conforme ilustração abaixo.

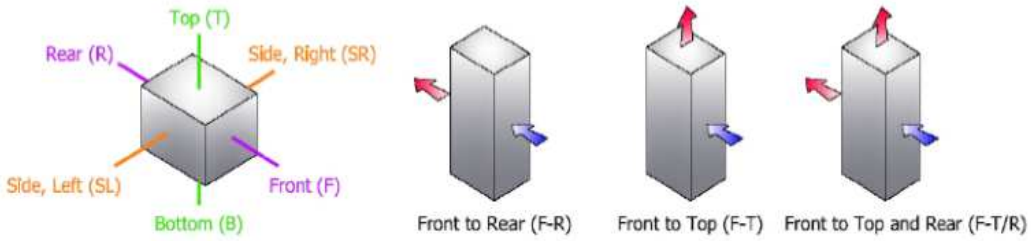


Ilustração 12 - Definição das faces dos servidores e sentidos dos fluxos de ar [17]

Front (F) – É o lado da frente do bastidor e está tipicamente virado para o corredor frio;

Rear (R) – É o lado de trás do bastidor e está tipicamente virado para o corredor quente.

O ar é o principal transportador de frio e humidade num centro de processamento de dados. Como tal, a distribuição de ar e os padrões de fluxo desempenham um papel importante na determinação da temperatura e humidade relativa das salas destes edifícios. Colocar a quantidade adequada de ar frio no local onde o calor é gerado é uma tarefa difícil. Da mesma forma, o retorno de ar quente sem se misturar com o ar frio é também importante. A recirculação e mistura excessiva do retorno de ar quente com a insuflação do ar frio podem ser prejudiciais para o desempenho e vida útil dos equipamentos TI. Além disso, o curto-circuito do retorno de ar frio para as unidades de climatização sem passar pelos servidores, pode afectar significativamente o desempenho e a eficiência energética das unidades de climatização.

Devido a um rápido aumento nas densidades de energia e calor dos servidores e outros equipamentos de processamento de dados, têm surgido novas tecnologias que envolvem abordagens inovadoras ao nível da refrigeração com líquido nos equipamentos TI. No entanto, neste momento são poucos os centros de processamento de dados que possuem equipamentos TI com sistemas de refrigeração

líquida e o arrefecimento por ar continua a ser o meio mais comum para climatizar os equipamentos TI.

Este capítulo descreve vários métodos e desafios associados na distribuição eficaz do ar frio a partir das unidades de climatização para os equipamentos TI.

A Ilustração 12 apresenta os três tipos de padrões de fluxo de ar mais utilizados (F-R; F-T; F-T/R). Tipicamente e de forma a melhorar a climatização em centros de processamento de dados, a organização dos equipamentos TI deve ser tal que permita a criação de corredores quentes e frios, conforme Ilustração 13.

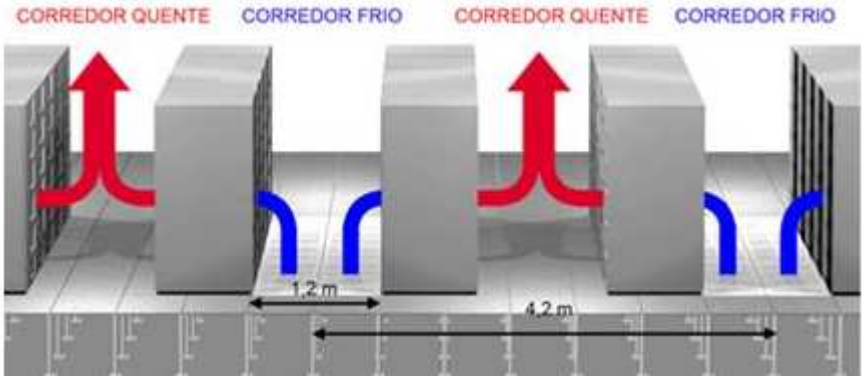


Ilustração 13 - Representação de corredores frios e quentes [17]

Desta forma, o fluxo de ar tende a ser o representado na Ilustração 14, o ar frio é insuflado no corredor frio e este ao atravessar o bastidor aquece, entrando depois no corredor quente retornando ao equipamento de climatização para ser novamente arrefecido. Tipicamente a parte da frente do bastidor está voltada para o corredor frio e a parte de trás do equipamento TI está virada para o corredor quente. Este tipo de protocolo só é funcional para os três tipos de padrões de fluxo de ar mencionados na Ilustração 12. [17]

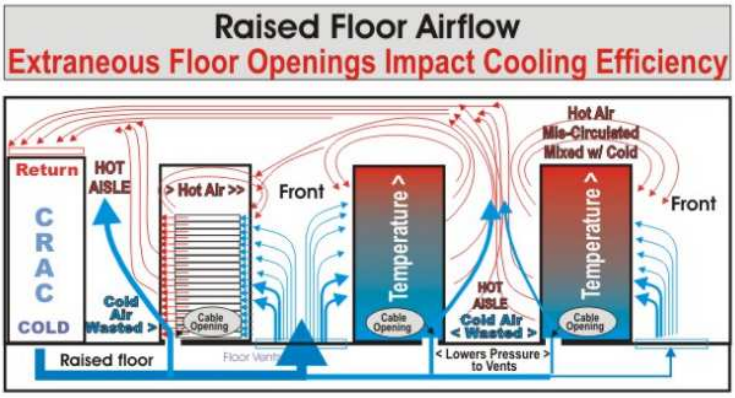


Ilustração 14 - Sentido do fluxo de ar mais utilizado

Desde a primeira publicação da ASHRAE para as condições ambientais dos centros de processamento de dados, têm surgido mudanças significativas nas condições de funcionamento dos centros de processamento de dados. Alterações do fluxo de ar e *design* ao nível dos bastidores, como a contenção de corredor quente/corredor frio são cada vez mais comuns. O *design* da maioria dos tipos de equipamentos de TI têm sofrido alterações para reduzir o consumo de energia. Uma das mudanças mais comuns está na redução da velocidade dos ventiladores das unidades de climatização, fazendo com que a temperatura aumente. Projectos e instalações de equipamentos TI futuras, terão de considerar todos estes factores e integrar com sucesso outros tipos de equipamentos TI, permitindo uma solução com pouca ou nenhuma reengenharia por parte do utilizador final. [17]

2.3.3 Eficiência energética em centros de processamento de dados

A eficiência energética é um ponto importante na concepção de centros de processamento de dados, uma vez que os custos energéticos associados à operação dos mesmos são elevados. Como tal, surgiram medidas para ajudar os proprietários e operadores a melhorar a compreensão e a eficiência energética dos seus centros de processamento de dados, bem como ajudá-los a tomar melhores decisões sobre novas implantações nos seus edifícios.

Porquê a necessidade de uma maior eficiência energética? Porque a energia para os equipamentos TI e para o sistema de climatização são os dois maiores problemas que as organizações de TI enfrentam hoje em dia, e as empresas em crescimento precisam de uma forma de controlar esses custos ao permitir uma futura expansão. Muitas empresas tradicionais estão a migrar os seus dados para a forma digital e a alavancar a tecnologia como um elemento-chave nos negócios. Com os centros de processamento de dados mais eficientes, as organizações de TI podem gerir melhor os aumentos da procura, cortar nos custos de energia e reduzir o custo total de propriedade, mantendo-se competitivas e capazes de atender a futuras oportunidades de negócio.

Com isto, surgiram alguns rácios que permitem definir a eficiência energética de um centro de processamento de dados. Os dois principais rácios para definir a eficiência energética em centros de processamento de dados são:

- Eficiência de utilização Energética (PUE)

  O PUE é a medida de quão eficientemente o centro de processamento de dados utiliza a energia, mais especificamente quanta energia é usada pelos equipamentos TI comparativamente com a energia utilizada nos sistemas de climatização e outros gastos gerais.

$$PUE = \frac{Energia\ total}{Energia\ TI} \qquad (1)$$

  A métrica PUE é o método mais utilizado para calcular a eficiência energética. Embora seja o mais eficaz, em comparação com outras métricas, esta vem com a sua quota de falhas. Alguns operadores gabam-se do seu PUE ser menor do que outros. Naturalmente não é uma surpresa que em alguns casos, um operador pode "acidentalmente" não contar a energia utilizada para a iluminação, resultando numa maior eficiência do uso de energia. Este problema está mais ligado a um erro humano e não a um problema com o sistema métrico propriamente dito.

  O problema real é que o PUE não explica o clima onde os centros de processamento de dados estão inseridos. Em particular não considera diferentes temperaturas exteriores do local. Por exemplo, um centro de processamento de dados localizado no Alasca não pode ser efectivamente comparado a um centro em Portugal. Um clima mais frio resulta numa menor necessidade de um sistema de arrefecimento. Os sistemas de climatização são responsáveis por aproximadamente 30% da energia utilizada numa instalação e como tal representam uma grande fatia nos consumos energéticos. Além disso, de acordo com um estudo feito, a carga de TI é outra questão importante da métrica PUE. É crucial que a carga TI seja precisa, quando usada para o cálculo do PUE, e que não seja baseada no uso da potência nominal do equipamento. A precisão da carga TI é um dos principais factores que afectam a medição da métrica PUE, pois a utilização dos servidores tem um efeito importante sobre o

consumo de energia dos equipamento TI e, consequentemente, no valor global PUE. Por exemplo, um centro de processamento de dados com alto valor PUE e utilização elevada dos servidores pode ser mais eficiente do que um centro com baixo valor PUE e baixa utilização dos servidores.

A métrica PUE é útil porque tem vários benefícios importantes. Em primeiro lugar as empresas que utilizam a forma como é calculada podem repeti-la ao longo do tempo permitindo que a empresa possa ver as mudanças de eficiência historicamente e durante as mudanças sazonais. Em segundo lugar as empresas podem avaliar como as práticas mais eficientes (por exemplo desligar o *hardware* inactivo) afectam o seu uso geral. Finalmente, a métrica PUE dá às empresas uma ferramenta de *marketing*, permitindo criar uma "competição" entre empresas do ramo. [18]

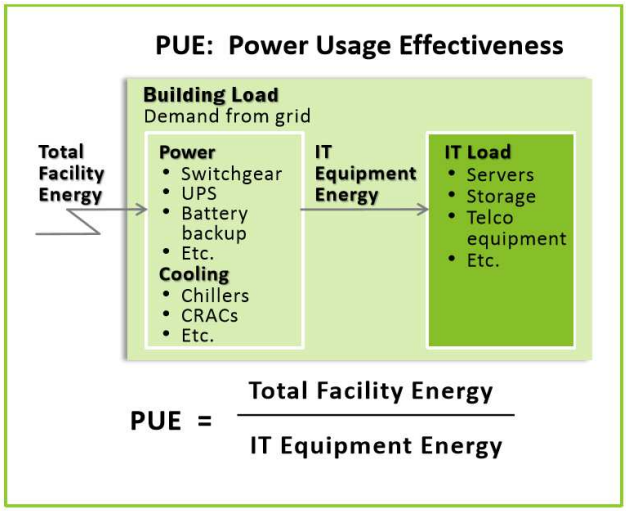


Ilustração 15 - Eficiência de utilização energética [18]

- Eficiência das infra-estruturas do centro de processamento de dados (DCiE)

Este rácio é calculado pela seguinte equação:

$$DCiE = \frac{Energia\ TI}{Energia\ total} \times 100\% \qquad (2)$$

O DCiE é o inverso do PUE e é a percentagem da energia total que está a ser utilizada pelos equipamentos TI. [18]

3. Sistemas de arrefecimento em centros de processamento de dados

3.1 Tipos de equipamentos utilizados

Antes de se abordar os sistemas de arrefecimento, é necessário mencionar os tipos de equipamentos mais utilizados nos sistemas de climatização de centros de processamento de dados.

Muitas vezes é desejável que os sistemas de climatização, que servem os centros de processamento de dados, sejam independentes de outros sistemas do edifício embora a conexão cruzada com outros sistemas possa ser desejável para apoio em caso de algo correr mal. Os equipamentos de tratamento de ar redundante são frequentemente utilizados com funcionamento automático. Um sistema completo de tratamento de ar deve fornecer ventilação, filtração de ar, arrefecimento e desumidificação, humidificação e aquecimento. Os sistemas de arrefecimento devem ser independentes de outros sistemas e podem ser necessários durante todo o ano, dependendo do projecto. As salas principais de centros de processamento de dados podem possuir uma grande variedade de sistemas, incluindo unidades de tratamento de ar para sala de computadores (CRAC). As unidades CRAC são as mais utilizadas e são especialmente concebidas para este tipo de aplicações.

As unidades CRAC estão disponíveis em vários tipos de configurações no que diz respeito ao sistema de arrefecimento, incluindo água gelada (CW), refrigeração por expansão directa arrefecida a ar (DX), refrigeração por expansão directa arrefecida a água e refrigeração por expansão directa a glicol. As unidades CRAC do tipo DX são unidades que funcionam num sistema "*Stand Alone*" e como tal possuem o seu próprio sistema de produção de frio, enquanto as unidades CRAC do tipo CW necessitam de um equipamento externo para produção de água gelada, nomeadamente um *chiller*. Este *chiller* alimentará as diversas unidades CRAC CW existentes. As unidades DX normalmente possuem compressores múltiplos com circuitos de refrigeração separados, filtros de ar, humidificadores e sistemas de controlo integrados com painéis e interfaces de monitorização remota. As resistências de aquecimento são uma opção.

As unidades CRAC também podem ser equipadas com serpentinas de pré-arrefecimento a propilenoglicol e *drycoolers* associados para permitir a operação *free cooling* (FC) do lado da água quando as condições climatéricas tornam esta solução económica. As unidades CRAC com serpentinas a água gelada também podem ser equipadas com serpentinas DX ligadas a unidades de condensação arrefecidas a ar, para fontes redundantes de arrefecimento. As unidades CRAC que utilizam água gelada para arrefecimento não contêm equipamentos de refrigeração no seu conteúdo e geralmente requerem menos manutenção, podem ser mais eficientes, oferecendo menores variações de temperatura ambiente e mais facilmente aceitam estratégias de recuperação de calor do que equipamentos DX equivalentes. [19]

Ilustração 16 - Unidades CRAC de expansão directa (extraído de *STULZ*)

As unidades CRAC são geralmente localizadas dentro da sala, mas também podem ser remotamente localizadas em salas exteriores à sala principal e canalizar o ar para o espaço a climatizar. Sejam eles remotos ou não, os sensores de temperatura e humidade devem ser localizados na sala a climatizar para controlar adequadamente as condições do ar na entrada para o equipamento TI. A análise dos padrões de fluxo de ar dentro da sala principal recorrendo a técnicas avançadas, como a dinâmica de fluidos computacional (CFD), pode ser necessária para posicionar as unidades CRAC e os sensores de temperatura e humidade correspondentes. Caso contrário, pode acontecer que os sensores estejam num local que não esteja climatizado pela respectiva unidade CRAC que controla, ou num local que não é o optimizado, e deste modo forçar o sistema de arrefecimento a gastar mais energia do que o necessário.

Outro equipamento utilizado com bastante frequência, sendo o sistema a água gelada, é a unidade produtora de frio, designada por *chiller*. Este equipamento é responsável pelo arrefecimento da água que será distribuída pelas unidades CRAC. Os *chillers* tipicamente utilizados podem ter dois tipos de rejeição de calor: ar ou água.

Os *chillers* com rejeição de calor a ar são os mais utilizados, são unidades compactas que retiram calor da água a partir de um fluido frigorígeno num ciclo de compressão. Este fluido frigorígeno circula num permutador de calor arrefecendo a água que passa no circuito secundário desse mesmo permutador. Isto faz com que o fluido frigorígeno aqueça e necessite de ser arrefecido. Este arrefecimento, neste caso, é feito recorrendo ao ar exterior. Os *chillers* com rejeição de calor por água, *chiller* água-água, têm o mesmo princípio de funcionamento, no entanto, o arrefecimento do fluido frigorígeno é feito recorrendo a outro permutador de calor em que o circuito secundário está ligado a uma torre de arrefecimento. Estes equipamentos são constituídos basicamente pelos seguintes componentes:

- Compressor;
- Válvula expansora;
- Evaporador (Permutador água gelada);
- Condensador (Permutador água da torre de arrefecimento ou serpentina com ventilador).

Ilustração 17 - *Chiller* com rejeição de calor a ar e a água

3.2 Sistemas de distribuição de ar

O controlo das temperaturas de entrada nos equipamentos TI é o objectivo final do sistema de arrefecimento. A temperatura do ar frio, efectivamente disponível nas entradas dos equipamentos, depende da dinâmica do fluxo de ar à medida que o ar é entregue a partir da saída para a sala (por exemplo, grelhas de pavimento ou difusor

perfurado no tecto) até à entrada do equipamento TI. Esta dinâmica de fluxo de ar varia muito, dependendo do método de distribuição de ar e do *layout* do espaço.

São seguidamente discutidos vários sistemas de arrefecimento das salas.

3.2.1 Insuflação e distribuição em pavimento falso (VUF)

O sistema de insuflação e distribuição em pavimento falso, mais usualmente designado por sistema VUF, é constituído pela distribuição de ar através de um espaço criado entre o pavimento real e um pavimento falso, sendo este espaço um *plenum* de insuflação. Este é, de longe, o tipo mais comum de sistema de distribuição de ar para as salas de um centro de processamento de dados. Num sistema VUF típico, o abastecimento de ar frio é realizado por unidades CRAC, que insuflam o ar no pavimento falso. O ar sai do pavimento falso através de grelhas de pavimento localizadas perto das entradas dos equipamentos TI. Sendo um sistema com deslocamento de ar de baixo para cima, uma boa regra prática é fornecer mais ar do que é necessário para os equipamentos TI. Para obter um desempenho previsível, a maioria dos centros de processamento de dados utilizando sistemas VUF são projectados para distribuir o mesmo caudal de ar através de cada grelha de pavimento. Se apenas um tipo de grelha de pavimento for implantado, o caudal de ar será uniforme no chão falso levando este a uma pressurização também uniforme.

Este tipo de sistema de deslocamento de ar é afectado por uma série de factores:

- Colocação de equipamentos TI;
- Grelhas de pavimento;
- Unidades CRAC;
- Localização e natureza das infiltrações de ar;
- Altura do pavimento falso;
- Obstruções existentes ao fluxo de ar no piso elevado.

Vantagens deste tipo de sistema:

- Um sistema VUF é flexível, em que a distribuição do ar frio pode ser modificada através da colocação e recolocação de grelhas de pavimento;

- Este sistema, sendo o mais comum para os centros de processamento de dados, é o mais conhecido para a construção, para engenheiros e operadores TI;
- A distribuição do ar no sistema VUF geralmente é compatível com um *design* mecânico redundante;
- O pavimento elevado pode proporcionar um espaço conveniente através do qual outras infra-estruturas, tais como tubagens, cabos, podem ser encaminhadas desde que isso não crie obstruções ao fluxo do ar.

Desvantagens deste tipo de sistema:

- A não ser que toda a instalação seja colocada sobre um pavimento elevado, incluindo espaços auxiliares, alguns dos espaços desse pavimento podem ser perdidos para rampas de acesso;
- Pode ser difícil manter o espaço de ar entre o pavimento elevado e o pavimento real limpo, organizado e livre de obstáculos para o fluxo de ar optimizado;
- Se o espaço debaixo do pavimento elevado é utilizado para a instalação de qualquer infra-estrutura, deve ser tomado cuidado para proporcionar uma altura adicional suficiente para esse espaço, de forma a optimizar a distribuição do fluxo de ar;
- Pode ser difícil de alcançar uma uniformização da pressão no pavimento elevado e, consequentemente, o caudal de ar previsível ou desejado através das grelhas de pavimento;
- Segurança pode ser uma preocupação. Materiais indesejáveis ou perigosos podem ser armazenados no espaço debaixo do pavimento elevado;
- Um sistema VUF a operar com caudal de ar insuficiente, em relação às necessidades dos equipamentos, pode apresentar uma descontinuidade acentuada na temperatura do ar, dentro do corredor frio, devido à recirculação de ar quente sobre ou em torno das prateleiras de servidores e nas extremidades das linhas. O equipamento localizado logo abaixo de uma altura crítica pode receber ar muito próximo da temperatura do ar frio que sai do

pavimento elevado, enquanto o equipamento localizado logo acima desta altura crítica pode receber ar que é substancialmente mais quente. [19]

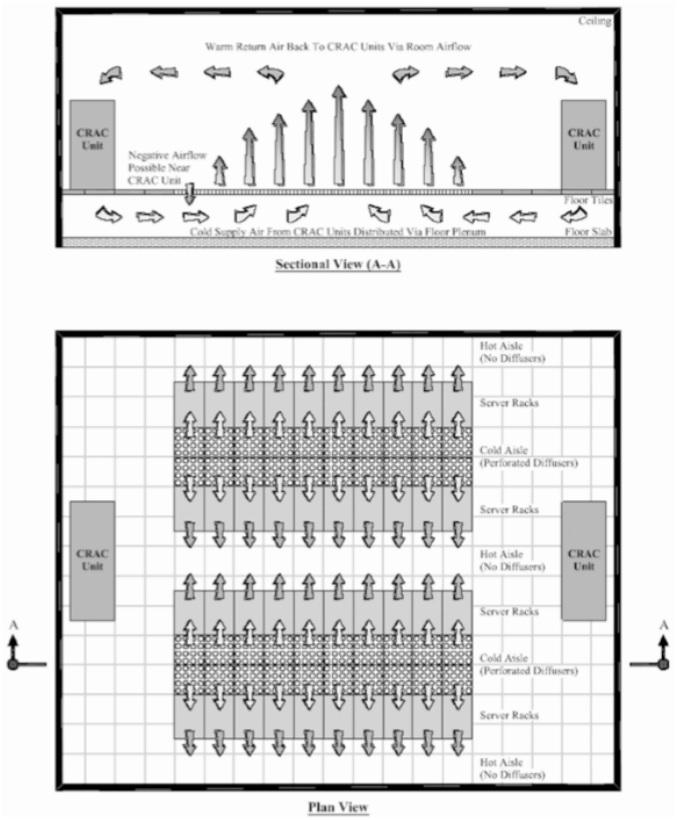


Ilustração 18 - Esquema de uma sala de um centro de processamento de dados com insuflação de ar pelo pavimento elevado [16]

3.2.2 Insuflação e distribuição no tecto (VOH)

O sistema de insuflação e distribuição no tecto, mais usualmente designado por sistema VOH, utiliza uma distribuição do ar a partir do tecto. O sistema de climatização é constituído também por unidades CRAC que distribuem o ar perto dos equipamentos TI através de condutas e difusores ao nível do tecto da sala. As várias unidades de climatização podem estar ligadas a uma ou mais condutas, dependendo do que é exigido para o sistema de redundância. O retorno de ar quente está normalmente localizado em pontos altos da sala. O sistema VOH é o tipo mais comum de método de distribuição de ar para escritórios de telecomunicações.

Tal como acontece com o sistema VUF, a dinâmica do fluxo de ar na sala determina as temperaturas reais de entrada nos equipamentos TI. Sendo este um sistema com deslocamento de ar de cima para baixo, um boa regra prática é fornecer um pouco menos ar do que necessário para os equipamentos TI. Ao contrário de um

sistema de arrefecimento VUF em que o ar se desloca envolta do ar quente, um sistema VOH é tipicamente desenhado para uma maior mistura de ar frio com o ar ambiente envolvente, antes de ser fornecido ao equipamento TI.

Este tipo de sistema de deslocamento de ar é afectado por uma série de factores:

- Localização de equipamentos TI;
- Localização de condutas e difusores;
- Unidades CRAC;
- Localização e natureza das infiltrações de ar;
- Caminhos de retorno de ar quente;
- Obstruções existentes ao fluxo de ar acima dos equipamentos TI.

Vantagens deste tipo de sistema:

- A rede de conduta deste tipo de sistema pode ser equilibrada de maneira simples e previsível;
- Com este sistema existe uma maior mistura de ar frio e ar quente levando a menores caudais de ar, quando comparado com o sistema VUF. Isto, também leva a que a temperatura de saída da serpentina de frio possa ser inferior à da recomendada para os equipamentos TI, uma vez que existirá uma mistura com ar quente que vai aumentar para a temperatura correcta.

Desvantagens deste tipo de sistema:

- Para os sistemas que utilizam grandes condutas de ar, estas podem interferir com alguns dos caminhos de retorno do ar. Esta questão precisa de ser estudada durante o processo de *design* da sala para garantir que existe área livre suficiente na sala permitindo o retorno do ar correcto;
- Embora os sistemas de condutas possam ser equilibrados para responder à localização de cargas dentro de um espaço, o procedimento de equilíbrio pode ser mais complexo do que a simples relocalização de difusores, tal como acontece em sistemas do tipo VUF;

- As velocidades do ar nos corredores frios em sistemas do tipo VOH são normalmente mais elevadas do que as encontradas em sistemas VUF. Isso pode levar a queixas relacionadas com o conforto das pessoas que trabalham no espaço;
- É necessário ter cuidados na utilização de unidades do tipo CRAC utilizando sistemas de condutas, uma vez que a pressão estática disponível dessas unidades é tipicamente mais limitada. [19]

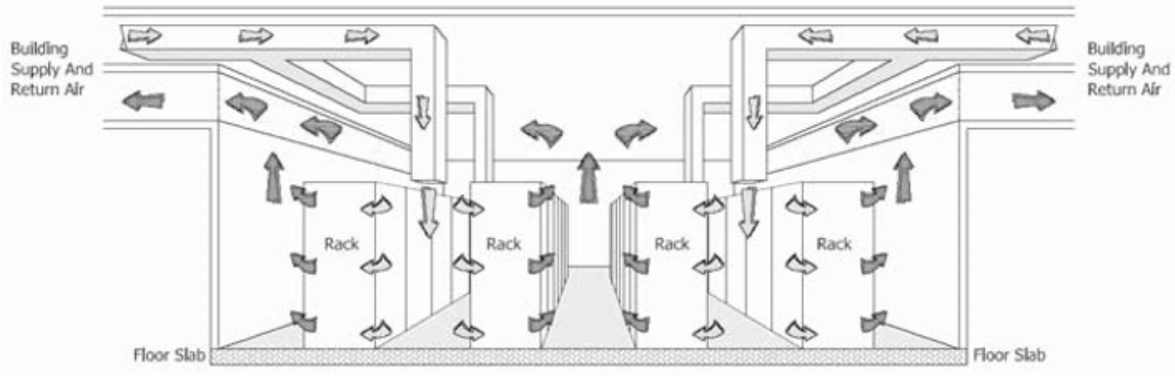


Ilustração 19 - Esquema de uma sala de um centro de processamento de dados com insuflação de ar pelo tecto [16]

3.2.3 Insuflação horizontal (HDP)

O sistema de distribuição de ar do tipo HDP introduz ar na horizontal a partir de uma extremidade do corredor frio. Um grande volume de ar ligeiramente arrefecido move-se ao longo do corredor a velocidade baixa. Posteriormente, o equipamento TI retira o ar frio necessário do corredor. Este sistema exige que uma grande percentagem do pavimento falso seja reservado para grandes grelhas ou difusores, que são necessários para este tipo de deslocamento funcionar. Adicionalmente o comprimento dos corredores e a densidade de calor no equipamento são desvantagens a ter em consideração.

3.2.4 Convecção natural superior (NOH)

Este tipo de sistema é pouco usado. Neste sistema são suspensas serpentinas de arrefecimento. Estas unidades arrefecem o ascendente ar quente fazendo-o descer novamente. Este mecanismo não necessita de ventiladores ou condutas.

3.2 Tipos de instalação

Os tipos de sistemas de arrefecimento são determinados tendo em conta diversos factores. O espaço disponível é fundamental e permite logo definir se existe a possibilidade da instalação de uma central produtora de água gelada.

- Sistemas com unidades CRAC do tipo DX

  Neste sistema cada CRAC trabalha "*stand alone*" dependo de si própria para realizar a função desejada. Esta unidade é subdividida em duas componentes, a unidade interior e a unidade exterior. A unidade interior contém a grande parte dos equipamentos para o bom funcionamento, ficando no exterior apenas a serpentina que fará a permuta de calor entre o fluido frigorígeno e o ar, evitando assim grandes manutenções no exterior.

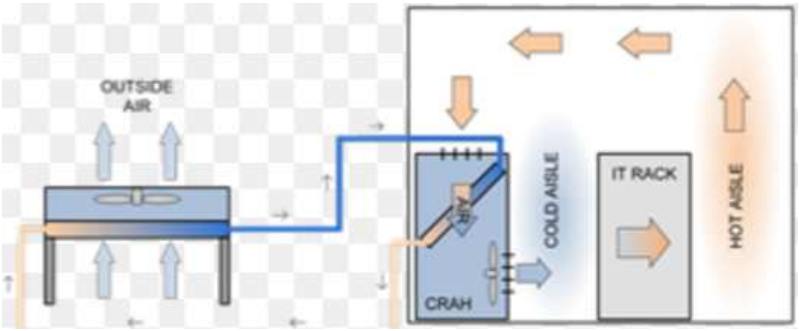


Ilustração 20 - Esquema de funcionamento de uma sala com climatização através de unidades CRAC do tipo DX

- Sistema com unidades CRAC do tipo CW com *chiller* ar-água

  Este tipo de sistema é o mais convencional e utilizado. Consiste na unidade CRAC do tipo CW que possui uma serpentina onde circula água gelada, proveniente do *chiller* ar-água que está na central de produção de água gelada no exterior do edifício. Neste sistema é necessário a criação de uma rede de tubagem para circulação de água gelada bem como a utilização de bombas de

circulação. Esta solução permite apenas ter um produtor para todas as unidades CRAC existentes. Tem o inconveniente de que se a unidade produtora avariar toda a instalação fica sem capacidade de arrefecimento.

Ilustração 21 - Esquema de unidades CRAC do tipo CW com *chiller* com rejeição de calor a ar (extraído de *STULZ*)

- Sistema com unidades CRAC do tipo CW com chiller água-água

  Este tipo de sistema é idêntico ao anterior diferindo apenas no tipo de produtor de água gelada, neste caso um *chiller* água-água. Este permite que o *chiller* fique no interior do edifício ficando apenas a torre de arrefecimento no exterior.

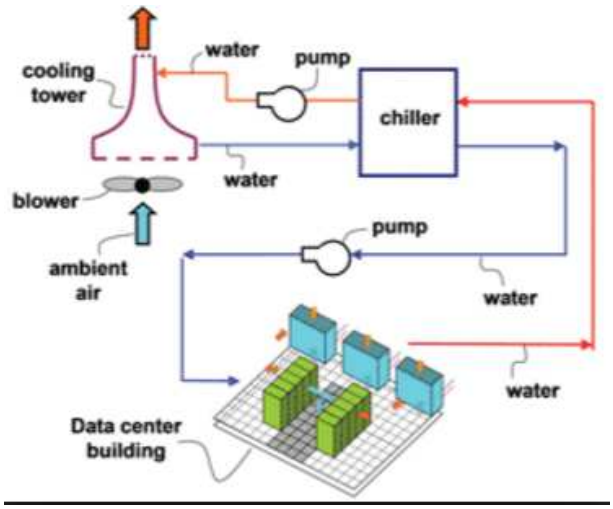


Ilustração 22 - Esquema de uma instalação com unidades CRAC do tipo CW com *chiller* com rejeição de calor a água

3.3 Sistemas de arrefecimento gratuito

As instalações dotadas de arrefecimento gratuito, *free-cooling* (FC), são hoje em dia um recurso para reduzir os custos de operação em climatização, pois permite manter ou reduzir a temperatura interna sem a necessidade de fazer funcionar o compressor no sistema de refrigeração. Esta técnica de arrefecimento passa pelo aproveitamento da temperatura exterior quando esta é inferior à temperatura no interior da sala.

Existem diversos tipos de sistemas para o arrefecimento gratuito. No caso do centro de processamento de dados os principais são:

- Arrefecimento gratuito do ar;
- Arrefecimento gratuito da água.

3.4.1 Arrefecimento gratuito do ar

Este equipamento, que também pode ser designado como "*Air-side Economizer*" - Economizador, utiliza apenas o ar exterior para proceder à remoção de uma carga crescente interior, isto é, de acordo com determinados parâmetros, proceder à

climatização de um determinado local, sem a utilização da serpentina de frio das unidades CRAC.

Esta técnica é utilizada usando uma mistura entre o ar exterior e um sistema de recirculação através de um sistema automático de mistura de ar. Registos motorizados são colocados para controlar o ar inserido através das condutas, o ar retirado e o ar para recirculação. Quando o ar exterior for mais frio que o ar interior, a quantidade de ar novo é aumentada e a quantidade de ar recirculado é reduzido para obter a temperatura necessária do ar fornecido. Deste modo, o arrefecimento através de equipamento de refrigeração é completamente evitado em determinadas alturas do ano e muitas das vezes durante a noite.

Quando a temperatura do ar exterior é mais elevada que a do interior, no Verão, o sistema de mistura do ar irá modular para o mínimo de ar exterior, para manter a carga no equipamento de refrigeração para um mínimo, embora garantindo que a quantidade de ar novo introduzida no edifício é suficiente para atender às exigências de ocupação, oferecendo uma melhoria considerável na qualidade do ar.

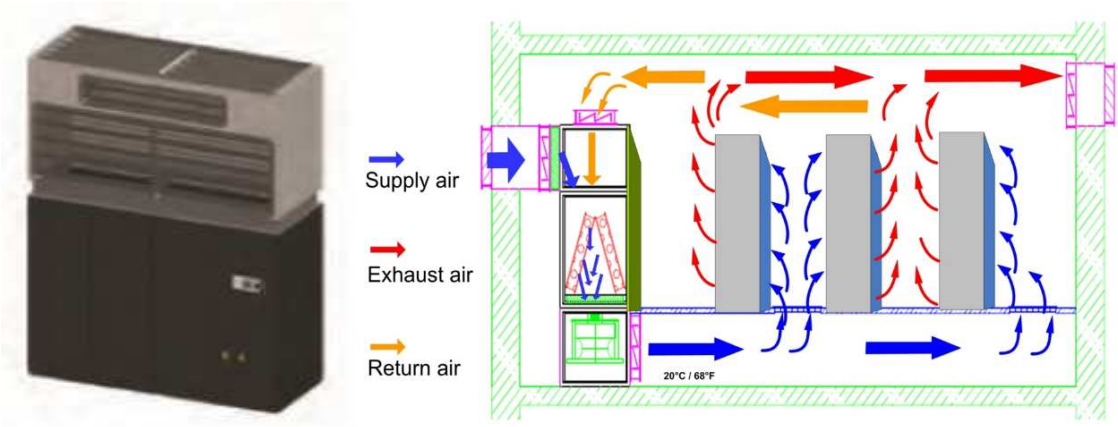


Ilustração 23 - Esquema do sistema de arrefecimento gratuito do ar

Este processo é amplamente utilizado em países, como os Estados Unidos da América, onde em determinados Estados a sua utilização é obrigatória. Em Portugal a sua utilização é bastante menor. Em alguns casos, quando existe um deficiente controlo da operação do economizador, os resultados obtidos podem ser negativos, uma vez que, no caso de existir um sistema descontrolado, a quantidade de ar novo

insuflado pode ser em demasia, e induz a mais gastos do que reduções do custo de operação. Este factor pode induzir uma opinião negativa sobre a utilização deste sistema. Outro problema que se verifica nos sistemas adotados com economizador é a deficiente manutenção do sistema de registos. Este equipamento é tão relevante quanto o uso de um correto controlo de funcionamento, e requer manutenção para exercer correctamente a sua função.

A implementação deste sistema numa unidade CRAC pode ser feita quer pela introdução de um sistema de registos motorizados, quer pela introdução de um módulo de registos com ligação às condutas de retorno, extração e ar novo da unidade. Na sua forma mais básica, estes sistemas incluem os seguintes componentes:

- **Registo de admissão de ar exterior:** regula a quantidade de ar exterior que entra no edifício;
- **Registo de ar de retorno**: regula a quantidade de ar de retorno que é recirculado no edifício;
- **Registo de ar de exaustão**: regula a quantidade de ar de retorno que é retirado do edifício;
- **Sensor de temperatura exterior**: Mede a temperatura do ar exterior;
- **Controlador lógico**: Recebe um sinal do sensor anterior, decidindo depois se o registo de admissão deve abrir ou fechar.

Quando o controlador lógico determina que a temperatura do ar exterior (ou entalpia, em alguns casos) é baixa o suficiente para reduzir a carga de arrefecimento, o registo de admissão é completamente aberto, desligando o sistema de arrefecimento.

Quando a temperatura exterior torna-se demasiado alta para fornecer arrefecimento ao espaço, o registo de admissão move-se para uma posição onde deixa entrar uma quantidade de ar novo mínima (baseado nas exigências de ar novo), o registo de ar de retorno abre e o de exaustão fecha, funcionando o sistema de arrefecimento para arrefecer o edifício. [20]

De todo este processo resulta uma poupança significativa de energia, um menor encargo energético e uma menor manutenção. A melhoria na qualidade do ar irá

também oferecer uma experiência mais positiva para as pessoas que utilizam o espaço.

Vantagens com a utilização de FC:

- Redução de horas de utilização do compressor;
- Redução dos gastos energéticos e custos de funcionamento;
- Melhor qualidade do ar para uma grande parte do ano ao introduzir maiores quantidades de ar novo;
- Redução dos custos do ciclo de vida do compressor ao reduzir as horas de funcionamento;
- Aumento do ciclo de vida do compressor.

Principais desvantagens da utilização de FC:

- Eficácia do sistema vinculada às condições ambientais;
- Implementar um sistema de arrefecimento gratuito num sistema de climatização que não esteja previamente preparado para tal, pode envolver elevados custos iniciais.

A Norma ASHRAE 90.1-2004 apresenta um subcapítulo onde aborda o tema "*Air-side Economizer*". Esta norma é aplicada principalmente para o clima dos Estados Unidos da América. [21]

Para além disso a norma também aborda o tema do "*High-Limit Shutoff*" (HLS) para economizadores. O HLS indica o valor máximo de temperatura ou entalpia para o qual é possível ainda exercer arrefecimento gratuito do ar, ou seja, para um determinado valor de temperatura exterior que ainda permita obter redução de energia utilizada pela serpentina de frio. Segundo a norma, os valores máximos de temperatura e entalpia, dependendo do tipo de clima, são os apresentados na Tabela 6.

Device Type	Climate	Required High Limit (Economizer Off When):	
		Equation	Description
Fixed Dry Bulb	1b,2b,3b,3c,4b,4c,5b,5c,6b,7,8 5a,6a,7a All Other Zones	$T_{OA} > 75°F$ $T_{OA} > 70°F$ $T_{OA} > 65°F$	*Outdoor air* temperature exceeds 75°F *Outdoor air* temperature exceeds 70°F *Outdoor air* temperature exceeds 65°F
Differential Dry Bulb	1b,2b,3b,3c,4b,4c,5a,5b,5c,6a,6b,7,8	$T_{OA} > T_{RA}$	*Outdoor air* temperature exceeds return air temperature.
Fixed Enthalpy	All	$h_{OA} > 28$ Btu/lb[a]	*Outdoor air* enthalpy exceeds 28 Btu/lb of dry air[a]
Electronic Enthalpy	All	$(T_{OA}, RH_{OA}) > A$	*Outdoor air* temperature/RH exceeds the "A" set point curve[b]
Differential Enthalpy	All	$h_{OA} > h_{RA}$	*Outdoor air* enthalpy exceeds return air enthalpy
Dew Point and Dry-Bulb Temperature	All	DP_{oa}>55°F or T_{oa}>75°F	*Outdoor air* dry bulb exceeds 75°F or outside dew point exceeds 55°F (65 gr/lb)

a At altitudes substantially different than sea level, the Fixed Enthalpy limit shall be set to the enthalpy value at 75°F and 50% relative humidity. As an example, at approximately 6000 ft elevation the fixed enthalpy limit is approximately 30.7 Btu/lb.

b Set point "A" corresponds to a curve on the psychrometric chart that goes through a point at approximately 75°F and 40% relative humidity and is nearly parallel to dry-bulb lines at low humidity levels and nearly parallel to enthalpy lines at high humidity levels.

Tabela 6 - Limites máximos para controlo de economizadores [21]

Analisando a Tabela 6, verifica-se que existem seis géneros possíveis de HLS, resultando em diferentes opções com a finalidade do controlo se ajustar melhor ao tipo de clima das instalações.

O primeiro género apresenta o ponto HLS assente numa temperatura de bolbo seco fixa, isto é, o economizador é desligado quando a temperatura exterior excede um determinado valor fixo definido.

O segundo género, temperatura de bolbo seco diferencial, anula o economizador caso se verifique que a temperatura exterior é mais quente do que a temperatura interior.

Já o terceiro tipo de controlo de economizador, de entalpia fixa, desliga o equipamento quando o ar exterior ultrapassa um determinado valor de entalpia.

O quarto tipo diz respeito à entalpia controlada electronicamente, e é utilizado para desactivar o economizador quando o ar exterior ultrapassa uma determinada temperatura de bolbo seco/ponto de orvalho (lido por sensores de humidade).

De seguida o quinto tipo, entalpia diferencial, desactiva o economizador quando a temperatura exterior excede a temperatura do ar de retorno.

E finalmente o último tipo de controlo de economizadores, ponto de orvalho e bolbo seco, que é utilizado para desactivar o economizador quando a temperatura exterior excede um determinado valor de bolbo seco ou um determinado valor de ponto de orvalho.

Estes modos de operação dos economizadores são adequados a determinados climas. Dependendo do clima da região de operação, o tipo de controlo será aquele que melhor se adeqúe às condições do ar exterior. A Tabela 6 apresenta os modos de controlo dos economizadores em função dos diferentes climas dos Estados Unidos da América representados pela Ilustração 24, país de onde a Associação ASHRAE é proveniente.

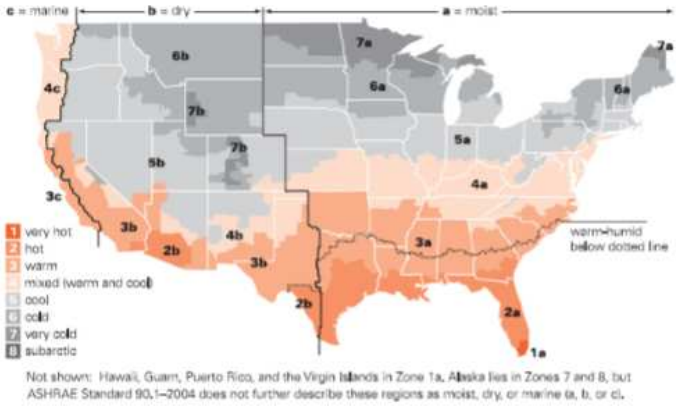


Ilustração 24 - Representação dos diversos climas e referências dos mesmos nos Estados Unidos da América (extraído de *TRANE*)

3.4.2 Arrefecimento gratuito da água

Os economizadores, do lado da água, usam as condições exteriores de temperatura de bolbo seco ou de bolbo húmido frio, para gerar água para o condensador que pode parcialmente ou totalmente atender aos requisitos de arrefecimento da instalação. Este tipo de arrefecimento pode ser aplicado nos diversos equipamentos existentes num centro de processamento de dados, nomeadamente nas unidades CRAC e nos *chillers*.

No caso das unidades CRAC, tendo em conta, como já descrito anteriormente, que existem diversos sistemas de arrefecimento, sendo o sistema DX é o que mais permite efectuar arrefecimento gratuito uma vez que nas unidades CRAC do tipo CW esse arrefecimento gratuito fará todo o sentido em ser feito ao nível do *chiller*.

O arrefecimento gratuito nas unidades CRAC do tipo DX baseia-se na utilização de duas serpentinas internas, uma que circula fluido frigorígeno e outra que circula água/glicol. O fluido frigorígeno circula, com a ajuda do compressor, entre a serpentina interna e um permutador de placas em que no outro lado do permutador circula

também água/glicol. Isto permite no exterior ter apenas uma unidade, *drycooler*, e um conjunto de válvulas de três vias que selecciona para onde vai a água/glicol, ou para a serpentina interior de água ou para o permutador para arrefecer o fluido frigorígeno. [22]

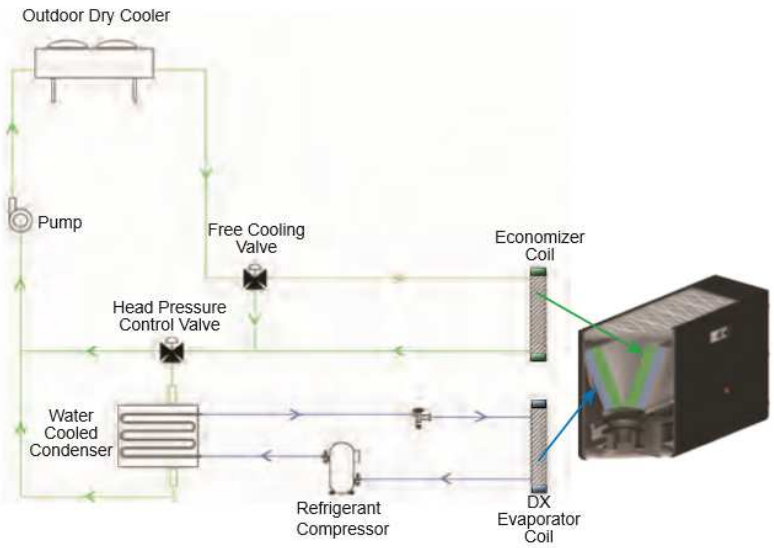


Ilustração 25 - Representação das unidades CRAC com arrefecimento gratuito da água (extraído de *STULZ*)

Ao nível dos sistemas com produção central de água gelada, ou seja, sistema com unidades CRAC do tipo CW e *chiller*, o principal sistema de FC deve ser aplicado no *chiller* uma vez que é este o principal produtor de frio e como tal, aquele que mais energia consome.

Dependendo do tipo de *chiller* aplicado, ar-água ou água-água, os sistemas de FC diferem.

No *chiller* ar-água o sistema de FC cada vez mais é utilizado é o arrefecimento adiabático. Este sistema consiste na implementação de painéis que, no seu interior, circula água que arrefece o ar exterior que entra no chiller para arrefecer o fluido frigorígeno que passa no condensador.

Ilustração 26 - Representação das unidades produtoras de água gelada (*chiller*) com arrefecimento adiabático (extraído de *EMERSON*)

Este sistema permite que o condensador efectue a permuta com temperaturas mais baixas levando a redução dos consumos e aumento da vida útil do equipamento.

No *chiller* do tipo água-água o sistema de FC mais utilizado e de maior facilidade é o da Ilustração 27.

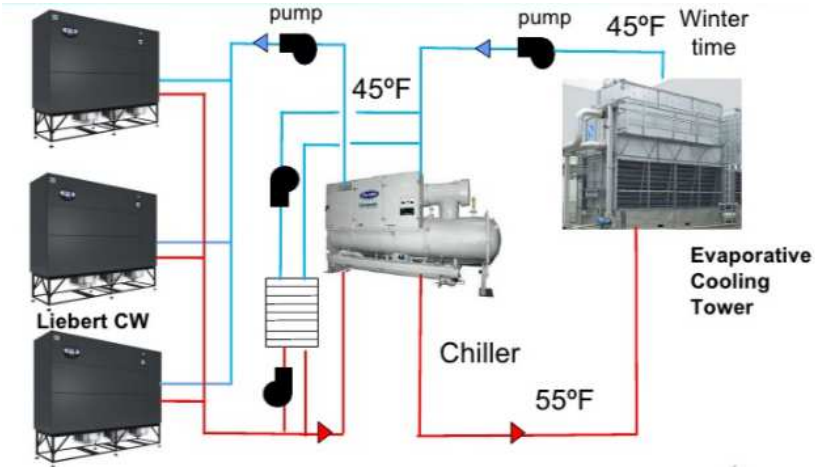


Ilustração 27 - Representação das unidades produtoras de água gelada do tipo água-água com arrefecimento gratuito

Este sistema permite, quando as temperaturas exteriores forem baixas, que a água gelada que circula nas unidades CRAC do tipo CW, possa ir directamente à torre de arrefecimento com o auxílio de válvulas de três vias, efectuando um *by-pass* ao *chiller* diminuindo assim o seu tempo de funcionamento e diminuição do tempo de funcionamento do compressor e por conseguinte diminuição dos custos de operação dos equipamentos.

4. Caso de estudo

Neste capítulo será abordado o caso de estudo deste trabalho. Será seleccionado o local, caracterizando o clima respectivo de modo a efectuar o dimensionamento da potência térmica necessária e a possibilidade da utilização de sistemas de arrefecimento gratuito.

4.1 Índice de Eficiência Energética

O método de simulação de cálculo dinâmico simplificado que irá ser usado tem como base, o balanço energético numa base horária para a estimativa das necessidades de energia ao nível do aquecimento e arrefecimento. A estimativa do consumo energético é efetuada recorrendo a um cálculo anual simples, baseado nas directivas presentes na legislação portuguesa para os restantes usos de energia, exceptuando cargas de aquecimento e arrefecimento. [10] [24]

As tabelas abaixo são referentes, respectivamente, aos elementos a considerar aquando da caracterização e visita ao edifício e às condições a serem respeitadas na aplicação do método de cálculo dinâmico simplificado para obter o IEE_{pr} de um edifício ao abrigo do RECS.

Elemento	Condição a respeitar
Dados climáticos	- Devem ser utilizados os dados climáticos disponibilizados, para este efeito, pela entidade gestora do SCE.
Vão envidraçados	- Quando existam dispositivos de sombreamento móvel, deve ser considerada, a utilização desses dispositivos sempre que a radiação solar incidente na fachada exceda os 300 W/m^2, ou que os mesmos estão activos a 60% da área ou outro método que produza efeito equivalente.
Zonamento	- Simplificação do edifício a uma única zona térmica, podendo ser adicionadas outras zonas correspondentes a espaços complementares, com consumo de energia exclusivamente para outros fins que não aquecimento/arrefecimento.
Perfis	- Devem ser considerados, para uma semana tipo, os perfis horários previstos (no caso de edifícios novos e sujeitos a intervenção) ou reais (no caso de edifícios existentes) para a ocupação, iluminação e utilização de equipamentos.
Condições exteriores	- Deve ser considerada uma temperatura interior

	compreendida no intervalo de 20ºC a 25ºC, inclusive. - No caso de um edifício hibrido ou passivo, considerar uma temperatura interior compreendida no intervalo de 19 a 27ºC, inclusive.
Caudais de ar novo	- No caso de espaços ventilados exclusivamente com recurso a meios naturais, considera-se o valor do caudal de ar novo correspondente ao valor de caudal mínimo determinado pelo método prescritivo sem ter em consideração a eficácia de remoção de poluentes.
Pontes térmicas	- As pontes térmicas lineares podem ser consideradas mediante majoração global em 5%, das necessidades de aquecimento do edifício. - As pontes térmicas planas, caso não sejam identificadas e caracterizadas, deverão ser consideradas mediante majoração, em 35%, do valor do coeficiente de transmissão térmica das paredes exteriores do edifício.
Sistema de climatização	- Nos sistemas de climatização, devem ser considerados os caudais de ar novo efectivamente introduzidos nos espaços (tendo em conta a eficácia de ventilação) e as características dos equipamentos previstos ou instalados. - O sistema deverá ser controlado para ligar e desligar em função das cargas térmicas do edifício e deverá ter um horário de funcionamento igual ao período de ocupação do edifício, podendo o horário diário de arranque e paragem do sistema ser diferente do horário de ocupação, desde que tal permita optimizar a eficiência da instalação. - Os horários dos ventiladores de ar novo incluídos no sistema de climatização devem reflectir um funcionamento contínuo sempre que os espaços estão ocupados, bem como um funcionamento permanente quando os espaços tenham requisitos de ventilação mínima obrigatória por razões de saúde e/ou segurança.

Tabela 7 - Condições a respeitar no método de cálculo dinâmico simplificado para a determinação do IEE_{pr} dos edifícios [24]

Elemento	Condições a respeitar
Envolvente	- Levantamento simplificado da área de pavimento do espaço, da envolvente vertical e da envolvente horizontal (exteriores).
Ocupação	- Nos espaços ocupados utilizar a densidade e perfil simplificado de ocupação do espaço.
Sistemas de Climatização	- Existência de sistema(s) mecânico(s) para aquecimento e/ou arrefecimento e respectivo(s) perfil(s) simplificado(s) de funcionamento. - Existência de sistema(s) mecânico(s) de extração e/ou insuflação de ar novo e respectivo(s) perfil(s) simplificado(s) de funcionamento. - Caso se verifique que não estão instalados sistemas de climatização, no cálculo do IEE_{ref},

	também deverá considerar-se a inexistência dos mesmos.
Água quente sanitária e de piscinas	- Consumo médio anual.
Iluminação	- Perfil simplificado de utilização de iluminação artificial interior; - Potência absorvida e perfil simplificado de equipamentos de iluminação dedicada e pontual; - Potência absorvida da iluminação exterior e perfil simplificado de utilização.
Elevadores, escadas e tapetes rolantes	- Perfil simplificado de utilização de elevadores, escadas e tapetes rolantes; - Carga nominal, distância percorrida, velocidade e tipo de edifício e de utilização.
Outros equipamentos e consumos	- Densidade de potência absorvida e perfil simplificado de utilização dos equipamentos cuja dissipação de energia ocorra para o espaço; - Média anual de outros consumos que não resultam em cargas térmicas para os espaços considerados.

Tabela 8 - Condições mínimas a respeitar no método de cálculo simplificado para a determinação do IEE_{ef} de edifícios existentes [24]

Para o caso de edifícios de comércio e serviços a classe energética é determinada através do rácio de classe energética (R_{IEE}), em que:

$$R_{IEE} = \frac{IEE_S - IEE_{REN}}{IEE_{ref\ S}} \quad (3)$$

Sendo:

IEE_S - Indicador de Eficiência Energética, obtido de acordo com o disposto na Tabela 9, consoante o tipo de edifício e se se trata de novo, existente ou sujeito a grande intervenção relativamente aos consumos do tipo S;

$IEE_{ref\ S}$ - Indicador de Eficiência Energética de referência associado aos consumos anuais de energia do tipo S;

IEE_{REN} - Indicador de Eficiência Energética renovável associado à produção de energia eléctrica e térmica a partir de fontes de energias renováveis.

Estes índices são calculados de acordo com o disposto no RECS. [24] [25]

	Forma de cálculo de IEE_s		
Tipo de edifício	**Novo**	**Existente**	**Grande Intervenção**
Pequeno Edifício de Comércio e Serviços (PES)	$IEE_{pr,S}$	$IEE_{pr,S}$ ou $IEE_{ef,S}$	$IEE_{pr,S}$
Grande Edifício de Comércio e Serviços (GES)	$IEE_{pr,S}$	$IEE_{pr,S}$ ou $IEE_{ef,S}$	$IEE_{pr,S}$
GES com Plano de Racionalização Energética (PRE) e medidas e melhoria de Aquecimento Ventilação e Ar Condicionado (AVAC)	n.a	$IEE_{pr,S}$	n.a
GES com PRE e outro tipo de medidas de melhoria	n.a	$IEE_{pr,S}$ ou $IEE_{ef,S}$	n.a

Tabela 9 - Forma de cálculo do IEE_s para efeitos da determinação da classificação energética de PES e GES [25]

A classe energética é obtida através da consulta da seguinte tabela:

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

Tabela 10 - Intervalos do valor de R_{IEE} e respectiva classe energética para PES e GES [25]

4.2 Local de estudo

O edifício escolhido para este trabalho localiza-se no Porto e é considerado um PES, uma vez que a área interior útil é inferior a 1000 m^2, que irá ser submetido a uma grande intervenção. A escolha deste local deveu-se principalmente à proximidade com a residência natal própria de forma a efectuar o levantamento do edifício existente e ser um centro de processamento de dados que necessita de optimização de energia. O local está representado a vermelho na Ilustração 28.

Ilustração 28 - Centro de processamento de dados em estudo

Em termos de planta interna do edifício, o mesmo é composto por uma sala do centro de processamento de dados, duas salas de baterias, instalações sanitárias e uma rampa de acesso. Na ilustração abaixo podem se ver as respectivas divisões. A linha a vermelho delimita a zona térmica em estudo, sendo a única parede exterior a representada mais à esquerda.

Ilustração 29 - Planta do edifício em estudo

Uso	Localização			Nº pisos	Nº fracção autónoma	Tipologia
	Concelho	Altitude (m)	Proximidade litoral			
Centro Processamento de dados	Gondomar	92	Não	1	1	Centro Processamento de dados

Tabela 11 - Dados da localização do edifício em estudo

4.3 Requisitos do utilizador final

Tendo em conta que o edifício em estudo se trata de um centro de processamento de dados, o utilizador final tem alguns requisitos para a optimização do sistema de climatização, nomeadamente:

- Climatização apenas da sala principal;
- Temperatura ambiente: **24ºC ± 2ºC;**
- Humidade relativa: **20% - 80%;**
- Classificação: **TIER III;**
- PUE anual: **<1,4;**
- Carga dos equipamentos TI máxima: **240 kW;**
- Carga dos equipamentos TI actual: **105 kW.**

4.4 Zona Climática

O zoneamento climático do país baseia-se na Nomenclatura das Unidades Territoriais para Fins Estatísticos (NUTS) de nível III, sendo que o concelho do Porto está inserido na região do **Grande Porto**.

Para aplicação dos requisitos de qualidade térmica, a cada região é definida uma zona climática de Inverno (I1, I2, I3) e Verão (V1, V2, V3) de acordo com as ilustrações abaixo. [25]

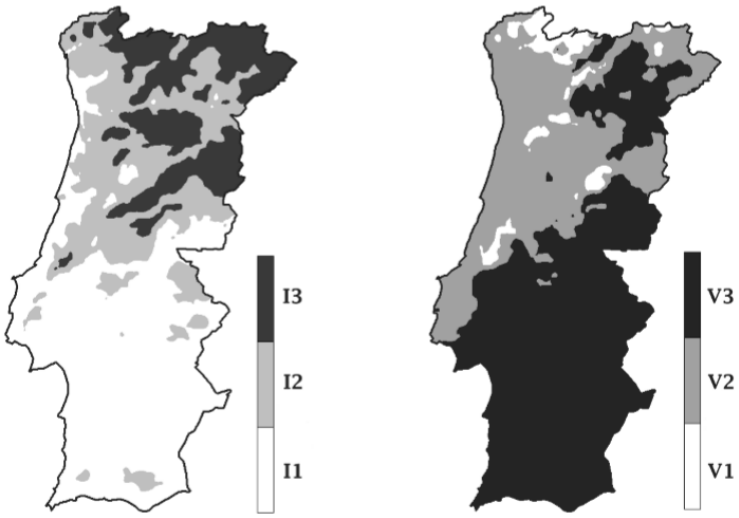


Ilustração 30 - Zonas climáticas de inverno (I3, I2 e I1) e verão (V3, V2 e V1) em Portugal [25]

As zonas climáticas de inverno são definidas a partir do número de graus-dias (GD) na base de 18ºC, correspondente à estação de aquecimento conforme tabela abaixo:

	GD <1300	1300 <GD <1800	GD> 1800
Região	I1	I2	I3

Tabela 12 - Critério para a determinação da zona climática de inverno [25]

Enquanto as zonas climáticas de verão são definidas a partir da temperatura média exterior correspondente à estação convencional de arrefecimento ($T_{ext,v}$), conforme Tabela 13:

	$T_{ext,v}$ <20ºC	20ºC <$T_{ext,v}$ <22ºC	$T_{ext,v}$> 22ºC
Região	V1	V2	V3

Tabela 13 - Critério para a determinação da zona climática de verão [25]

Tendo em conta que dentro de uma determinada região as diferentes altitudes alteram as condições climáticas exteriores, então é necessário efectuar as correcções dos parâmetros climáticos em relação aos parâmetros de referências estipulados pela NUTS III para a região em causa, através da equação:

$$X = X_{ref} + a \times (z - z_{ref}) \quad (4)$$

Os parâmetros de referência estipulados pela NUTS III para a região do Grande Porto são:

	Altitude	Duração estação aquecimento		Graus-dias		Temperatura exterior		Energia solar média
	Z (m)	M	a (mês/km)	GD (ºC)	a (ºC/km)	$T_{ext,i}$ (ºC)	a(ºC/km)	E_{sol} (kWh/m2. Mês)
Grande Porto	94	6,2	2	1250	1600	9,9	-7	130

Tabela 14 - Parâmetros de referência para a estação de aquecimento

	Altitude	Temperatura exterior		I_{sol} (kWh/m2 acumulados de Junho a Setembro)								
	Z (m)	$T_{ext,v}$ (ºC)	a (mês/km)	0º	90º	90º	90º	90º	90º	90º	90º	90º
					N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
Grande Porto	94	20,9	0	800	220	350	490	490	425	490	490	350

Tabela 15 - Parâmetros de referência para a estação de arrefecimento

Como a diferença entre a altitude de referência e a altitude do local em estudo é de apenas de 2m, irão ser considerados os parâmetros de referência para o Grande Porto, sendo que esta região é considerada, em termos de zonas climáticas, **I1 e V2.**

4.5 Características dos elementos da envolvente

Segundo o Decreto-Lei nº118/2013 [10], entende-se por envolvente o conjunto de elementos de construção do edifício ou fracção, compreendendo paredes, pavimentos, coberturas e vãos, que separam o espaço interior útil do ambiente exterior, dos edifícios ou fracções adjacentes, dos espaços não úteis e do solo.

A definição da envolvente é um dos parâmetros mais importantes durante um estudo térmico de um edifício visto que, é este dado que define a área que está em contacto com o exterior, zona de maiores trocas térmicas devido à variação de temperatura. As cargas térmicas de arrefecimento e aquecimento de um edifício resultam de diversos processos de transferência de calor, por condução, convecção e radiação através da envolvente do edifício, bem como dos ganhos internos nas zonas a climatizar. Alguns dos parâmetros que podem afectar as cargas térmicas são:

- **Externos**: paredes, coberturas, pavimentos, vãos envidraçados e clarabóias;
- **Internos:** iluminação, ocupação e equipamentos;
- **Infiltrações:** fuga de ar e migração de humidade de umas zonas para outras;
- **Sistema de climatização:** ar exterior, possíveis fugas nas condutas, recuperação de energia, ventilação e bombagem. [10]

Para determinar os parâmetros externos que podem afectar as cargas térmicas, a quantidade de calor trocada com o exterior é dada pela seguinte equação:

$$Q = U.A.\Delta T \quad [W] \qquad (5)$$

Em que:

Q – Potência térmica [W]

U – Coeficiente de transmissão térmica [W/m^2.ºC]

A – Área [m^2]

ΔT – Diferencial de temperatura [ºC]

O coeficiente transmissão térmica (U) de um elemento caracteriza a transferência de calor que ocorre entre os ambientes ou meios que este separa. Como tal, a sua determinação é fundamental. Considerando o edifício em estudo como sendo um edifício existente e que vai ser sujeito a uma grande intervenção, existem métodos de simplificação para a sua determinação.

Para elementos opacos constituídos por um ou vários materiais, em camadas de espessura constante o valor de U é calculado pela seguinte equação: [25]

$$U = \frac{1}{R_{Si} + \sum_J R_J + R_{Se}} \quad \left[\frac{W}{m^2.ºC}\right] \qquad (6)$$

Em que:

R_J – Resistência térmica da camada J [m^2.ºC/W]

R_{si} – Resistência térmica interior [m^2.ºC/W]

R_{se} – Resistência térmica exterior [m^2.ºC/W]

Sendo que:

Sentido do fluxo de calor		Resistência térmica [m².ºC/W]	
		Exterior R_{se}	Interior R_{si}
Horizontal		0,04	0,13
Vertical	Ascendente	0,04	0,10
	Descendente	0,04	0,17

Tabela 16 - Valores das resistências térmicas superficiais [25]

Nas Ilustrações 31 e 32 podem ser verificados os levantamentos das cotas do edifício em planta e um corte transversal do mesmo permitindo verificar a sua altura.

As plantas podem ser vistas com maior detalhe no Anexo 2.

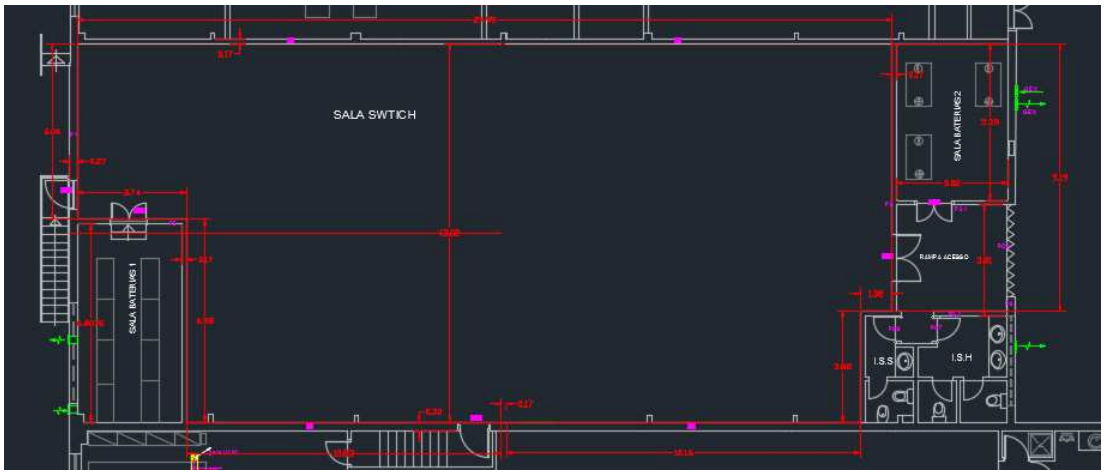


Ilustração 31 - Planta do edifício em estudo com as respectivas cotas

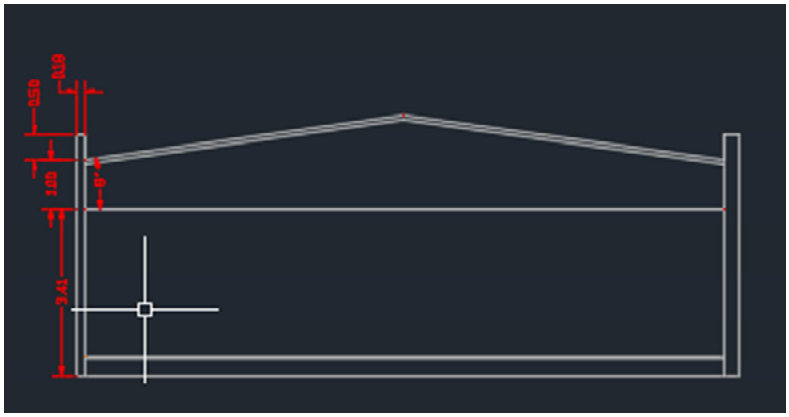


Ilustração 32 - Corte transversal do edifício em estudo com as respectivas cotas

4.5.1 Paredes exteriores (P1)

As paredes exteriores são duplas com dois panos de tijolo furado do tipo 7+15 com 10mm de espessura de reboco de cada lado e com uma caixa-de-ar de 30mm, conforme ilustração abaixo:

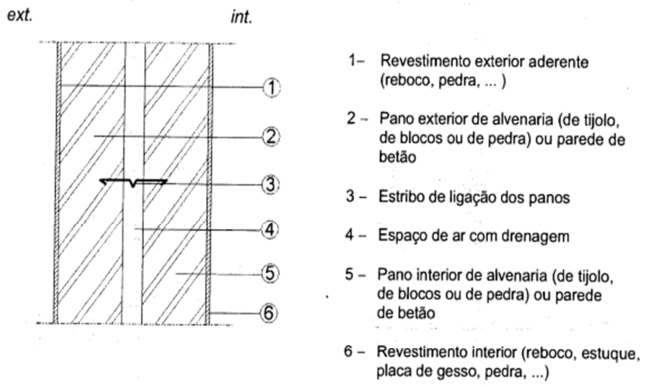


Ilustração 33 - Esquema da constituição da parede exterior, P1 [26]

Constituição	e [m]	λ[W/m.ºC]	R [m².ºC/W]	U [W/m².ºC]	Massa Volúmica [kg/m³]	Massa [kg/m²]
Resistência interior (Rsi)			0,13			
Reboco tradicional	0,01	1,3	0,008		1900	19
Alvenaria de tipo tijolo furado	0,07		0,19		1450	101,5
Caixa-de-ar	0,03		0,17	**1,06**	1,2	0,036
Alvenaria de tipo tijolo furado	0,15		0,39		1450	217,5
Reboco tradicional	0,01	1,3	0,008		1900	19
Resistência exterior (Rse)			0,04			
TOTAL	**0,27**		**0,95**			**357**

Tabela 17 - Representação do cálculo do coeficiente global de transferência de calor para a parede exterior, P1

4.5.2 Paredes interiores (P3 e P5)

As paredes interiores são simples com um tijolo furado 150mm com 10mm de espessura de reboco de cada lado, conforme ilustração abaixo:

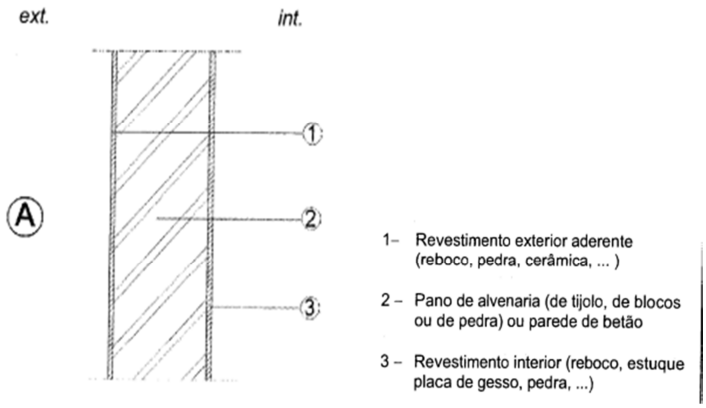


Ilustração 34 - Esquema da constituição das paredes interiores, P3 e P5 [26]

Constituição	e [m]	λ [W/m.ºC]	R [m².ºC/W]	U [W/m².ºC]	Massa Volúmica [kg/m³]	Massa [kg/m²]
Resistência interior (Rsi)			0,13			
Reboco tradicional	0,01	1,3	0,008	**1,5**	1900	19
Alvenaria de tipo tijolo furado	0,15		0,39		1450	217,5

Reboco tradicional	0,01	1,3	0,008		1900	19
Resistência interior (Rse)			0,13			
TOTAL	**0,17**		**0,67**			**256**

Tabela 18 - Representação do cálculo do coeficiente global de transferência de calor das paredes interiores, P3 e P5

Tendo em conta que estas paredes da envolvente interior separam um espaço útil de um espaço não útil, existe um coeficiente de redução de perdas, b_{tr}, que deve ser aplicado, sendo que, nestes casos, o coeficiente de transmissão de calor é: [25]

$$U = b_{tr} \times \frac{1}{R_{Si}+\sum_J R_J+R_{Se}} \quad [\frac{W}{m^2.ºC}] \quad (7)$$

Os valores de b_{tr}, tendo em conta que o edifício é existente, por simplificação, toma os seguintes valores: [25]

- 0,8 para todos os espaços não úteis;
- 0,6 para edifícios adjacentes.

O coeficiente de transmissão de calor das paredes P3 e P5 é: 1,5 x 0,8 = **1,2 W/m^2.ºC**

4.5.3 Paredes interiores (P2 e P4)

Estas paredes separam a zona térmica em estudo de edifícios adjacentes e são duplas com panos de tijolo furado do tipo 11+11 com 10mm de espessura de reboco de cada lado e com uma caixa-de-ar de 80mm. A Tabela 19 mostra o seu coeficiente de transferência de calor:

Constituição	e [m]	λ [W/m.ºC]	R [m^2.ºC/W]	U [W/m^2.ºC]	Massa Volúmica [kg/m^3]	Massa [kg/m^2]
Resistência interior (Rsi)			0,13	**1,01**		
Reboco tradicional	0,01	1,3	0,008		1900	19
Alvenaria de tipo tijolo furado	0,11		0,27		1450	159,5
Caixa-de-ar	0,08		0,17		1,2	0,096
Alvenaria de tipo tijolo furado	0,11		0,27		1450	159,5

Reboco tradicional	0,01	1,3	0,008		1900	19
Resistência interior (Rsi)			0,13			
TOTAL	**0,32**		**0,99**			**357**

Tabela 19 - Representação do cálculo do coeficiente global de transferência de calor para as paredes interiores, P2 e P4

O coeficiente de transmissão de calor das paredes P2 e P5 é: 1,01 x 0,6 = **0,61 W/m^2.ºC**

4.5.4 Cobertura e Pavimento

Como o edifício é existente, não se possui dados suficientes para determinação do coeficiente global de transmissão de calor da cobertura e do pavimento e como tal efectua-se uma simplificação ao nível da cobertura, nomeadamente não consideração da cobertura inclinada exterior, ou seja, a cobertura do edifício, considerada para efeitos de simulação térmica, é a laje horizontal representada na Ilustração 32. [27]

Considera-se:

Cobertura: 3,8 W/m^2.ºC

Pavimento: 3,1 W/m^2.ºC

4.5.5 Portas e envidraçados

Segundo as regras de simplificação para edifícios existentes, as portas de envolvente com uma área envidraçada inferior a 25% podem ser consideradas incluídas na secção corrente da envolvente opaca contígua, sendo que no caso contrário poderão ser tratadas globalmente como um vão envidraçado. Como neste caso as portas não possuem qualquer envidraçado, são consideradas como parte da envolvente opaca e como tal este edifício não possui qualquer vão envidraçados.

4.6 Correcção de Pontes Térmicas

As pontes térmicas são zonas da envolvente de um edifício onde a resistência térmica dos elementos que a constituem não são uniformes, originando um acréscimo das trocas térmicas através da envolvente, correspondendo a uma heterogeneidade

de temperaturas nos parâmetros. Ao abrigo do Despacho nº15793/2013, na avaliação energética de um edifício é necessário contabilizar as Pontes Térmicas Lineares (PTL) e as Pontes Térmicas Planas (PTP). [25]

As PTP consistem numa heterogeneidade da envolvente exterior ou da envolvente interior, caso esta última esteja em contacto com espaços não úteis, pilares, vigas e caixas de estore, pode ser considerado que existe perda térmica. A quantificação de uma PTP é feita multiplicando o valor de U pela respetiva área.

As PTL resultam da junção de dois ou mais elementos construtivos exteriores ou interiores (em contacto com espaço não útil cujo b_{tr} seja superior a 0,7).

Segundo o RECS, as PTP podem ser contabilizadas fazendo o agravamento de 35% no coeficiente de transmissão térmica das paredes em contacto com o exterior.

O *software* que será usado para a simulação será o HAP da *Carrier* que não considera o agravamento de 35% referente às PTP e os 5% referentes às PTL. Considerando que a percentagem das PTL é uma percentagem pequena e que não irá influenciar significativamente os resultados finais, esta não será considerada. No entanto as PTP serão devidamente contempladas na simulação com um agravamento de 35% das paredes exteriores. [28]

4.7 Inércia Térmica

Atendendo ao Despacho nº15793/2013, existem dois métodos possíveis para identificar a classe de inércia térmica interior de um edifício.

A primeira opção, preferencialmente utilizada, consiste na realização do cálculo presente no despacho, que recorre aos parâmetros térmicos com base nos valores de massa superficial das soluções e revestimentos implementados no edifício, apresentando-se da seguinte forma. [25]

$$I_t = \frac{\sum_i Ms_i \times r \times s_i}{A_p} \quad \left[\frac{kg}{m^2}\right] \qquad (8)$$

Onde:

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

r – Factor de redução da massa superficial útil;

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

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

O resultado de I_t, obtido através da expressão identifica a classe de inercia térmica segundo a tabela abaixo:

Classe de inércia térmica	I_t [kg/m^2]
Fraca	I_t<150
Média	$150 \leq I_t \leq 400$
Forte	I_t> 400

Tabela 20 - Classes de inércia térmica [25]

O segundo método de identificação, apenas aplicável a edifícios existentes, como no caso em estudo, é efectuado de uma forma qualitativa recorrendo à Tabela 21.

Classe de Inércia Térmica Interior	Requisito
Fraca	Caso se verifiquem cumulativamente as seguintes soluções: - Teto falso em todas as divisões ou pavimento de madeira ou esteira leve (cobertura); - Revestimento de piso do tipo flutuante ou pavimento de madeira; - Paredes de compartimentação interior em tabique ou gesso cartonado ou sem paredes de compartimentação;
Média	Caso não se verifiquem os requisitos necessários para se classificar a classe de inércia térmica em Forte ou Fraca.
Forte	Caso se verifiquem cumulativamente as seguintes soluções, sem aplicação de isolamento térmico pelo interior: - Pavimento e teto de betão armado ou pré-esforçado; - Revestimento de teto em estuque ou reboco; - Revestimento de piso cerâmico, pedra, parquet, alcatifa tipo industrial sem pelo, com exclusão de soluções de pavimentos flutuantes; - Paredes interiores de compartimentação em alvenaria com revestimentos de estuque ou reboco; - Paredes exteriores de alvenaria com revestimentos interiores de estuque ou reboco; - Paredes da envolvente interior (caixa de escadas, garagem, …) em alvenaria com revestimentos interiores de estuque ou reboco

Tabela 21 - Regras de simplificação aplicáveis à quantificação da inércia térmica de edifícios existentes [25]

Tendo em consideração a tabela acima, verifica-se que para o edifício em estudo a classe de inércia térmica interior é **Média.**

4.8 Caracterização das zonas térmicas

As zonas térmicas estão definidas conforme a sua definição indica: "espaço ou conjunto de espaços passíveis de serem considerados em conjunto devido às suas similaridades em termos de perfil de utilização, iluminação e equipamentos, ventilação mecânica e sistema de climatização e, quanto aos espaços climatizados, igualmente devido às similaridades em termos de condições de exposição solar". Foi então definida apenas uma zona térmica. [10]

4.8.1 Ocupação

Neste caso de estudo é considerada a totalidade do edifício como uma só zona térmica, considerando uma ocupação de **2 pessoas**, consideração essa obtida através de informação disponibilizada pelo utilizador final do edifício. O perfil de ocupação é conforme a tabela seguinte:

Hora	2ª - 6ª	Sábado	Domingo
1	0	0	0
2	0	0	0
3	0	0	0
4	0	0	0
5	0	0	0
6	0	0	0
7	0	0	0
8	100	0	0
9	100	0	0
10	100	0	0
11	100	0	0
12	100	0	0
13	100	0	0
14	100	0	0
15	100	0	0
16	100	0	0
17	100	0	0
18	100	0	0
19	0	0	0
20	0	0	0
21	0	0	0
22	0	0	0
23	0	0	0

24	0	0	0

Tabela 22 - Perfil de ocupação do edifício em estudo, em percentagem

4.8.2 Iluminação

O edifício possui um consumo médio horário total de 28 kW ao nível da iluminação. A sua utilização implica um aumento de temperatura do ar interior devido à dissipação de calor das lâmpadas, havendo uma maior necessidade de arrefecimento do espaço para manter as condições de conforto térmico. O perfil de utilização da iluminação é conforme a Tabela 23:

Hora	2ª - 6ª	Fim-de-semana
1	5	5
2	5	5
3	5	5
4	5	5
5	5	5
6	5	5
7	5	5
8	100	5
9	100	5
10	100	5
11	100	5
12	100	5
13	100	5
14	100	5
15	100	5
16	100	5
17	100	5
18	100	5
19	5	5
20	5	5
21	5	5
22	5	5
23	5	5
24	5	5

Tabela 23 - Perfil de utilização da iluminação do edifício em estudo, em percentagem

4.8.3 Equipamento

Este subcapítulo traduz o mais importante desta instalação. Sendo este um centro de processamento de dados, está equipado com servidores que libertam calor

para o ambiente. Esta dissipação de calor influencia as necessidades térmicas. Esta dissipação de calor é contínua, ou seja, é constante ao longo de todo o ano com uma potência de 105 kW (dados fornecido pelo utilizador final).

4.8.4 Ventilação e caudais de ar novo

O edifício em estudo não possui janelas e não possui qualquer tipo de abertura para o exterior, como também não possui qualquer tipo de ventilação mecânica.

Tendo em conta que o projecto em estudo é considerado uma grande intervenção, é necessário que no mesmo seja implementado um sistema de renovação de ar de forma a cumprir a legislação em vigor.

Segundo a legislação em vigor, o método de cálculo baseia-se na determinação dos caudais mínimos de ar novo que garantam a diluição da carga poluente devido:

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

NOTA: O caudal mínimo a adoptar por aplicação deste método é o maior dos valores determinados para os dois tipos de carga de poluente acima referidos. [29]

O caudal mínimo de ar novo determinado em função da carga poluente devido à ocupação pode ser calculado através dos dados fornecidos pela Tabela 24.

Tipo de atividade	Taxa de metabolismo dos ocupantes - M (met)	Exemplos de tipo de espaço	Caudal de ar novo [m^3/(hora.pessoa)]
Sono	0,8	Quartos, Dormitórios e similares	16
Descanso	1,0	Salas de repouso, Salas de espera, Salas de conferências, Auditórios e similares, Bibliotecas.	20
Sedentária	1,2	Escritórios, Gabinetes, Secretarias, Salas de aula, Cinemas, Salas de espetáculo, Salas de Refeições, Lojas e similares, Museus e galerias, Salas de convívio, Salas de atividade de estabelecimentos de geriatria e similares.	24
		Salas de jardim de infância e pré-escolar e Salas de creche.	28
Moderada	1,75 (1,4 a 2,0)	Laboratórios, Ateliers, Salas de Desenho e Trabalhos Oficinais, Cafés, Bares, Salas de Jogos e similares.	35
Ligeiramente Alta	2,5 (2,0 a 3,0)	Pistas de dança, Salas em ginásios, Salas de ballet e similares	49
Alta	5,0 (3,0 a 9,0)	Salas de musculação, Salas em ginásios e pavilhões desportivos e similares	98

Tabela 24 - Caudal mínimo de ar novo determinado em função da carga de poluente devido à ocupação [29]

No caso em estudo a ocupação é de **2 pessoas** sendo a sua actividade metabólica considerada **moderada.** Pela Tabela 24, verificamos que o caudal mínimo de ar novo para as duas pessoas em questão é de 70 m^3/h.

Considerando agora a carga poluente devido ao edifício, o respectivo caudal pode ser determinado recorrendo à tabela abaixo.

Situação do edifício	Caudal de ar novo [m^3/(hora.m^2)]
Sem atividades que envolvam a emissão de poluentes específicos	3
Com atividades que envolvam a emissão de poluentes específicos	5

Tabela 25 - Caudal mínimo de ar novo determinado em função da carga de poluente devido ao edifício [29]

No edifício em questão a área útil é de **334,2 m^2**, sendo o caudal mínimo de ar novo de 334,2 x 3 = 1002,6 m^3/h.

O caudal mínimo de ar novo a introduzir no edifício é de **1002,6 m^3/h.**

4.9 Instalação de climatização existente

O edifício em estudo possui um sistema de climatização com mais de 20 anos, em que existem, dentro da sala, seis unidades CRAC a água gelada. Estas unidades são alimentadas por dois *chiller* de 110 kW cada um. Estes últimos equipamentos apresentam um estado de degradação bastante avançado. A rede de distribuição é feita recorrendo a tubagem de ferro preto devidamente isolada.

4.10 Consumos eléctricos actuais

O edifício em estudo está em funcionamento e como tal podemos obter os consumos actuais eléctricos divididos pelas diversas áreas, conforme se pode observar na seguinte tabela.

Área	Consumo médio horário (kWh)	Consumo anual (kWh/ano)	Percentagem Consumo (%)
Equipamento TI	105	919800	58,3
Climatização	67	585920	37,1
Iluminação e outros	28	80081	4,6
Total	**200**	**1578520**	**100**

Tabela 26 - Valores dos consumos efectivos do edifício (dados fornecidos pelo utilizador final)

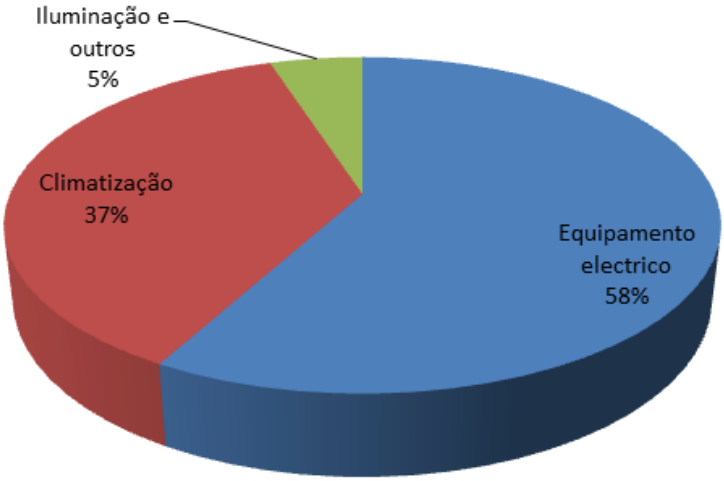


Ilustração 35 - Valores dos consumos efectivos do edifício (dados fornecidos pelo utilizador final)

Sendo o PUE um valor importante para este tipo de instalação de acordo com os valores acima, o **PUE médio anual** actual é, utilizando a equação (1):

$$PUE = \frac{1578520}{919800} = 1{,}71$$

5. Simulação Térmica

5.1 Determinação da actual classe energética

De acordo com o descrito no capítulo 4.1, a classe energética de um edifício de serviços é determinada pela equação (3).

Segundo o levantamento efectuado do edifício, este não possui produção de energia a partir de fontes renováveis e como tal o valor de IEE_{REN} é zero. De acordo com a Tabela 9, sendo este um pequeno edifício de serviços, o $IEE_s = IEE_{ef,s}$.

Assim sendo a equação (3) fica:

$$R_{IEE} = \frac{IEE_{ef,s}}{IEE_{ref\ S}}$$

O índice de eficiência energética é um indicador obtido com base nos consumos anuais convertidos para energia primária por unidade de área de pavimento, resultando na seguinte equação:

$$IEE_{ef,S} = \frac{1}{A_p}\sum_i \left(E_{ef,S,i} \times F_{pu,i}\right) \qquad \left[\frac{kWh_{EP}}{m^2.ano}\right] \qquad (9)$$

Sendo que:

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

A_p– Área interior útil de pavimento [m^2]

$F_{pu,i}$ – Factor de conversão de energia útil para energia primária que traduz o rendimento global do sistema de conversão e transporte de energia de origem primária, de acordo com Despacho do Director-geral de Energia e Geologia. Este valor para a electricidade independentemente da origem é de 2,5 kWh_{EP}/kWh [25]

Os consumos estão divididos em dois tipos conforme a Tabela 27. [24]

Consumos Tipo S	Consumos Tipo T
Aquecimento e arrefecimento ambiente, incluindo humidificação e desumidificação	Ventilação e bombagem não associada ao controlo de carga térmica
Ventilação e bombagem em sistemas de climatização	Equipamentos de frio
Aquecimento de águas sanitárias e de piscinas	Iluminação dedicada e de utilização pontual
Iluminação interior	Todos os restantes equipamentos e sistemas não incluídos no Tipo S
Elevadores, escadas e tapetes rolantes	
Iluminação exterior	

Tabela 27 - Consumos de energia a considerar no IEE_s e no IEE_T [24]

Considerando o capítulo 4.10, em que os consumos efectivos do Tipo S são 658 720 kWh/ano e os consumos do Tipo T são de 919 800 kWh.

Assim sendo

$$IEE_{ef,S} = \frac{658720 \times 2{,}5}{334{,}2} = \mathbf{4928}\,\frac{\boldsymbol{kWh_{EP}}}{\boldsymbol{m^2.ano}}$$

Através do simulador da IteCons para os dados do edifício em questão, obtém-se:

$$IEE_{ref\ S} = \mathbf{2852}\,\frac{\mathbf{kWh_{EP}}}{\mathbf{m^2.ano}}$$

Com a divisão dos dois valores acima obtém-se o rácio de eficiência energética:

$$R_{IEE} = \frac{IEE_{ef,s}}{IEE_{ref\ S}} = \frac{4928}{2852} = 1{,}73$$

O valor de $\boldsymbol{R_{IEE} = 1{,}73}$ determina uma classe de eficiência energética **D.**

Sendo este um edifício existente, não está sujeito a requisitos de eficiência dos seus sistemas, no entanto se for sujeito a uma grande intervenção terá que ter IEE_{pr} inferior ao IEE_{ref} afectado de um coeficiente de majoração de 50%. [24]

5.2 HAP

O HAP é um programa que oferece inúmeras opções para projectar sistemas AVAC para edifícios comerciais, e possui também uma enorme capacidade de efectuar uma análise energética, no que diz respeito a comparações de consumos e custos de operação entre sistemas de climatização. Este programa é muito utilizado em projectos de eficiência energética em edifícios, devido à sua capacidade de simular numa escala anual (8760 horas) tendo em conta as condições locais. [30]

O método de cálculo utilizado pelo HAP é denominado de Método de Função Transferência (Transfer Function Method) da ASHRAE, e baseia-se no método de balanço de energia. O balanço de energia é a forma mais rigorosa de calcular as cargas térmicas de um edifício, uma vez que este método avalia cada processo de condução, convecção, radiação e armazenamento de calor que ocorra num edifício recorrendo às leis fundamentais da termodinâmica e da transferência de calor. Para cada "nodo" dentro de um espaço é definida uma equação, sendo esse nodo o correspondente a uma superfície ou elemento presente no espaço em estudo. O balanço energético para uma superfície é definido por:

(Taxa de Calor que entra) – (Taxa de calor que sai) = 0

No caso de um elemento de massa, o balanço passa a ser definido por:

(Taxa de Calor que entra) – (Taxa de calor que saí) = Taxa de energia armazenada

O Método de Função Transferência resulta de uma publicação de 1967 por cientistas da *Canadian National Research Council* e é baseado numa ideia conhecida como o "Princípio do Factor Resposta".

No HAP, esta metodologia é executada em três passos:

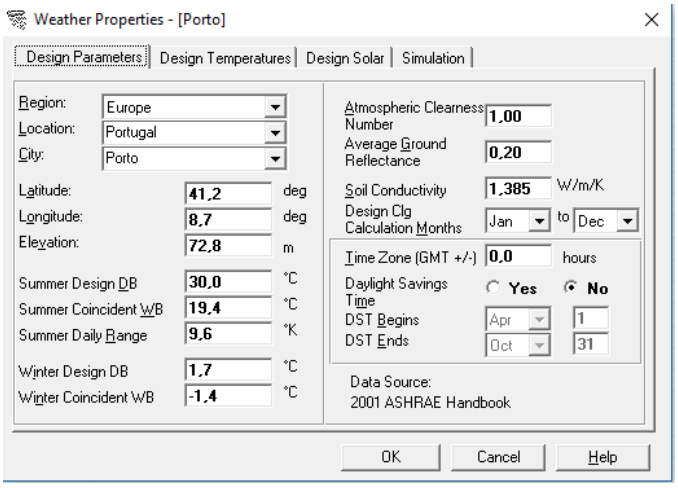
- Recorrendo a equações de condução utilizadas para analisar o fluxo de calor nas paredes e na cobertura;
- Definindo as funções de transferência do espaço para analisar os processos de radiação, convecção e armazenamento de calor de todos os componentes presentes nesse espaço;

- As equações de extração de calor são utilizadas para analisar os efeitos da variação de temperatura do ar interior no fluxo de calor por convecção, proveniente da massa existente do compartimento. Entenda-se por massa, objectos presentes no espaço.

Considerando todos os dados determinados no capítulo quatro, irão ser agora introduzidos no HAP de forma a determinar as necessidades térmicas do edifício, permitindo posteriormente determinar os equipamentos de climatização necessários.

5.2.1 Introdução das condições climatéricas

O HAP possui uma biblioteca de cidades com as respectivas condições climatéricas como podemos observar na ilustração seguinte:



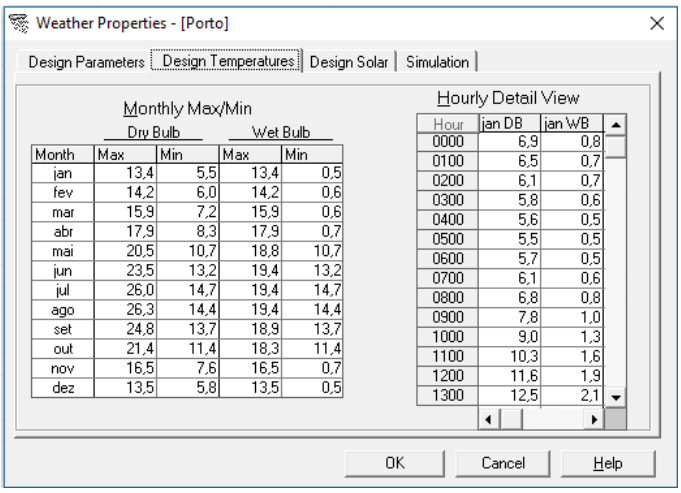


Ilustração 36 - Representação da simulação das condições climatéricas segundo o programa HAP (extraído de Carrier Corporation, HAP 4.41, 2009)

No entanto, para uma melhor precisão das temperaturas exteriores introduziu-se as temperaturas médias mensais retiradas do software *SolTerm 5.0* [31] conforme tabela abaixo:

	Irradiação Solar Diária Horizontal (kWh/m²)			Temperatura Ambiente (°C)			Humidade Relativa (%)
	Global	Difusa	Directa	Mínima	Máxima	Média	Média
Janeiro	1,7	0,9	0,8	5,5	13,4	8,8	81
Fevereiro	2,5	1,2	1,3	6,0	14,2	9,3	79
Março	3,4	1,6	1,8	7,2	15,9	11,0	76
Abril	4,8	2,0	2,8	8,3	17,9	12,6	74
Maio	5,6	2,4	3,2	10,7	20,5	15,1	74
Junho	6,2	2,5	3,7	13,2	23,5	17,9	74
Julho	6,6	2,4	4,2	14,7	26,0	19,8	74
Agosto	5,9	2,2	3,7	14,4	26,3	19,6	74
Setembro	4,3	1,8	2,5	13,7	24,8	18,4	76
Outubro	3,1	1,3	1,7	11,4	21,4	15,5	78
Novembro	2,0	0,9	1,1	7,6	16,5	11,3	79
Dezembro	1,6	0,8	0,8	5,8	13,5	9,0	80

Tabela 28 - Dados climatéricos para o local em estudo (extraído do *SolTerm* 5.0 [31])

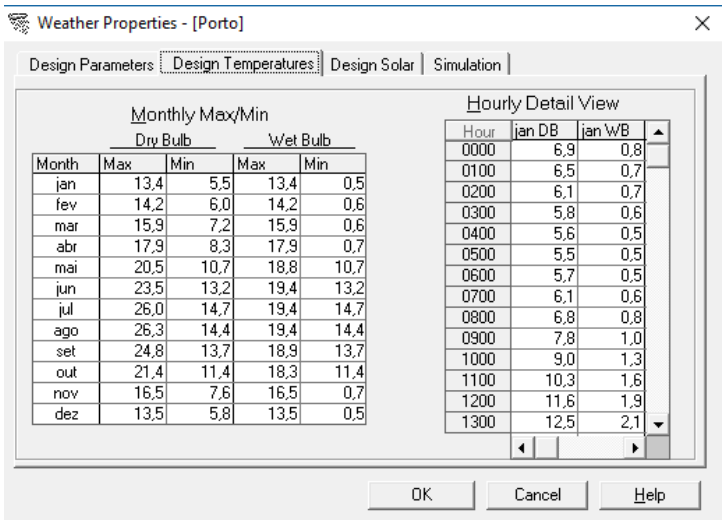
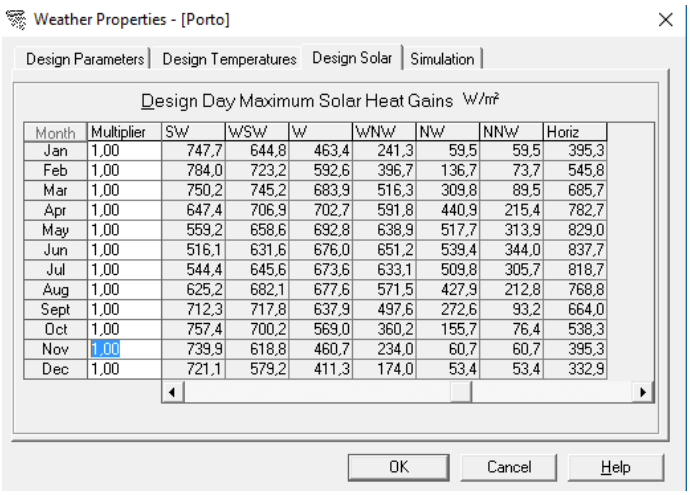


Ilustração 37 - Representação da introdução das condições climatéricas, do local em estudo, no programa HAP (extraído de Carrier Corporation, HAP 4.41, 2009)

5.2.2 Introdução da radiação solar

A radiação solar é uma das cargas que interfere no espaço em estudo. É necessário o seu cálculo para quantificar o calor sensível do local. Para isto, o *Solterm 5.0* fornece um histórico da quantidade de energia fornecida pela radiação solar.

O programa HAP permite fazer a simulação do cálculo da quantidade de energia irradiada, segundo a ilustração abaixo:



Month	Multiplier	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	Horiz
Jan	1,00	747,7	644,8	463,4	241,3	59,5	59,5	395,3
Feb	1,00	784,0	723,2	592,6	396,7	136,7	73,7	545,8
Mar	1,00	750,2	745,2	683,9	516,3	309,8	89,5	685,7
Apr	1,00	647,4	706,9	702,7	591,8	440,9	215,4	782,7
May	1,00	559,2	658,6	692,8	638,9	517,7	313,9	829,0
Jun	1,00	516,1	631,6	676,0	651,2	539,4	344,0	837,7
Jul	1,00	544,4	645,6	673,6	633,1	509,8	305,7	818,7
Aug	1,00	625,2	682,1	677,6	571,5	427,9	212,8	768,8
Sept	1,00	712,3	717,8	637,9	497,6	272,6	93,2	664,0
Oct	1,00	757,4	700,2	569,0	360,2	155,7	76,4	538,3
Nov	1,00	739,9	618,8	460,7	234,0	60,7	60,7	395,3
Dec	1,00	721,1	579,2	411,3	174,0	53,4	53,4	332,9

Ilustração 38 - Representação da simulação da energia irradiada segundo o programa HAP (extraído de Carrier Corporation, HAP 4.41, 2009)

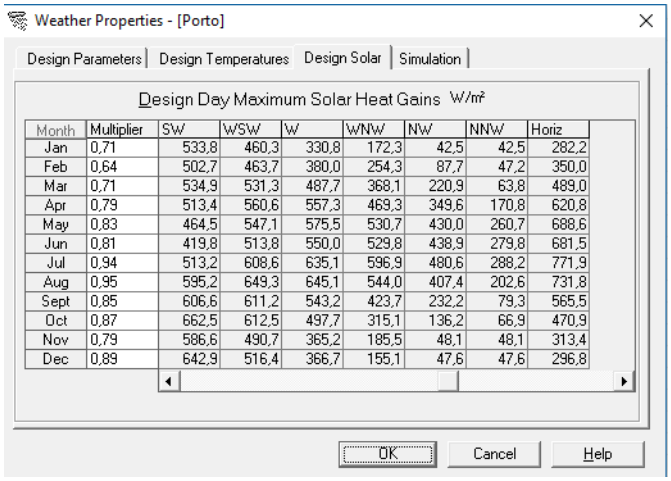
Os valores pré-definidos não são os mais correctos, e foi necessário proceder à sua correcção. Foram recolhidos, portanto, os valores pré-definidos gerados pelo programa e comparando-os com os valores oficiais do *Solterm 5.0,* foi possível determinar a energia real fornecida ao local de projecto.

Seguidamente será exemplificado o procedimento descrito no parágrafo anterior para o mês de Janeiro.

Como podemos ver na Ilustração 38, a radiação solar horizontal média máxima num dia de Janeiro é de 395,3 W/m^2 e segundo o *Solterm 5.0* a mesma radiação é de 282 W/m^2. Isto resulta no seguinte rácio:

$$\frac{282\ W/m^2}{395{,}3\ W/m^2} = 0{,}72$$

Este valor foi devidamente introduzido no HAP conforme demonstra a seguinte ilustração.



Month	Multiplier	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	Horiz
Jan	0,71	533,8	460,3	330,8	172,3	42,5	42,5	282,2
Feb	0,64	502,7	463,7	380,0	254,3	87,7	47,2	350,0
Mar	0,71	534,9	531,3	487,7	368,1	220,9	63,8	489,0
Apr	0,79	513,4	560,6	557,3	469,3	349,6	170,8	620,8
May	0,83	464,5	547,1	575,5	530,7	430,0	260,7	688,6
Jun	0,81	419,8	513,8	550,0	529,8	438,9	279,8	681,5
Jul	0,94	513,2	608,6	635,1	596,9	480,6	288,2	771,9
Aug	0,95	595,2	649,3	645,1	544,0	407,4	202,6	731,8
Sept	0,85	606,6	611,2	543,2	423,7	232,2	79,3	565,5
Oct	0,87	662,5	612,5	497,7	315,1	136,2	66,9	470,9
Nov	0,79	586,6	490,7	365,2	185,5	48,1	48,1	313,4
Dec	0,89	642,9	516,4	366,7	155,1	47,6	47,6	296,8

Ilustração 39 - Representação dos perfis de radiação solar corrigidos no programa HAP (extraído de Carrier Corporation, HAP 4.41, 2009)

O mesmo rácio foi calculado para todos os meses e introduzido no HAP.

5.2.3 Introdução dos perfis de utilização

Em qualquer projecto, as cargas interiores apresentam variações ao longo do tempo. Para quantificar a evolução das cargas internas ao longo dos dias, é necessário representar a sua evolução horária. O programa HAP permite elaborar esta evolução através da escolha da percentagem de utilização de um determinado equipamento, ocupação ou iluminação. Utilizando o regulamento que apresenta perfis de utilização pré-definidos para um determinado tipo de utilização, foi possível elaborar os perfis de acordo com o capítulo 4.8.1 e 4.8.2 e introduzido no HAP, como demonstrado nas seguintes ilustrações:

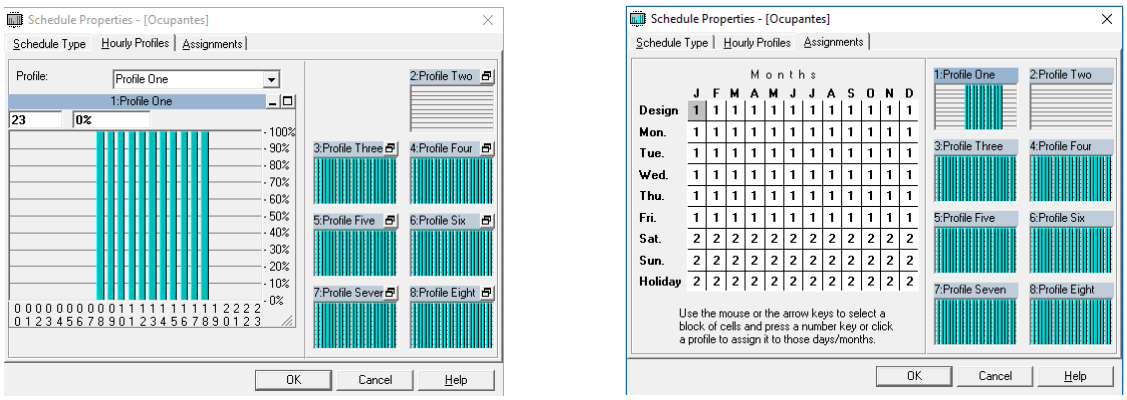


Ilustração 40 - Introdução dos perfis de ocupação no programa HAP (extraído de Carrier Corporation, HAP 4.41, 2009)

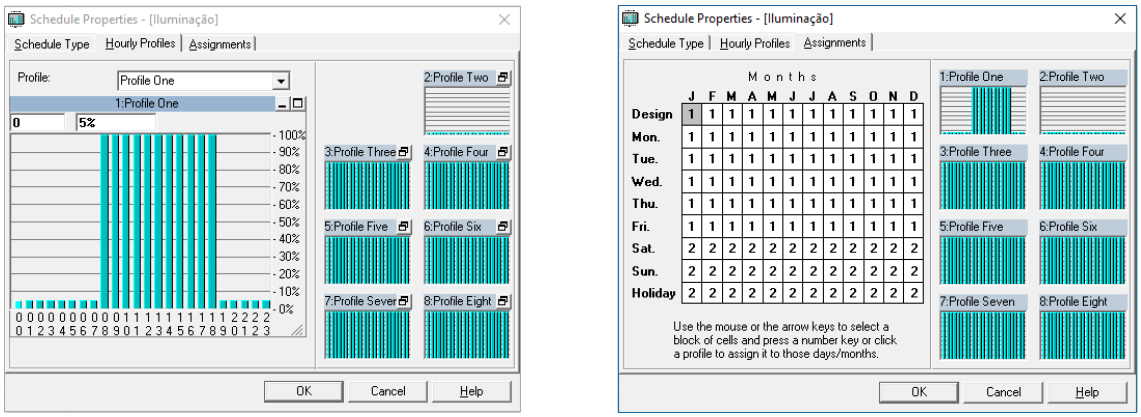


Ilustração 41 - Introdução dos perfis de iluminação no programa HAP (extraído de Carrier Corporation, HAP 4.41, 2009)

Ao nível dos equipamentos existentes no interior da sala, tal como descrito anteriormente, estes estão em permanente funcionamento e como tal, o perfil de utilização é o seguinte:

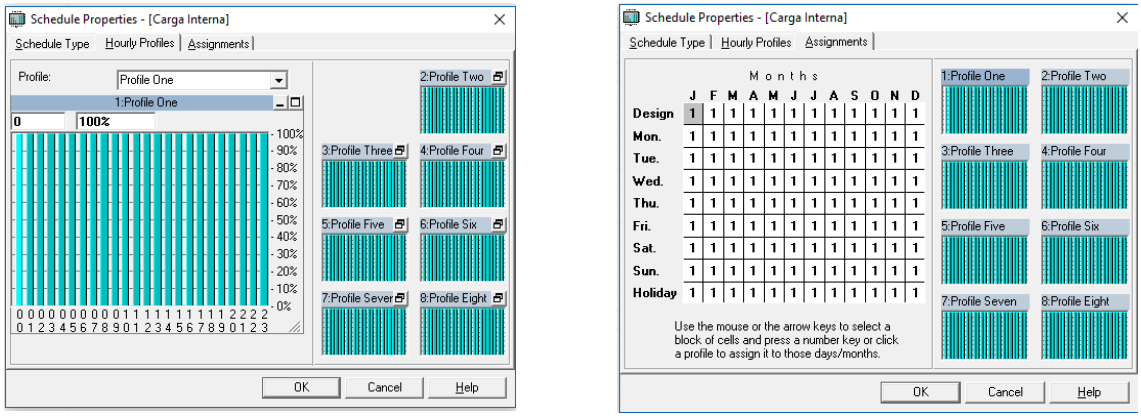


Ilustração 42 - Introdução dos perfis dos equipamentos internos no programa HAP (extraído de Carrier Corporation, HAP 4.41, 2009)

Verifica-se que todos os horários possuem baixas utilizações nos fins-de-semana, uma vez que se trata do descanso semanal dos operadores do espaço. Nos dias úteis verifica-se um aumento de utilização desde as primeiras horas da manhã até às 18h. A partir desta hora ocorre um novo decréscimo correspondendo à hora de saída do trabalho dos operadores.

De salientar que em horário não laboral a iluminação apresenta uma baixa percentagem de utilização, derivado à iluminação de emergência.

5.2.4 Introdução dos aspectos construtivos

De acordo com os capítulos 4.5.1 a 4.5.5 onde são estabelecidas as características da envolvente, é necessário agora introduzir esses valores no simulador

HAP. Esta introdução é feita através da criação de cada um dos elementos da envolvente (paredes, coberturas, pavimentos, envidraçados e portas), conforme se pode verificar nas ilustrações seguintes:

- Paredes

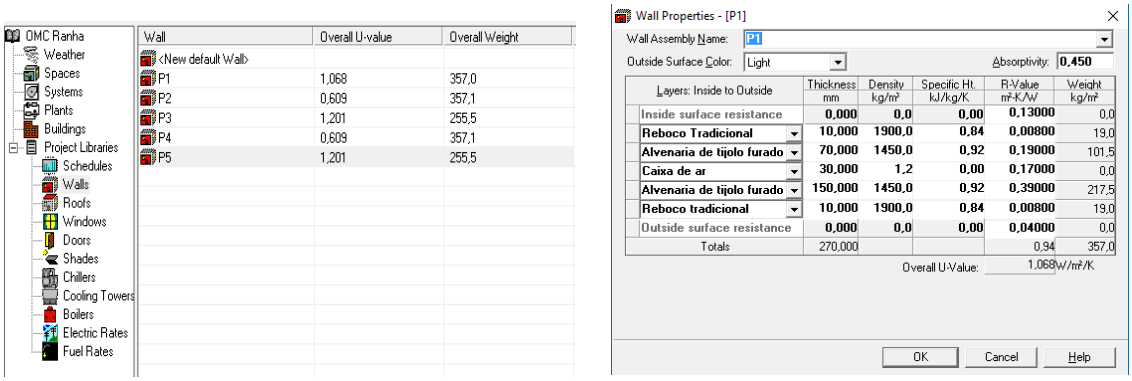


Ilustração 43 - Introdução do cálculo do coeficiente global de transmissão de calor das paredes no programa HAP (extraído de Carrier Corporation, HAP 4.41, 2009)

- Cobertura

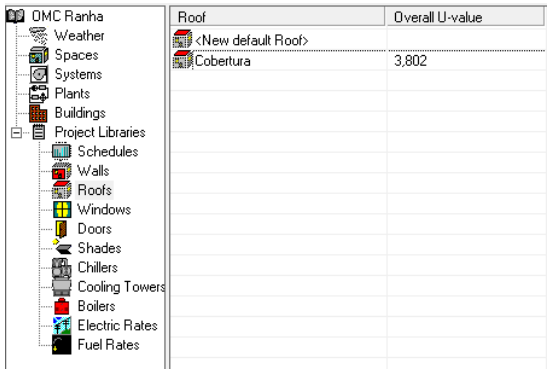


Ilustração 44 - Introdução do cálculo do coeficiente global de transmissão de calor da cobertura no programa HAP (extraído de Carrier Corporation, HAP 4.41, 2009)

5.2.5 Introdução do espaço a climatizar

Este subcapítulo é o mais importante no HAP uma vez que é aqui que se define o espaço e a sua constituição, bem como todas as quantificações das cargas internas, iluminação, ocupação e identificação da tipologia da instalação como se pode observar pela Ilustração 45:

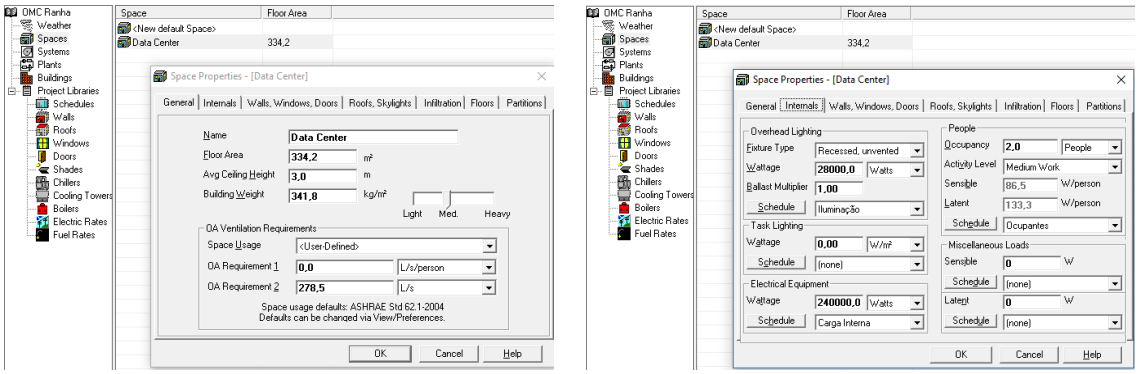


Ilustração 45 - Introdução das propriedades do espaço em estudo referentes às cargas internas no programa HAP (extraído de Carrier Corporation, HAP 4.41, 2009)

A Ilustração 45 é muito importante uma vez que define todas as cargas internas existentes no espaço. Como se pode constatar, o valor do equipamento eléctrico introduzido é um requisito do utilizador final, conforme capítulo 4.3, e o valor da iluminação foi determinado através do levantamento efectuado conforme capítulo 4.10.

5.2.6 Selecção do sistema de climatização

Para o simulador efectuar uma correcta simulação necessita da identificação do tipo de sistema de climatização que será implementado. Neste trabalho o sistema de climatização escolhido foi o Volume de Ar Constante de zona singular de acordo com o HAP. Este sistema é indicado para situações onde apenas é necessário climatizar uma zona, sendo o sistema melhor adaptado para o caso de estudo.

Tendo em consideração o descrito no capítulo três, no interior do espaço a climatizar serão implementadas unidades CRAC. Este trabalho irá abordar duas implementações distintas:

- **Caso 1**: Unidades CRAC do tipo CW, com *chiller* para produção de água refrigerada;
- **Caso 2**: Unidades CRAC do tipo DX.

Em ambos os casos implantar-se-á arrefecimento gratuito no ar, se assim for possível. Para determinar esta possibilidade é importante ter conhecimento do tipo de

clima de Portugal para uma melhor escolha do tipo de controlo a efectuar no processo de FC.

Portugal é caracterizado por dois géneros climáticos e segundo a classificação Köppen-Geiger, no território continental o clima é temperado, do Tipo C de estepes com verões temperados/quentes: [32]

- Csa – Clima temperado com Verão quento e seco nas regiões a sul do sistema montanhoso Montejunto-Estrela;
- Csb – Clima Temperado com Verão seco e suave em quase todas as regiões a Norte do sistema montanhoso Montejunto-Estrela.

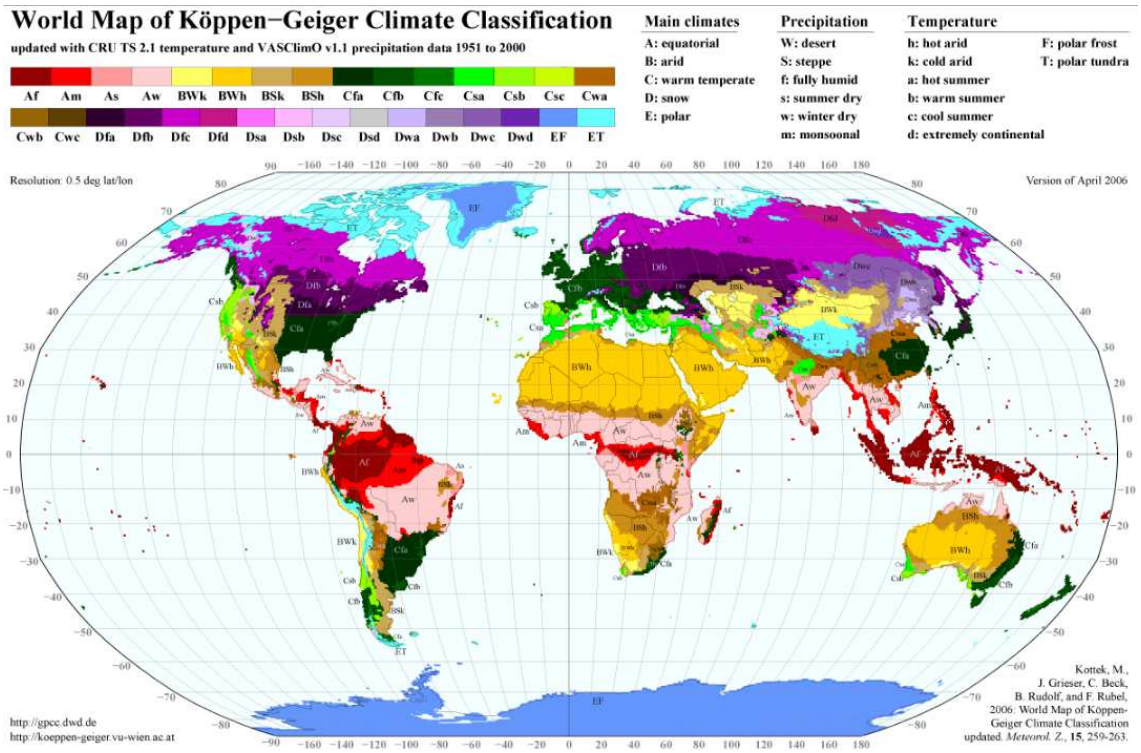


Ilustração 46 - Mapa mundial com as classificações ao nível do clima [31]

Como visto no capítulo 3.4.1, a Norma ASHRAE 90.1-2004 [21] é baseada no território dos Estados Unidos da América. Portanto, os tipos climáticos associados a cada tipo de controlo estão associados à divisão por zonas dos Estados Unidos da América. Para ser possível associar a Norma ao clima português, é necessário encontrar uma zona climática do país de origem semelhante à do país em estudo. Considerando a Ilustração 46, vemos que o local em estudo está situado no clima Csb e vemos que uma porção dos Estados Unidos da América também possui este clima.

Quando comparado com a Ilustração 24 observa-se que é "4c" permitindo fazer ligação com a Tabela 6.

Assim a Norma ASHRAE 90.1-2004 afirma que um género climático 4c é melhor controlado por:

- HLS controlado pela temperatura seca de 24ºC;
- HLS controlado por temperatura diferencial, onde a temperatura do ar novo é superior à temperatura do ar de retorno.

Numa primeira análise, ambos os tipos de controlo são plausíveis uma vez que é possível fazer controlo diferencial até aos 24ºC. A partir deste valor, o controlador irá fechar os registos até ao valor mínimo de caudal, sendo a climatização feita pela serpentina de frio. De realçar que, nas instalações em estudo, a leitura por entalpia é rejeitada uma vez que o local está situado num clima quente e seco, por um lado, e por outro, os custos dos sensores e respectiva manutenção são elevados, não sendo justificável a sua implementação.

Será então adoptado o método de temperatura de bolbo seco fixa e temperatura diferencial, exemplificando:

- No caso onde a temperatura interior requerida seja de 22±3ºC;
- A temperatura exterior varie entre 16ºC a 25ºC.

Num determinado período do dia onde se verifiquem temperaturas exteriores de 16ºC, até 23.9ºC o controlo é feito pela temperatura diferencial. No caso de se verificar concretamente 19ºC no exterior e 22ºC no interior o economizador encontra-se activo. No caso de se verificarem 23ºC exteriores e 22ºC interiores, será atingido o ponto de HLS imposto pela condição de temperatura diferencial. Finalmente, caso sejam verificados 24ºC exteriores e, por exemplo 25ºC de temperatura no interior o ponto de HLS não é atingido pelo controlo diferencial, mas será limitado pela temperatura máxima fixa de HLS, impedindo que ar a 24ºC seja insuflado no espaço em estudo.

Voltando agora ao simulador HAP, os elementos gerais da selecção do sistema de climatização estão representados na ilustração abaixo:

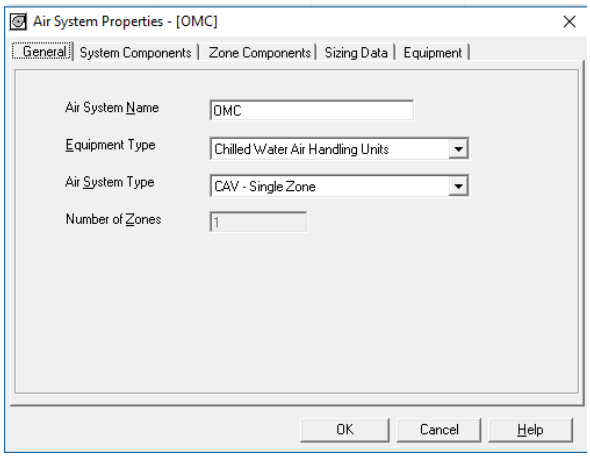


Ilustração 47 - Introdução das propriedades do sistema de climatização no programa HAP (extraído de Carrier Corporation, HAP 4.41, 2009)

Neste sistema foram escolhidos os seguintes componentes:

- Economizador;
- Humidificador;
- Serpentina de frio.

Inicialmente foi escolhido o economizador com um HLS de 24ºC e controlo de condição de temperatura diferencial, como seleccionado anteriormente.

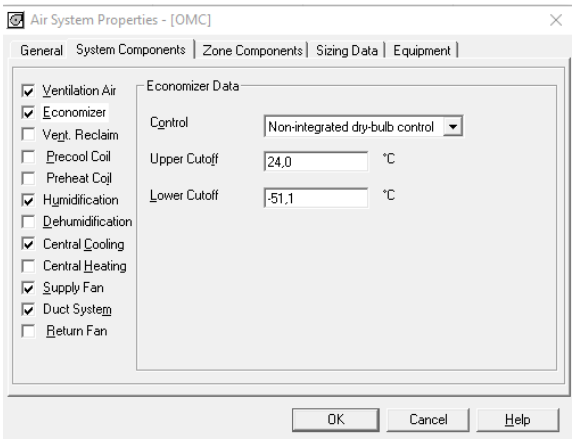


Ilustração 48 - Representação da selecção do economizador no programa HAP (extraído de Carrier Corporation, HAP 4.41, 2009)

Seguidamente foi considerada a colocação de um humidificador a fim de aumentar a humidade do ar caso seja necessário. Na ilustração seguinte é possível verificar a sua selecção.

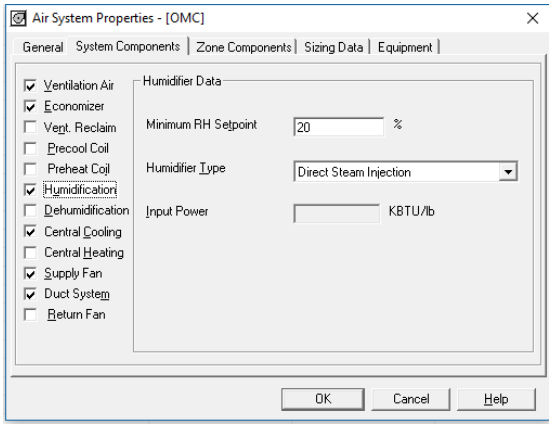


Ilustração 49 - Representação da selecção do humidificador no programa HAP (extraído de Carrier Corporation, HAP 4.41, 2009)

Pretende-se que a serpentina de frio/*chiller* tenha como temperatura de funcionamento de projecto cerca de 7ºC como temperatura de ida e 12ºC como temperatura de retorno. Na Ilustração 47 é possível verificar a introdução dos dados escolhidos.

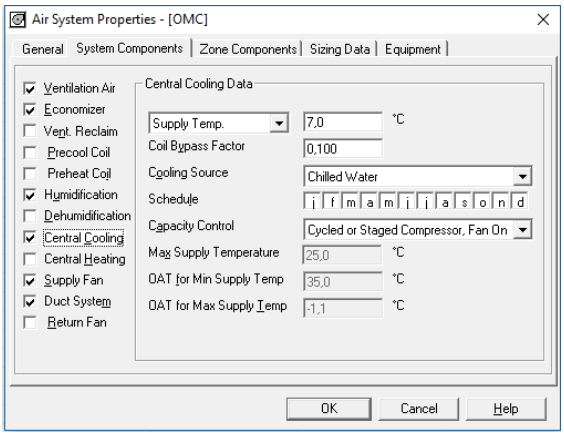


Ilustração 50 - Representação da selecção da bateria de frio/chiller no programa HAP (extraído de Carrier Corporation, HAP 4.41, 2009)

Ao nível da ventilação foram seleccionados ventiladores com variação de velocidade de forma a conseguir, no caso de condições favoráveis, que os ventiladores reduzam a sua velocidade e consequentemente os seus consumos energéticos. A perda de carga dos ventiladores foi considerada de 200 Pa de forma a criar pressão no

pavimento elevado e a contornar os obstáculos que nele existem (cabos eléctricos, pés de assentamento do pavimento elevado, esteiras, entre outros).

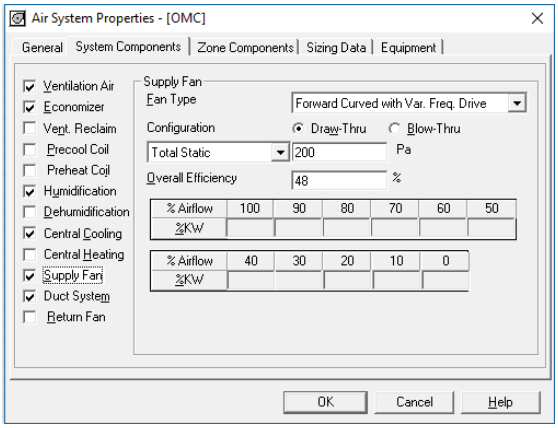


Ilustração 51 - Representação da selecção dos ventiladores no programa HAP (extraído de Carrier Corporation, HAP 4.41, 2009)

5.3 Resultado obtidos

Após a introdução de todos os dados, a simulação é feita no pior caso, ou seja, no mês mais quente do ano. O mês mais quente do ano, neste caso de estudo é Julho.

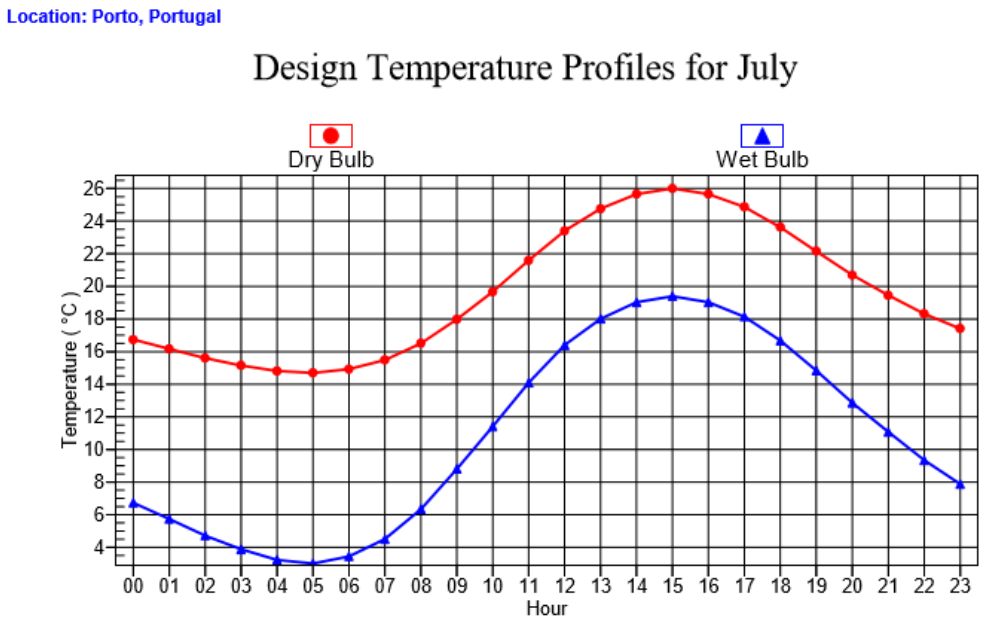


Ilustração 52 - Representação da evolução horária das temperaturas no mês de Julho (extraído de Carrier Corporation, HAP 4.41, 2009)

Os resultados obtidos para os dados introduzidos, nas condições de Verão encontram-se expostos na Tabela 29.

	DESIGN COOLING			DESIGN HEATING		
	COOLING DATA AT Jul 1300 COOLING OA DB / WB 24,8 °C / 18,0 °C			HEATING DATA AT DES HTG HEATING OA DB / WB 1,7 °C / -1,4 °C		
ZONE LOADS	Details	Sensible (W)	Latent (W)	Details	Sensible (W)	Latent (W)
Window & Skylight Solar Loads	0 m²	0	-	0 m²	-	-
Wall Transmission	21 m²	-66	-	21 m²	488	-
Roof Transmission	345 m²	9912	-	345 m²	28504	-
Window Transmission	0 m²	0	-	0 m²	0	-
Skylight Transmission	0 m²	0	-	0 m²	0	-
Door Loads	0 m²	0	-	0 m²	0	-
Floor Transmission	0 m²	0	-	0 m²	0	-
Partitions	0 m²	0	-	0 m²	0	-
Ceiling	0 m²	0	-	0 m²	0	-
Overhead Lighting	28000 W	15248	-	0	0	-
Task Lighting	0 W	0	-	0	0	-
Electric Equipment	240000 W	239989	-	0	0	-
People	2	122	267	0	0	0
Infiltration	-	0	0	-	0	0
Miscellaneous	-	0	0	-	0	0
Safety Factor	0% / 0%	0	0	0%	0	0
>> Total Zone Loads	-	265205	267	-	28992	0
Zone Conditioning	-	265440	267	-	3850	0
Plenum Wall Load	0%	0	-	0	0	-
Plenum Roof Load	70%	23128	-	0	0	-
Plenum Lighting Load	30%	8400	-	0	0	-
Return Fan Load	13040 L/s	0	-	13040 L/s	0	-
Ventilation Load	237 L/s	-495	3314	279 L/s	1184	0
Supply Fan Load	13040 L/s	5434	-	13040 L/s	-5434	-
Space Fan Coil Fans	-	0	-	-	0	-
Duct Heat Gain / Loss	0%	0	-	0%	0	-
>> Total System Loads	-	301906	3581	-	-400	0
Central Cooling Coil	-	301906	3584	-	0	0
Humidification Load	-	-	0	-	-	0
>> Total Conditioning	-	301906	3584	-	0	0
Key:	Positive values are clg loads Negative values are htg loads			Positive values are htg loads Negative values are clg loads		

Tabela 29 - Representação do somatório de todas as cargas envolvidas no edifício em estudo (extraído de Carrier Corporation, HAP 4.41, 2009)

Verifica-se que a carga sensível total do local é de 265 205 W, dos quais 239 989 W são transmitidos pelas cargas dos equipamentos interiores, 9 912 W pela cobertura, 15 248 W pela iluminação interior e 122 W pelos ocupantes do espaço.

A carga latente total é de 267 W originada pela ocupação, sendo esta a única fonte de carga latente. Pelo teor deste valor é possível afirmar que o ganho de humidade final irá ser muito baixo.

Na secção *Zone Conditioning* o programa HAP adicionou um factor de segurança do qual passou a ser considerada uma carga de 265 440 W. Este factor é aplicado para fins de correcção do programa, sendo que é usada a carga sensível total do local como

ponto de partida e adicionado para corrigir a eventual dinâmica de trocas de calor devido à mudança de períodos de não ocupação para períodos de ocupação. [30]

A carga total do processo será a soma da carga total sensível com a carga total latente, correspondendo assim a um total de 305 490 W como carga total de projecto, calculados pelo programa HAP. No Anexo 1 podem ser encontrados os restantes resultados da simulação.

Assim sendo, as unidades de climatização terão que possuir capacidade para produzir 305 490 W de frio de forma a climatizar o local em estudo.

6. Dimensionamento do sistema de climatização

Após a realização do cálculo da potência necessária para o dia de projecto, a próxima fase deste trabalho de dissertação é a seleção dos componentes fundamentais do processo.

Conforme já referido no capítulo 5.2.6, irão ser abordadas duas implementações distintas:

- **Caso 1**: Unidades CRAC do tipo CW, com *chiller* para produção de água gelada;
- **Caso 2**: Unidades CRAC do tipo DX.

6.1 Dimensionamento do sistema de climatização – Caso 1

Neste caso a instalação deverá corresponder às potências térmicas necessárias, de acordo com o obtido no capítulo 5.3, mas também deverá ter em conta o requisitos do utilizador final, definidos nos capítulo 4.3, nomeadamete na classificação exigida, neste caso **TIER III**.

Posto isto, no interior da sala irá ser implementado um conjunto de unidades CRAC que, para atingir a classificação desejada, devem possuir dupla alimentação eléctrica, proveniente de dois quadros eléctricos distintos de forma a que seja possível colocar fora de serviço um quadro eléctrico sem afectar o correcto funcionamento da instalação. O sistema de redundânica tem que ser no minimo de N+1, ou seja, uma unidade CRAC, com a instalação em pleno funcionamento, deve ficar desligada de forma a ser utilizada apenas no caso de colocação fora de seviço de uma outra unidade CRAC.

6.1.1 Dimensionamento das unidades CRAC tipo CW

Tendo em conta o valor das necessidades térmicas, 305 490 W, se se efectuar uma implementação de cinco unidades CRAC, cada uma delas deverá ter capacidade para 61 098 W de potência de arrefecimento, no entanto, considerando os sistemas de redundância, a instalação deverá possuir 6 unidades CRAC (N+1).

Cada uma destas unidades CRAC possuirá uma válvula de 3 vias modelante que permite fazer circular mais ou menos água na serpentina de frio, isto é, permite regular a potência térmica da unidade CRAC.

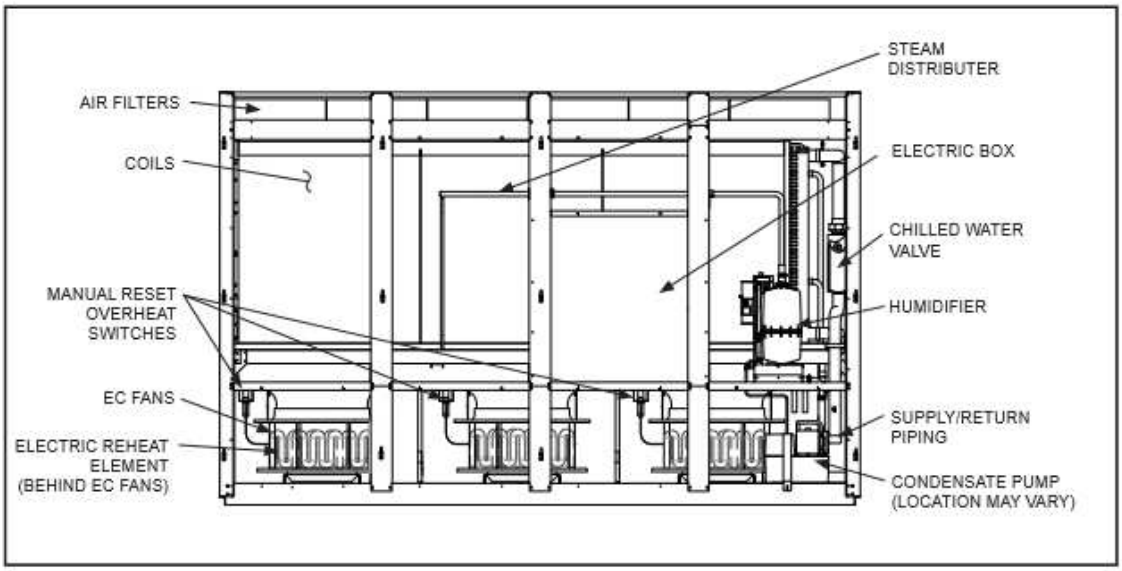


Ilustração 53 - Esquema tipo da unidade CRAC do tipo CW (extraído de *STULZ*)

Data sheet

STULZ
CLIMATE. CUSTOMIZED.

Project: ASD 940 CW
Editor: João Paulo Ferreira
Date : 03.01.2017

Unit

Unit type:	ASD 940 CW				
Cooling capacity (total):	67,7	kW	Airflow:	14 840	m³/h
Cooling capacity (sensible):	66,1	kW	Air velocity:	2,1	m/s
Net total cooling capacity:	66,0	kW	Return air temperature:	24	°C
Net sensible cooling capacity:	64,4	kW	Return air humidity:	40	rel.%
EER:	39,82	kW/kW	Supply air temperature:	11	°C
AER:	0,11	W/(m³/h)	Altitude above sea level:	0	m
Sound power level:	70,0	dB(A)	Height:	1 980	mm
LpA (2m freefield):	49,5	dB(A)	Width:	1 750	mm
			Depth:	890	mm
			Weight:	453	kg
			Power supply:	380-415/3/50	

Fan (Data per unit)

Fan type:	R3G630		Power consumption:	1,7	kW
Number:	2		ESP external static pressure:	20	Pa
Max. revolutions:	1 244	U/min	Total pressure drop:	243	Pa
Nominal power:	5,0	kW	Control voltage:	6,5	V
Revolutions:	847	rpm	Motor-efficiency:	83	%

Hydraulics (Data per unit)

Pressure drop CW Coil:	29	kPa	Medium inlet temperature:	7,0	°C
Pressure drop 3-way valve:	15	kPa	Medium outlet temperature:	12,0	°C
Pressure drop pipework:	13	kPa	Medium volume flow:	11,6	m³/h
Total pressure drop:	57	kPa	Percentage of glycol:	0	%
			Nominal size 3-way valve:	DN50	

Tabela 30 - Ficha técnica da unidade CRAC do tipo CW (extraído de *STULZ*)

6.1.2 Dimensionamento das unidades produtoras de água gelada

A produção da água gelada, que abastecerá as unidades CRAC, ficará a cabo da unidade produtora de água gelada, *chiller,* que deverá possuir uma potência térmica de 305 490 W. Como é desejada uma classificação TIER III é necessário que este equipamento também possua redundância e para tal deverá ser instalada uma segunda unidade produtora de água gelada. Cada unidade deverá possuir dupla alimentação eléctrica, proveniente de dois quadros eléctricos distintos de forma a que seja possivel colocar fora de serviço um quadro eléctrico sem afectar o correcto funcionamento da instalação. Estas duas unidades productoras de frio deverão contemplar bombas de circulação de água independentes, por forma a manter os níveis de redundância da instalação.

Ilustração 54 - Unidade tipo chiller (extraído de *TRANE*)

Informação geral			
Tonelagem nominal	090	Eficiência bruta	3.33 EER (kW/kW)
Tipo de unidade	Alta Eficiência sasonal (HSE)	Eficiência net	3.28 EER (kW/kW)
Atenuação de ruído	Baixo ruido extra (Inclui NNSB)	ESEER nas condições Eurovent	
Tipo de Refrigerante	R134a	ESEER Net nas condições	
Capacidade bruta	330.28 kW	Potência sonora ponderada A	88 dBA
Capacidade net	329.21 kW	Nível de pressão sonora (10m)	55 dBA
		Versão do TOPPS nº	193
Informação do evaporador			
Aplicação do evaporador	Arrefecimento standard (4.5 a 20ºC)	Temp. de congelação no evaporador	-0.2 C
Temp. entrada no evaporador	12.0 C	Configurações evaporador	Evaporador passos standard
Temp. saída no evaporador	7.0 C	Fluído no evaporador	Etilenoglicol
Caudal no evaporador	15.80 L/s	Concentração do fluído do evaporador	1.00 %
Perda de carga no evaporador	37.1 kPa	Factor de sujidade do evaporador	0.017615 m2-deg C/kW
Informação do condensador			
Aplicação da unidade	Ambiente standard	Nº de ventiladores	10
Temperatura ambiente	35.0 C	Caudal total de ar no condensador	41.50 m3/s
Opções do condensador	Alumínio MCHE	Elevação	0.0 m
Free Cooling Information			
Capacidade de arrefecimento FC	183.78 kW	Caudal FC	15.00 L/s
Eficiência FC	15.457 kW/kW	Temperatura de entrada FC	12.0 C
		Perda de Carga FC Inverno	88.0 kPa
Temperatura de saída FC	9.1 C	Perda de Carga FC Verão	98.1 kPa
Informação eléctrica			
Tensão	400 Volt/50 Hertz/3 Fases	Amperagem máxima	220.00 A
Potência da unidade	99.30 kW		
Potência total do compressor	91.60 kW		
Informações Físicas			
Comprimento	5645 mm	Carga de refrigerante circ. 1 (HFC-134a)	43 kg
Largura	2200 mm	Carga de refrigerante circ. 2 (HFC-134a)	41 kg
Altura	2672 mm		
Peso de transporte	4353 kg		
Peso em operação	4635 kg		

Tabela 31 – Representação das características da unidade produtora de água gelada seleccionada (extraído de *TRANE*)

Tal como a classificação TIER III exige, os circuitos de distribuição de água gelada desde as unidades produtoras até às unidades CRAC serão em anel, sendo que cada unidade CRAC terá um ramal dedicado desde o anel até à respectiva serpentina de frio.

6.1.3 Dimensionamento dos circuitos de água gelada

O escoamento no interior de tubagens sofre forte influência das paredes, dissipando energia devido ao atrito.

As partículas em contacto com a parede da tubagem adquirem a velocidade da parede, ou seja, velocidade nula, e passam a influenciar nas partículas vizinhas através da viscosidade e da turbulência, dissipando energia.

Essa dissipação de energia provoca uma diminuição da pressão total do fluido ao longo do escoamento que é denominada perda de carga. Esta perda de carga pode ser linear ou localizada, dependendo do motivo que a causa.

As paredes das tubagens rectilíneas causam uma perda de pressão distribuída ao longo do comprimento do tubo, fazendo com que a pressão total diminua gradualmente ao longo o comprimento e é denominada de perda de carga linear. Esta perda de carga é dependente do diâmetro da tubagem, do comprimento da mesma, da rugosidade do tubo, das propriedades do fluido que circula no tubo, tais como a massa específica, a viscosidade e a velocidade.

A perda de carga localizada surge nos acessórios hidráulicos, presentes no circuito hidráulico. Estes acessórios hidráulicos provocam variações bruscas da velocidade do escoamento, intensificando a perda de energia nos pontos onde estão localizados.

Para a determinação das secções do circuito de tubagens e respectiva perda de carga é necessário definir qual a velocidade de escoamento que se irá utilizar. Segundo as boas práticas, a velocidade deverá estar compreendida entre 0,8 e 1,2 m/s, como tal será aplicada uma velocidade de escoamento de 1 m/s para todo o circuito de tubagem.

Com a imposição da velocidade e com o caudal total da instalação, que pode ser obtido da Tabela 31, o caudal no evaporador é de 15,80 l/s, o diâmetro mínimo para o caudal total da instalação é dado pela seguinte equação:

$$D = \sqrt{\frac{A \times 4}{\pi}} \quad [m] \quad (10)$$

Em que:

$$A = \frac{\dot{v}}{v} \quad [m^2] \quad (11)$$

Como:

$$\dot{v} = 15{,}80 \ \frac{l}{s} = 0{,}0158 \ \frac{m^3}{s}$$

$$v = 1 \ \ m/s$$

Com isto temos:

$$A = \frac{0{,}0158}{1} \ = 0{,}0158 \ m^2$$

$$D = \sqrt{\frac{0{,}0158 \times 4}{\pi}} \ = 0{,}142 \quad [m]$$

Pelos cálculos anteriores verifica-se que o diâmetro mínimo para o caudal total é de 142 mm. Considerando os diâmetros standard, existentes no mercado, a tubagem será de 6” (diâmetro interno de 155,1 mm).

Recapitulando o capítulo anterior em que a exigência da classificação TIER III obriga a os circuitos de tubagem de água gelada serem em anel, este será de 6” em todo o seu comprimento. Desse anel surgirão as derivações para cada uma das unidades CRAC.

A tubagem de ligação entre o anel e as unidades CRAC terá uma secção diferente da do anel. Considerando que o caudal das unidades CRAC é de 3,22 l/s e utilizando novamente as equações 10 e 11, determina-se que o diâmetro mínimo das tubagens que ligam o anel à serpentina de frio das unidades CRAC é de 64,3 mm. Relacionando o valor anteriormente obtido com os diâmetros standard, existentes no mercado, verifica-se que a secção da tubagem será de 2 ½” (diâmetro interno de 68,9 mm).

Com as secções das tubagens determinadas é necessário, agora, obter a perda de carga existente. Para isso, primeiramente, faz-se o levantamento do troço mais desfavorável, tendo em conta a implementação dos equipamentos que o circuito hidráulico irá abastecer. Essa implementação deverá possuir os acessórios hidráulicos necessários para o correcto funcionamento da instalação, pois estes também induzem uma perda de carga, neste caso localizada, na circulação da água. É importante não esquecer, que é necessário duplicar o valor da perda de carga uma vez que existe um

troço de ida e um de retorno. No final soma-se a perda de carga linear à perda de carga localizada de cada acessório, obtendo assim a perda de carga do circuito.

Para o cálculo da perda de carga linear irão ser usadas três equações [33]:

- Equação de Darcy-Weisbach:

$$\Delta P = f \times \frac{L}{D} \times \frac{v^2}{2 \times g} \quad [mca] \quad (12)$$

- Equação de Colebrook-White:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2\log_{10}\left(\frac{\varepsilon}{3{,}7 \times D} + \frac{2{,}51}{Re \times \sqrt{f}}\right) \quad (13)$$

- Número de Reynolds:

$$Re = \frac{\rho \times v \times D}{\mu} \quad (14)$$

Em que:

$\Delta P - Perda\ de\ carga\ ao\ longo\ do\ comprimento\ do\ tubo\ [mca]$

$f - factor\ de\ atrito\ [adimensional]$

$L - Comprimento\ do\ tubo\ \ [m]$

$v - Velocidade\ real\ do\ escoamento\ \ [\frac{m}{s}]$

$g - Aceleração\ da\ gravidade\ \left[\frac{m}{s^2}\right]$

$D - Diâmetro\ interno\ do\ tubo\ [m]$

$\varepsilon - Rugosidade\ da\ parede\ do\ tubo\ [m]$

$Re - Número\ de\ Reynolds\ [adimensional]$

$\rho - Massa\ específica\ do\ fluido\ \left[\frac{kg}{m^3}\right]$

$\mu - Viscosidade\ dinâmica\ do\ fluido\ [Pa.s]$

$A - Área\ [m^2]$

$\dot{v} - Caudal\ \left[\frac{m^3}{h}\right]$

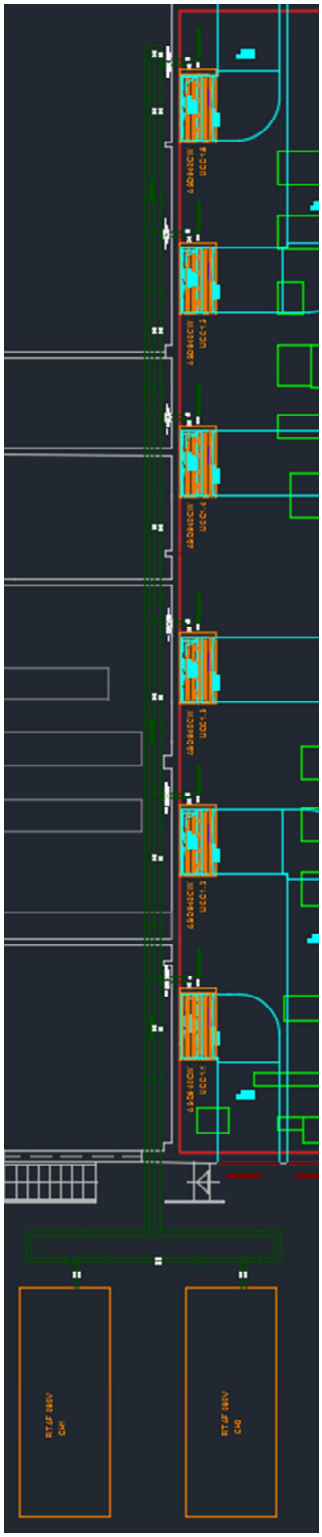


Ilustração 56 - Implementação de equipamentos e traçado das tubagens hidráulicas

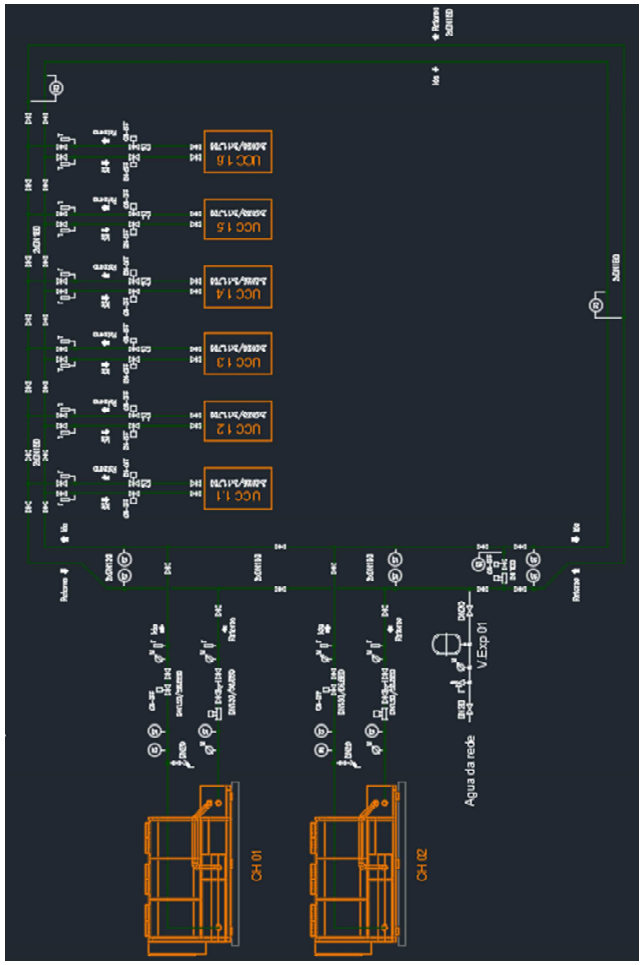


Ilustração 55 - Esquema de princípio hidráulico

Olhando para a Ilustração 56, verifica-se que o caminho mais desfavorável é aquele em que o circuito de ida e retorno circula água gelada até à última unidade CRAC, UCC 1.6, passando por todas as derivações para as outras unidades CRAC.

Considerando as seguintes propriedades:

Propriedade	Valor	Unidade
Massa específica água	1000	Kg/m^3
Viscosidade da água	0,001	Pa.s
Rugosidade do ferro	0,15	mm
Aceleração da gravidade	9,8	m/s^2

Tabela 32 - Propriedades para o cálculo da perda de carga

Utilizando as equações (12), (13), (14) e a Tabela 32, obtém-se a seguinte tabela:

Cálculo de perda de carga - Água gelada - Caminho Critico									
Caudal (m3/h)	Caudal total (m3/h)	D (mm)	$D_{nominal}$ (")	D_{inerno}(mm)	V_{real}(m/s)	Re	f	L (m)	ΔP (mca)
11,6	11,6	64,1	2 1/2"	68,9	0,86	59545	0,027	6	0,08862
	11,6	64,1	6"	155,1	0,17	26452	0,027	4,2	0,00107
11,6	23,2	90,6	6"	155,1	0,34	52903	0,024	4,5	0,00410
11,6	34,8	110,9	6"	155,1	0,51	79355	0,023	5	0,00977
11,6	46,4	128,1	6"	155,1	0,68	105807	0,022	4,2	0,01419
11,6	58,0	143,2	6"	155,1	0,85	132259	0,022	23	0,11909
								TOTAL	**0,47**

Tabela 33 - Cálculo da perda de carga linear

A Tabela 33 reflecte a perda de carga linear da instalação da Ilustração 56. Falta agora determinar a perda de carga localizada, que tem como base os acessórios hidráulicos, necessários para o correcto funcionamento da instalação, de acordo com a Ilustração 55.

A perda de carga localizada será determinada com base no comprimento equivalente. É definido como comprimento equivalente, L_{eq}, o comprimento em tubagem recta que causa a mesma perda de carga dos acessórios hidráulicos. Por cada acessório é definido um comprimento equivalente que é adicionado ao comprimento

linear da tubagem. Para isso usou-se a Tabela 34, onde estão contabilizados todos os acessórios da instalação.

Componentes	L_{eq}/D	Caminho crítico									
		2 1/2"	L_{eq}(m)	3"	L_{eq}(m)	4"	L_{eq}(m)	5"	L_{eq}(m)	6"	L_{eq}(m)
		0,0689		0,0809		0,105		0,1297		0,1551	
Redução	12		0		0		0		0		0
Joelho a 90º	45	3	9,3015		0		0		0		0
Joelho a 45º	20		0		0		0		0		0
Curva a 90º	30		0		0		0		0	5	23,265
Curva a 45º	15		0		0		0		0		0
Tê saída pelo meio	60		0		0		0		0	1	9,306
Tê entrada pelo meio	90		0		0		0		0	1	13,959
Tê passagem directa	20		0		0		0		0	10	31,02
Válvula globo aberta	300	2	41,34		0		0		0	8	372,24
Adufa aberta	7		0		0		0		0		0
Válvula retenção	100		0		0		0		0		0
Filtro	250		0		0		0		0	1	38,775
Válvula reguladora	300	1	20,67		0		0		0		0
			71,31		**0,00**		**0,00**		**0,00**		**488,57**

Tabela 34 - Cálculo dos comprimentos equivalentes dos acessórios

Somando a Tabela 33 com a Tabela 34 resulta:

Cálculo de perda de carga - Água gelada - Caminho Critico										
Caudal (m3/h)	Caudal total (m3/h)	D (mm)	$D_{nominal}$ (")	$D_{interno}$ (mm)	V_{real} (m/s)	Re	f	L (m)	L_{eq} (m)	ΔP (mca)
11,6	11,6	64,1	2 1/2"	68,9	0,86	59545	0,027	6	71,31	1,14192
	11,6	64,1	6"	155,1	0,17	26452	0,027	4,2	60,49	0,01641
11,6	23,2	90,6	6"	155,1	0,34	52903	0,024	4,5	49,63	0,04936
11,6	34,8	110,9	6"	155,1	0,51	79355	0,023	5	49,63	0,10679
11,6	46,4	128,1	6"	155,1	0,68	105807	0,022	4,2	49,63	0,18181
11,6	58,0	143,2	6"	155,1	0,85	132259	0,022	23	279,19	1,56471
									TOTAL	**6,12**

Tabela 35 - Cálculo da perda de carga total da instalação

Através da Tabela 35 constata-se que a perda de carga total da tubagem é de 6,12 mca, no entanto falta somar a este valor duas perdas de carga muito importantes:

- Perda de carga na serpentina de frio;
- Perda de carga no permutador do *chiller.*

Estes dois valores são retirados das respectivas fichas técnicas:

- Perda de carga na serpentina de frio: 5,82 mca;
- Perda de carga no permutador do *chiller*: 3,78 mca.

A perda de carga total da instalação, e que as bombas de circulação terão que vencer é de 6,12+5,82+3,78 = **15,77 mca.**

6.1.4 Dimensionamento do sistema de arrefecimento gratuito do ar

O FC, neste caso em concreto, pode ser implementado directamente nas unidades CRAC. Este sistema consiste no acoplamento de um *plenum* à unidade CRAC do tipo CW. Este *plenum* possui dois registos que são responsáveis pelo ar novo e pelo ar de recirculação. A motorização desses registos é feita pelo controlador da própria unidade CRAC com auxilio de uma sonda de temperatura exterior.

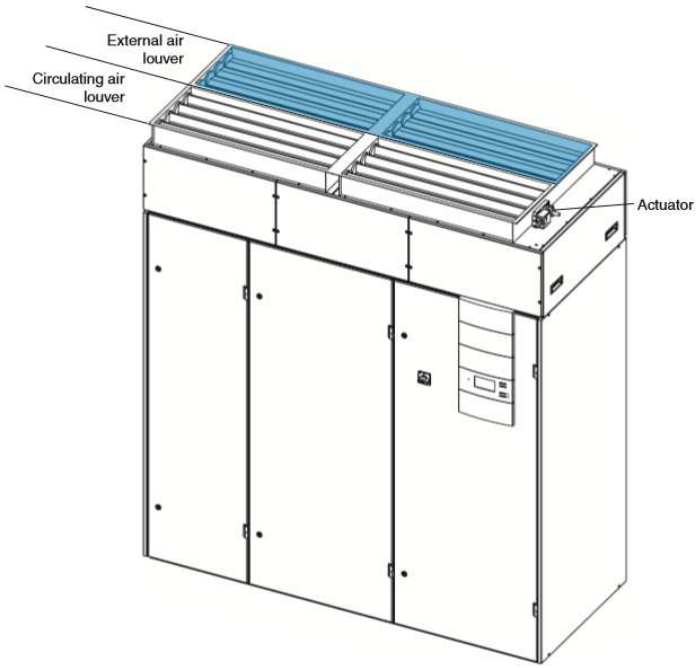


Ilustração 57 - Esquema da unidade CRAC com *plenum* de *free-cooling* (extraído de *STULZ*)

Considerando a ficha técnica da unidade, o caudal de ar que os ventiladores permitem é de 14 840 m^3/h e como tal este será o caudal permitido por unidade para aplicação de FC.

Pela Tabela 29 é possível verificar que os ganhos sensíveis do local, Q_{sL}, são de 265 205 W e considerando:

$$Q_{sL} = 1{,}23 \times \dot{v} \times (T_i - T_e) \qquad [W] \;\; (15) \quad [34]$$

Sendo:

$Q_{sL} - Ganhos\ sensíveis\ do\ local \;\; [W]$

$\dot{v} - Caudal\ de\ ar \;\; \left[\frac{l}{s}\right]$

$T_i - Temperatura\ interior \;\; [ºC]$

$T_e - Temperatura\ exterior \;\; [ºC]$

Considerando a temperatura interior, T_i, a definida pelo utilizador final, 24ºC, e assumindo que as seis unidades CRAC podem funcionar em modo FC simultaneamente, perfazendo um total de 89 040 m^3/h de caudal disponível de ar novo, a temperatura mínima que é possível climatizar a instalação na sua totalidade com FC é dada pela seguinte equação:

$$T_e = T_i - \frac{Q_{sL}}{1{,}23 \times \dot{v}} \qquad [ºC] \quad (16)$$

Assim o resultado de T_e é:

$$T_e = 24 - \frac{265\,205}{1{,}23 \times 24733} = 15{,}29ºC$$

Observando as condições ambientais do local onde a instalação está inserida, através do *SolTerm 5.0*, é possível verificar que existem, ao longo do ano, 5296 horas em que a temperatura exterior é inferior a 15,29 ºC.

Resumindo, esta instalação, mais de metade do ano será climatizada recorrendo ao sistema de *free-cooling* e a restante parte do ano a climatização será feita recorrendo aos equipamentos de refrigeração.

Na utilização do sistema de arrefecimento gratuito do ar, quantidades enormes de ar proveniente do exterior é injectado dentro do espaço a climatizar, criando assim

uma sobrepressão dentro desse espaço que é necessário diminuir/eliminar. Essa sobre pressão é diminuída com auxílio de registos de exaustão motorizados. Esses registos são normalmente implementados a nível alto da sala de forma a retirar o ar quente que é menos denso e tem tendência a subir, conforme se pode verificar na Ilustração 23.

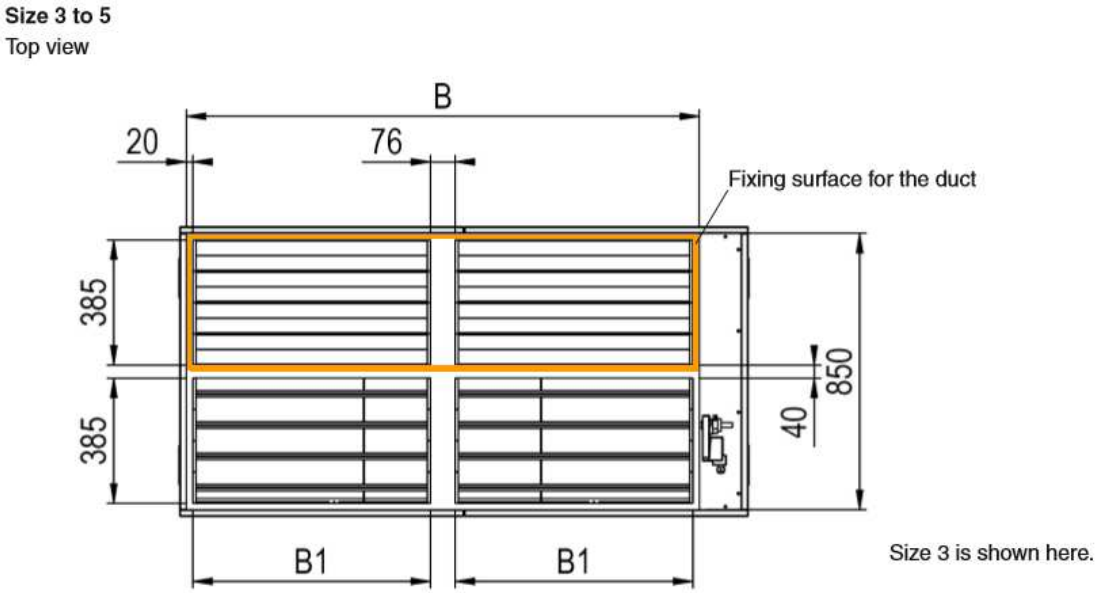


Ilustração 58 - Dimensões do plenum de free-cooling (extraído de STULZ)

Pela Ilustração 58, as dimensões do *plenum free-cooling* é de 1530mm de comprimento por 385mm de altura. Para estas dimensões e relembrando que o caudal da unidade CRAC é de 14 840 m^3/h, a velocidade do ar na passagem pelo registo, seja o de ar novo ou o de ar recirculado, tem o valor de 7 m/s.

De forma a manter, sensivelmente, a mesma velocidade de escoamento do ar, a secção das condutas de interligação entre as unidades CRAC e o exterior é de 1500mm de comprimento e 400mm de altura. Cada unidade CRAC possui uma conduta independente possuindo uma grelha de exterior na extremidade que liga ao exterior. Essa grelha impede a entrada de animais e objectos indesejáveis, bem como protege a entrada de chuvas para o interior da conduta.

A despressurização, ou retirada do ar de exaustão, utiliza registos motorizados de secção 1200x400mm. Cada unidade CRAC possui ligação eléctrica a um registo de exaustão. Este estará aberto com igual percentagem do registo de ar novo, ou seja, se

o registo de ar novo tiver 60% aberto, o de exaustão também estará 60% aberto, mas o registo de ar recirculado estará aberto o inverso, ou seja, 40%.

Com a implementação dos registos de exaustão todo o calor será "empurrado" para o espaço entre o tecto falso e a cobertura do edifício, funcionando assim como *plenum*, sendo posteriormente libertado para o exterior através de grelhas existentes na fachada de dimensões 2400x800mm.

Ilustração 59 - Planta da implementação das condutas, registos e grelhas do sistema de free-cooling no Caso 1

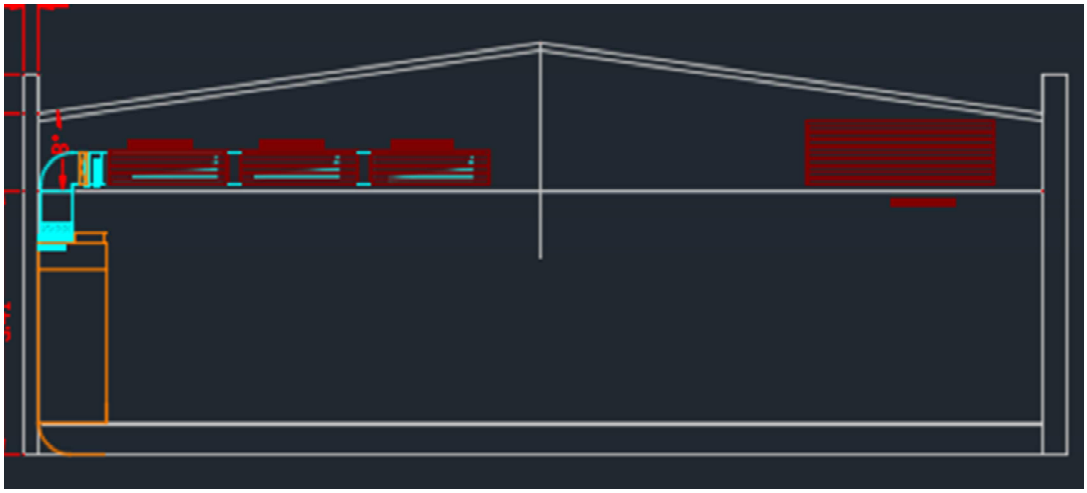


Ilustração 60 - Corte transversal da implementação das condutas, registos e grelhas

6.2 Dimensionamento do sistema de climatização – Caso 2

Neste sistema a única diferença para o Caso 1, é que não existe necessidade de unidades produtoras de água gelada uma vez que unidade CRAC será do tipo DX e como tal, terá o seu próprio circuito de refrigeração.

6.2.1 Dimensionamento das unidades CRAC tipo DX

As unidades CRAC possuirão as mesmas características de dupla alimentação eléctrica, redundância e potência, que no Caso 1. Como tal, serão instaladas seis unidades CRAC do tipo DX, em que cada um possuirá os seguintes componentes:

- Compressor;
- Condensador;
- Válvula expansora;
- Evaporador.

O condensador é o único elemento que fica no exterior. Todos os restantes componentes localizam-se na unidade CRAC.

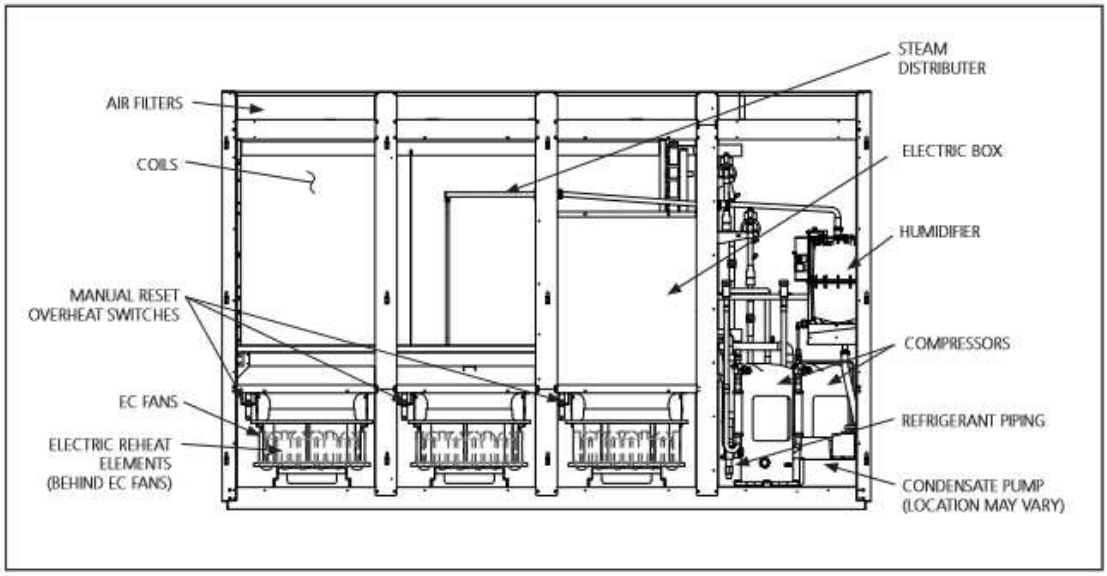


Ilustração 61 - Esquema da unidade CRAC do tipo DX (extraído de STULZ)

A função do condensador é arrefecer o fluido frigorigénio com auxílio da temperatura exterior. Como este equipamento está no exterior, tem que existir uma ligação, através de tubagem, para que o fluido frigorigénio circule entre o condensador e a unidade interior.

Unit

Unit type:	ASD 712 A		
Cooling capacity (total):	66,0 kW	Airflow:	20.000 m³/h
Cooling capacity (sensible):	62,6 kW	Air velocity:	2,9 m/s
Net total cooling capacity:	59,9 kW	Return air temperature:	24 °C
Net sensible cooling capacity:	56,5 kW	Return air humidity:	50 rel.%
Condensing temperature:	52 °C	Supply air temperature:	15 °C
EER:	2,83 kW/kW	Altitude above sea level:	0 m
AER:	0,30 W/(m³/h)	Height:	1.980 mm
Sound power level:	81,6 dB(A)	Width:	2.200 mm
LpA (2m freefield):	60,9 dB(A)	Depth:	890 mm
Number of refrigerant circuits:	2	Weight:	721 kg
Number of compressors:	2	Refrigerant:	R410A
		Frequency:	50 Hz

Fan (Data per unit)

Fan type:	R3G595	Power consumption:	6,1 kW
Number:	2	ESP external static pressure:	300 Pa
Max. revolutions:	1.412 U/min	Total pressure drop:	688 Pa
Nominal power:	5,8 kW	Control voltage:	9,4 V
Revolutions:	1.402 rpm	Motor-efficiency:	89 %

Compressor (Data per compressor)

Electrical power consumption:	8,6 kW
Heat rejection:	41,5 kW
COP:	3,85 kW/kW
Number:	2
Evaporating temperature:	11,4 °C

Condenser

Unit type:	KSV057A32p	Weight:	161 kg
Ambient temperature:	42 °C	Current consumption (per fan):	3,10 A
Sound pressure group:	Standard	Power consumption (per fan):	0,71 kW
Required condenser capacity:	41,5 kW	Height:	907 mm
Available condenser capacity:	43,6 kW	Width:	2.360 mm
Difference:	5,1 %	Depth:	770 mm
Number of fans:	3	Airflow:	16.800 m³/h
Number of condensers:	2	LpA (5m freefield):	60,3 dB(A)

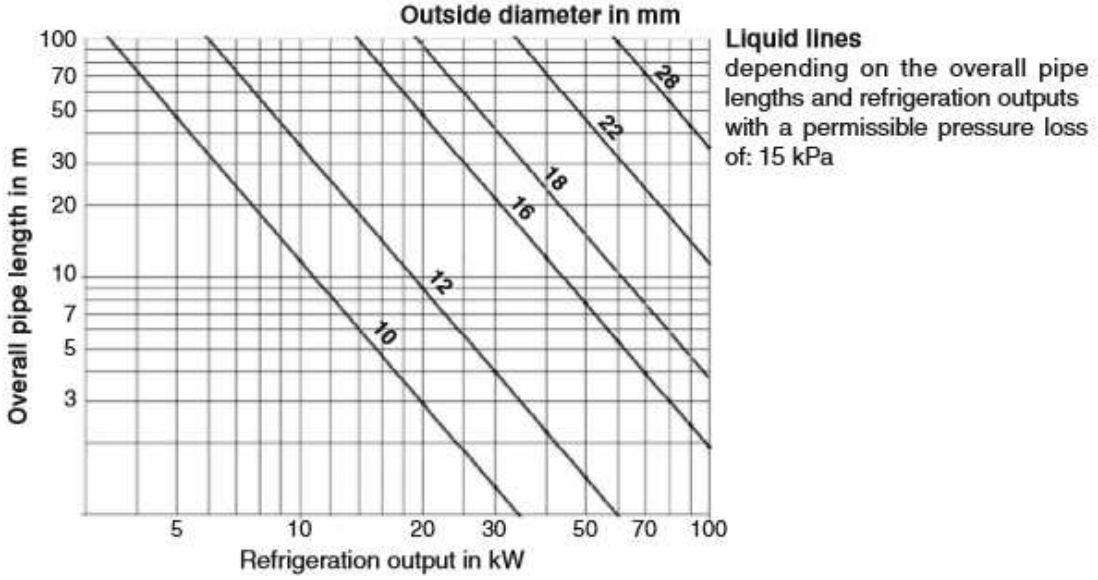
Tabela 36 - Ficha técnica da unidade CRAC DX (extraído de STULZ)

6.2.2 Dimensionamento das tubgens de fluido frigorigénio

O dimensionamento da tubagem de frigorigénio deve obedecer a determinadas regras que usualmente são impostas pelos fabricantes, nomeadamente:

- Secção das tubagens;
- Comprimento das tubagens;
- Desníveis entre condensador e unidade interior.

De acordo com o manual do fabricante a secção das tubagens de cobre, para unidades com fluido frigorigénio R410A, devem respeitar a ilustração abaixo:



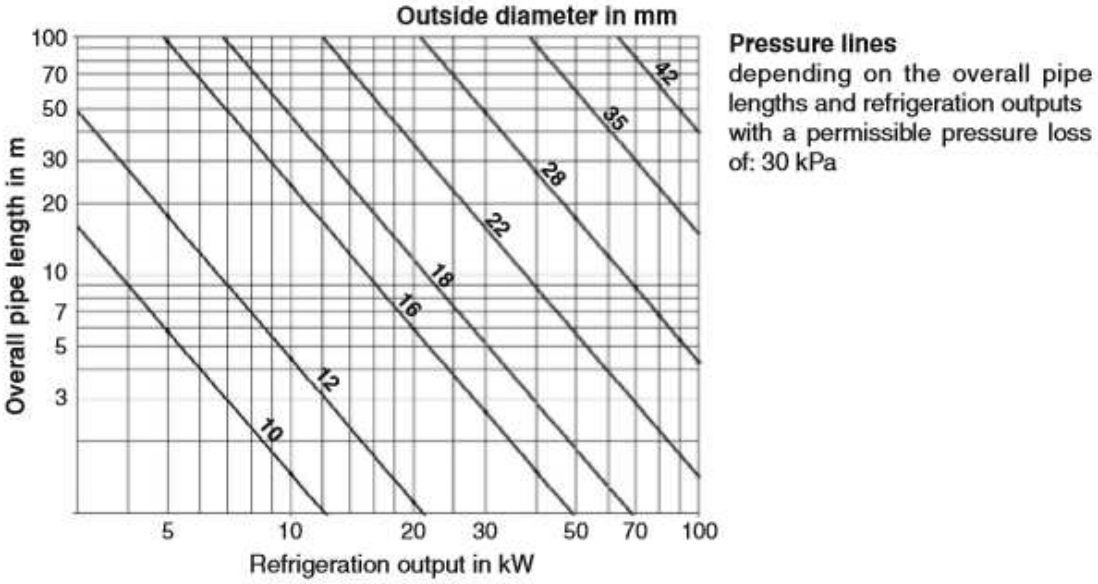


Ilustração 62 - Abaco para dimensionamento de tubagens de fluido frigorigénio R410A (extraído de STULZ)

Como se observa, para se determinar a secção das tubagens é necessário os comprimentos das mesmas, ou seja, distância entre o condensador e a unidade interior e a respectiva potência térmica.

Através da análise da Tabela 36 verifica-se que cada unidade CRAC pssui uma potência térmica total de 66 kW, mas também possui dois circuitos independentes de fluido frigorigénio, o que leva a considerar que cada circuito será responsável por metade da potência térmica total, ou seja, 33 kW.

Esta particularidade, da unidade possuir dois circuitos de fluido frigorigénio, cada um com um compressor, permite que a unidade possa funcionar apenas com um circuito dando assim uma maior modularidade em termos de escalões de funcionamento e em caso de rotura da tubagem de frigorigénio apenas metade da unidade fica inoperacional, ficando o outro circuito em pleno funcionamento.

Posto isto, é necessário efectuar a implementação dos equipamentos, condensadores e unidades interior, de forma a se obter os comprimentos das tubagens.

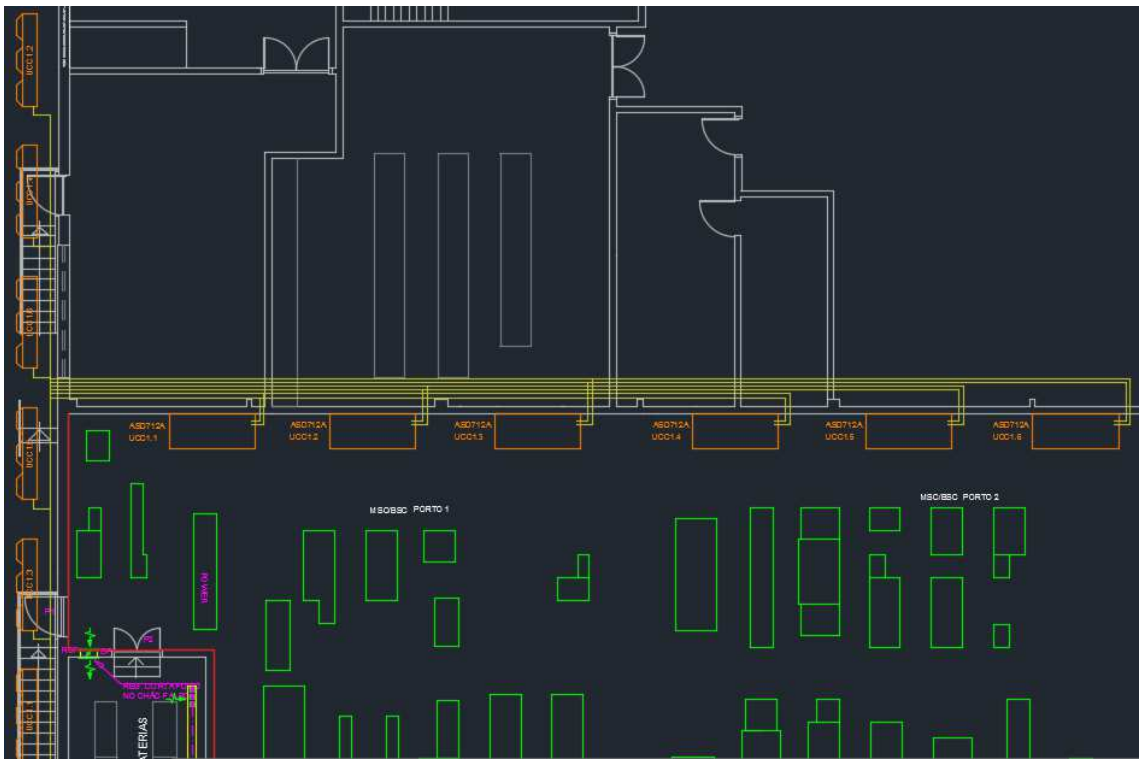


Ilustração 63 - Implementação das unidades interiores e condensadores

Com a Ilustração 63 é possível determinar os comprimentos das tubagens que dá origem à Tabela 37.

Unidade CRAC	Comprimento Circuito 1 (m)	Comprimento Circuito 2 (m)
UCC1.1	22,1	22,1
UCC1.2	23,4	23,4
UCC1.3	27,2	27,2
UCC1.4	29,5	29,5
UCC1.5	33,2	33,2
UCC1.6	34,5	34,5

Tabela 37 - Comprimento das tubagens entre unidades interiores e condensadores

Cruzando a Tabela 37 com a Ilustração 62, obtém-se a Tabela 38, onde estão identificadas a secções das tubagens de fluido frigorígeno para as respectivas unidades CRAC.

	Circuito 1		Circuito 2	
Unidade CRAC	**Tubagem da linha de líquido (mm)**	**Tubagem da linha de vapor (mm)**	**Tubagem da linha de líquido (mm)**	**Tubagem da linha de vapor (mm)**
UCC1.1	18	28	18	28
UCC1.2	18	28	18	28
UCC1.3	18	28	18	28
UCC1.4	22	28	22	28
UCC1.5	22	28	22	28
UCC1.6	22	28	22	28

Tabela 38 - Secção das tubagens entre unidades interiores e condensadores

Outro pormenor, que se deve ter em consideração, na implementação de tubagens de fluido frigorígeno é o desnível entre o condensador e a unidade interior. De forma a garantir o retorno do óleo lubrificante ao compressor é fundamental a instalação de sifões na tubagem da linha de vapor. A instalação dos sifões deve obedecer às regras recomendadas pelo fabricante, através da Ilustração 64.

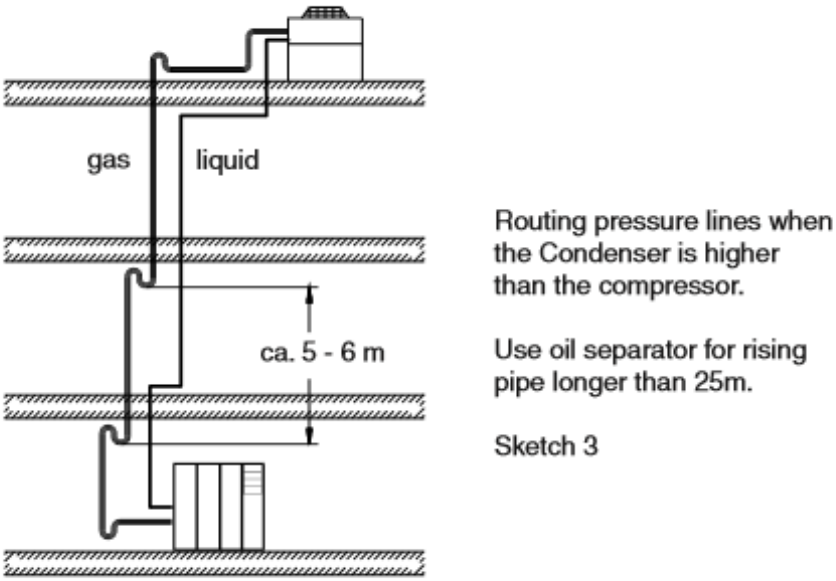


Ilustração 64 - Recomendações do fabricante para a instalação de sifões (extraído de STULZ)

Neste caso como o condensador ficará instalado a 6 metros acima da unidade interior, será apenas instalado um sifão, no início da subida, e outro sifão, no topo da subida, sendo neste caso invertido, conforme representado na Ilustração 64.

6.2.3 Dimensionamento do sistema de arrefecimento gratuito do ar

O procedimento para a determinação do sistema de FC é semelhante ao apresentado no capítulo 6.1.4. No entanto, considerando a Tabela 36, o caudal de ar desta unidade CRAC é de 20 000 m3/h, superior ao do referido no capítulo 6.1.4 e como tal, com estas unidades existe uma maior potência térmica com recurso ao sistema de FC.

Calculando a temperatura exterior máxima que permite climatizar o espaço recorrendo apenas ao sistema de FC, obtém-se:

$$T_e = 24 - \frac{265\,205}{1{,}23 \times 33333} = 17{,}53ºC$$

Observando novamente, as condições ambientais do local onde a instalação está inserida, através do *SolTerm 5.0*, é possível verificar que existem, ao longo do ano, 6566 horas em que a temperatura exterior é inferior a 17,53 ºC.

Resumindo, esta instalação, cerca de três quartos do ano será climatizada recorrendo ao sistema de FC e na restante parte do ano a climatização será feita recorrendo aos equipamentos de refrigeração.

Os restantes procedimento de determinação do sistema de FC são semelhantes ao descritos no capítulo 6.1.4 dando origem à Ilustração 65.

Como é de notar na Ilustração 65, o sistema de implementação é semelhante ao do Caso 1, apenas variam as secções das condutas, grelhas e registos devido ao aumento de caudal que as unidades CRAC tipo DX possuem, relativamente às unidades CRAC tipo CW.

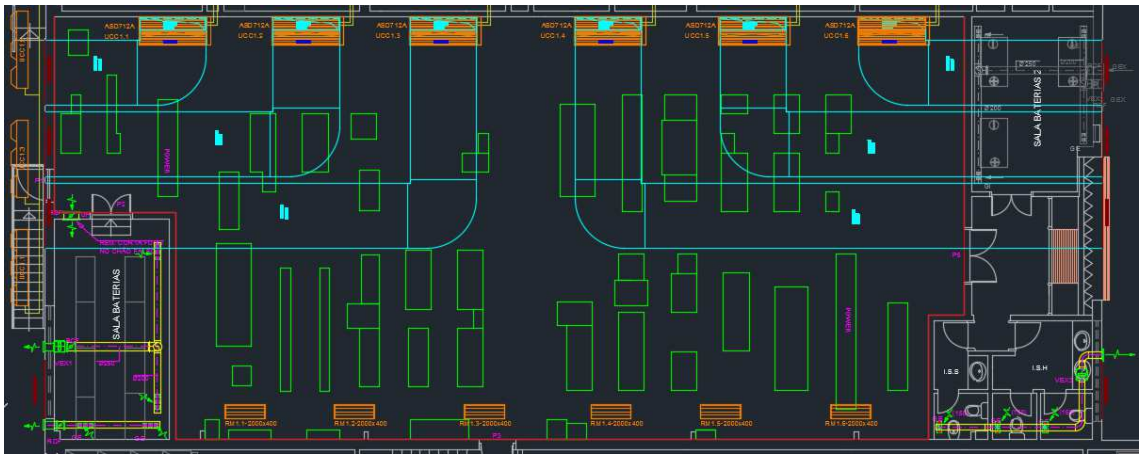


Ilustração 65 - Planta da implementação das condutas, registos e grelhas do sistema de FC do Caso 2

Considerando os dois casos sugeridos para a alteração do sistema de climatização, existe entre eles algumas vantagens e desvantagens:

- O Caso 1 exige espaço no exterior para implementação dos *chillers* o que pode ser uma desvantagem relativamente ao Caso 2;
- O Caso 2 possui unidades interiores maiores que o Caso 1, podendo ser um impedimento ao nível dos atravancamentos interiores;
- O Caso 2 possui uma maior potência térmica disponível no sistema de FC, permitindo assim uma maior poupança energética. No entanto, as condutas de ligação ao exterior e respectivas grelhas são maiores, podendo ser mais difícil a sua implementação;
- No Caso 1, a maior parte das tarefas de manutenção são realizadas no exterior, existindo assim uma menor probabilidade de danificar algum bastidor durante as respectivas tarefas.

7. Análise económica

Após o dimensionamento da instalação nos dois casos, é neste capítulo que se tomará a decisão de qual instalação é mais vantajosa economicamente. Essa decisão, para além do exposto nos capítulos anteriores, passa pela análise do custo de operação de cada um dos casos, bem como do custo do respectivo investimento.

7.1 Custos de operação da instalação

Neste capítulo irão ser estimados os custos de operação em cada um dos casos anteriormente expostos.

Os consumos da instalação actual foram já apresentados no capítulo 4.10, no entanto à Tabela 26 vai ser acrescentada a coluna do custo referente aos consumos, considerando um custo médio unitário da electricade de 0,11€/kWh.

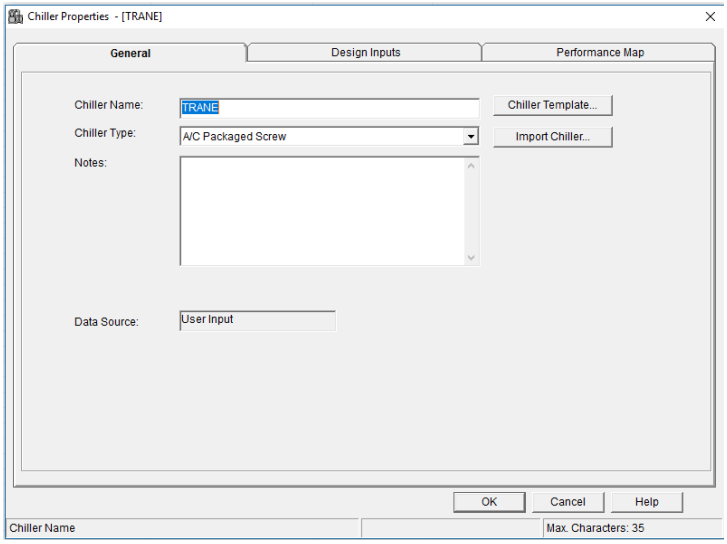
Área	Consumo horário (kWh)	Consumo anual (kWh/ano)	Custo (€/ano)	Percentagem Consumo (%)
Equipamento eléctrico	105	919800	101178	58,3
Climatização	67	585920	64451	37,1
Iluminação e outros	28	72800	8008	4,6
Total	**200**	**1578520**	**173637**	**100**

Tabela 39 - Valores dos consumos e custos efectivos do edifício (dados fornecidos pelo utilizador final)

Para determinar os custos de operação, o simulador HAP, permite efectuar essa análise com base no tipo de equipamentos de climatização instalados. De salientar que a análise económica será realizada considerando a actual carga de equipamentos eléctricos no interior do centro de processamento de dados de forma a ser comparável com os consumos eléctricos actuais.

7.1.1 Custos de operação da instalação – Caso 1

Neste caso, o grande consumidor de energia será a unidade produtora de água gelada e as suas características fundamentais, descritas na Tabela 31, devem ser introduzidas no simulador.



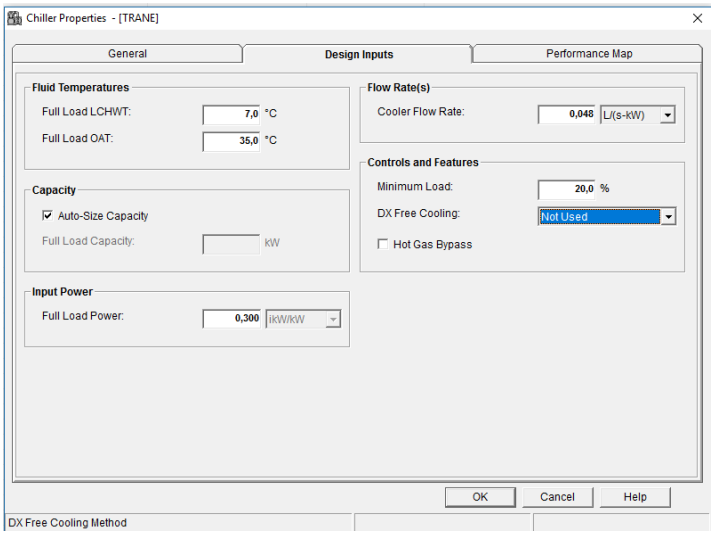


Ilustração 66 - Representação das características do chiller seleccionado no programa HAP (extraído de Carrier Corporation, HAP 4.41, 2009)

1. Annual Costs

Component	Annual Cost (€)	(€/m²)	Percent of Total (%)
Air System Fans	2 586	7,739	1,9
Cooling	20 283	60,691	15,3
Heating	48	0,143	0,0
Pumps	0	0,000	0,0
Cooling Tower Fans	0	0,000	0,0
HVAC Sub-Total	**22 917**	**68,573**	**17,2**
Lights	8 809	26,358	6,6
Electric Equipment	101 178	302,747	76,1
Misc. Electric	0	0,000	0,0
Misc. Fuel Use	0	0,000	0,0
Non-HVAC Sub-Total	**109 987**	**329,105**	**82,8**
Grand Total	**132 904**	**397,678**	**100,0**

Note: Cost per unit floor area is based on the gross building floor area.

Gross Floor Area ..... **334,2** m²

Tabela 40 - Representação dos custos com os novos equipamentos – Caso 1 (extraído de Carrier Corporation, HAP 4.41, 2009)

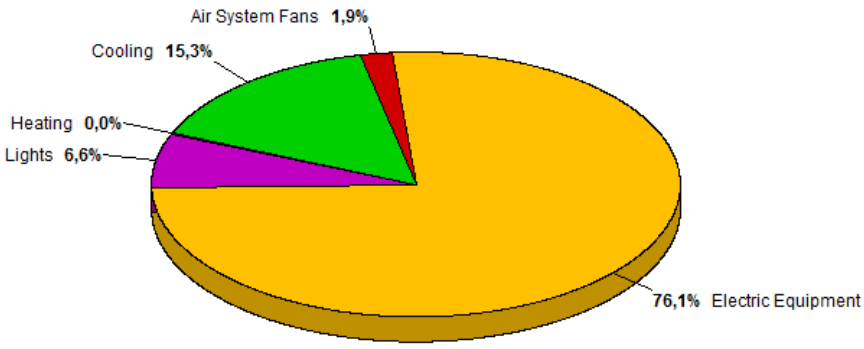


Ilustração 67 - Representação dos custos com os novos equipamentos – Caso 1 (extraído de Carrier Corporation, HAP 4.41, 2009)

Pela Tabela 40, em comparação com a Tabela 39, verifica-se que existiu uma diminuição por ano de 41 534 €, ou seja, o novo sistema obtém uma redução de 64% relativamente ao custo actual. É este valor que o utilizador final vai poupar se decidir implentar a instalação do Caso 1.

7.1.2 Custos de operação da instalação – Caso 2

Os custos de operação desta solução, podem igualmente ser obtidos através do simulador HAP, após alteração do sistema de climatização dentro do simulador conforme ilustração seguinte:

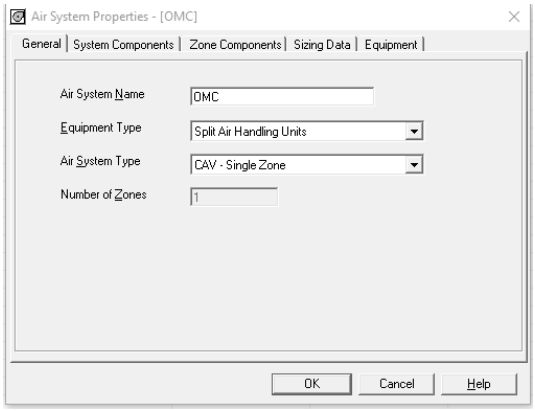


Ilustração 68 - Representação da alteração do tipo de sistema de climatização (extraído de Carrier Corporation, HAP 4.41, 2009)

No separador "Equipment" é necessário introduzir os dados das unidades CRAC tipo DX, conforme se verifica na ilustração seguinte:

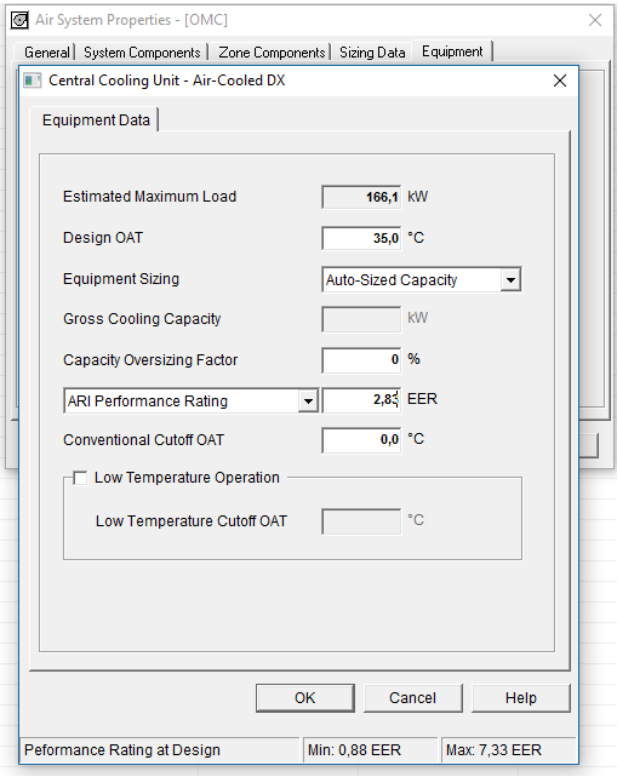


Ilustração 69 - Representação da introdução das características das unidades CRAC DX (extraído de Carrier Corporation, HAP 4.41, 2009)

Com estas alterações ao nível do sistema de climatização é possível efectuar a simulação dos custos energéticos para este caso, resultando na Tabela 41:

1. Annual Costs

Component	Annual Cost (€)	(€/m²)	Percent of Total (%)
Air System Fans	2 586	7,739	2,0
Cooling	18 550	55,506	14,1
Heating	48	0,143	0,0
Pumps	0	0,000	0,0
Cooling Tower Fans	0	0,000	0,0
HVAC Sub-Total	**21 184**	**63,388**	**16,2**
Lights	8 809	26,358	6,7
Electric Equipment	101 178	302,747	77,1
Misc. Electric	0	0,000	0,0
Misc. Fuel Use	0	0,000	0,0
Non-HVAC Sub-Total	**109 987**	**329,105**	**83,8**
Grand Total	**131 171**	**392,493**	**100,0**

Note: Cost per unit floor area is based on the gross building floor area.

Gross Floor Area ..... 334,2 m²
Conditioned Floor Area ..... 334,2 m²

Tabela 41 - Representação dos custos com os novos equipamentos – Caso 2 (extraído de Carrier Corporation, HAP 4.41, 2009)

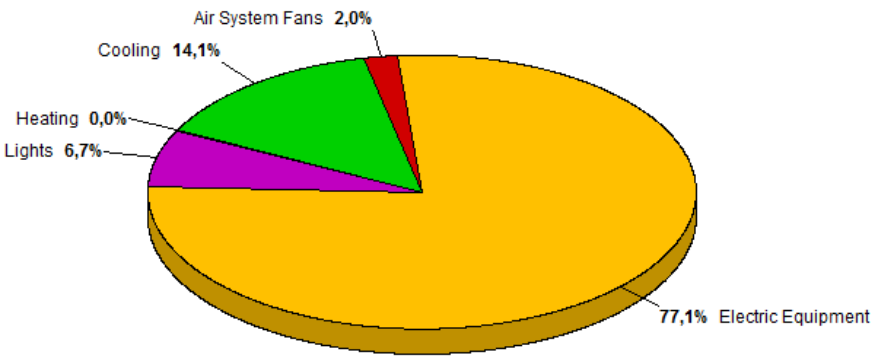


Ilustração 70 - Representação dos custos com os novos equipamentos – Caso 2 (extraído de Carrier Corporation, HAP 4.41, 2009)

Pela Tabela 41 em comparação com a Tabela 39 verifica-se que existiu uma diminuição por ano de 43 267 €, ou seja, o novo sistema obtém uma redução de 67% relativamente ao custo actual. É este valor que o utilizador final vai poupar se decidir implentar a instalação do Caso 2.

7.1.3 Comparação dos custos de operação da instalação para os dois casos

Os dois casos em estudo, ao nível da poupança económica, reduzem os custos de operação da instalação nos seguintes valores:

Caso 1	41 534 €
Caso 2	43 267€

Tabela 42 - Comparação da poupança económica para os dois casos em estudo

Da análise da Tabela 42, a primeira conclusão que se obtém é que a solução do Caso 2 permite uma maior poupança económica durante o funcionamento dos equipamentos.

7.2 Custos de investimento

Para terminar a análise económica dos dois casos em estudo, de forma a permitir ao utilizador final tomar uma decisão de qual sistema implementar, falta determinar o valor do investimento para cada um dos casos.

Em ambos os casos foi solicitado a uma empresa instaladora, o custo estimativo para implementar cada uma das soluções anteriormente apresentadas. No Anexo 3 podem ser encontradas as respectivas propostas. A tabela abaixo representa o resumo das duas cotações:

Caso 1	MQ.19369.1.A	355 122,78€
Caso 2	MQ.19369.1.B	273 581,52€

Tabela 43 - Comparação dos custos de investimento para os dois casos em estudo

Como é possível verificar a solução proposta no Caso 2, fica mais económica no que diz respeito ao investimento inicial.

7.3 Índices de rendibilidade

A determinação e análise dos índices de rendibilidade permitem ao utilizador rapidamente chegar a conclusões sobre a rentabilidade dos projectos de investimento, ou seja, permite verificar se um determinado investimento é rentável ou não.

Para a determinação desses indicadores é necessário fazer a previsão das seguintes variáveis, escalonadas no tempo quando aplicáveis:

- Custos de investimentos;
- Receitas de operação ou exploração;
- Custos de operação ou exploração;
- Vida económica do projecto;
- Taxa de inflação;
- Taxa de juro.

Os custos de investimento, as receitas e custos de operação são designados por fluxo de caixa ou *cash-flow*, que são os montantes recebidos ou gastos pelo utilizador com a instalação. [35]

Considerando que actualmente existe uma instalação de climatização, no edifício em estudo, os custos de manutenção serão os mesmos para a nova instalação e como tal não serão considerados nesta análise.

As receitas de operação serão as poupanças energéticas aferidas no capítulo 7.1.

Para este caso específico, é definida para o projecto uma vida económica de dez anos, com uma taxa de inflação de 1% e uma taxa de juro de 3%.

Os índices de rendibilidade, que são essencias para uma avaliação da viabilidade dos investimentos, são vários, no entanto, vão ser apenas determinado os seguintes índices:

- Valor actual líquido (VAL)

  O VAL tem como objectivo avaliar a viabilidade de um projecto de investimento através do cálculo do valor actual de todos os seus *cash-flows*. Por valor actual entende-se o valor hoje de um determinado montante a obter no futuro. Como qualquer investimento apenas gera *cash-flow* no futuro, é necessário actualizar o valor de cada um desses *cash-flows* e compará-los com o valor do investimento. No caso do valor do investimento ser inferior ao valor actual dos *cash-flows*, o VAL é positivo o que significa que o projecto apresenta uma rentabilidade positiva.

  Para actualizar os *cash-flows* futuros é utilizada uma taxa a que se chama taxa de juro. Esta taxa de juro não é mais do que a taxa que o utilizador teria devido ao custo de oportunidade de colocar, por exemplo, tal montante de dinheiro numa poupança (depósito a prazo), para render juros. O VAL é calculado através da seguinte equação: [35]

$$VAL = \sum_{t=1}^{n} \frac{FC_t}{(1+i)^t} \quad [€] \ (17)$$

  Onde:

  $FC_t -$ $Fluxo\ de\ caixa\ no\ ano\ t$;

  $t -$ $Ano\ no\ tempo\ em\ que\ o\ dinheiro\ será\ investido$;

  $n -$ $Número\ de\ anos\ t$;

  $i -$ $Taxa\ de\ juro$.

- Taxa de retorno do investimento (TIR)

  A TIR é a taxa de actualização para a qual o valor atual dos rendimentos (*cash-flows*) futuros iguala o investimento actual inicial, ou seja, é a taxa de actualização à qual os cash-flows são financeiramente equivalentes aos custos de investimento. Resumindo, a TIR é a taxa de actualização para o qual o VAL é igual a zero: [35]

$$TIR = i \quad \leftrightarrow \quad VAL_i = 0 \qquad (18)$$

  Esta taxa deve ser comparada com a taxa de juro, em que se TIR maior que a taxa de juro, o projecto é aceitável;

- Retorno do investimento (ROI)

  O ROI é um índice que representa a relação entre o montante ganho, como resultado de um investimento, e o montante investido, ou seja, no nosso caso: [35]

$$ROI = \frac{poupança\ energética}{custo\ investimento} \qquad (19)$$

- *Payback* simples

  Este valor é simplesmente o inverso do ROI e permite determinar o tempo necessário para reaver o capital investido.

Numa economia de mercado, os preços dos bens e serviços podem sempre mudar. Alguns preços sobem, outros descem. A inflação é um aumento geral do preço dos bens e serviços. O resultado da inflação é que se compra menos com um euro, ou seja, um euro vale menos do que anteriormente. [36]

Por isso é necessário actualizar o *cash flow*, pois ele será mais elevado uma vez que o preço unitário da energia também o será. Essa taxa vai ser considera de 1% por ano. Sendo assim, o *cash flow* obedecerá à seguinte equação:

$$FC_t^R = FC_{t-1}^R \times (1+\propto) \quad [€] \quad (20)$$

Em que:

$FC_t^R - Fluxo\ de\ caixa\ real\ no\ ano\ t;$

$FC_{t-1}^R - Fluxo\ de\ caixa\ real\ no\ anterior\ ano\ t;$

$\propto - taxa\ de\ inflação.$

7.3.1 Índices de rendibilidade – Caso 1

Primeiramente irá ser determinado o *cash flow* para este caso:

Ano	Pagamentos	Recebimentos	*Cash flow* Final	*Cash flow* Acumulado
0	355 122,78 €	0	-355 122,78 €	-355 122,78 €
1	0	41 949,34 €	41 949,34 €	-313 173,44 €
2	0	42 368,83 €	42 368,83 €	-270 804,61 €
3	0	42 792,52 €	42 792,52 €	-228 012,08 €
4	0	43 220,45 €	43 220,45 €	-184 791,64 €
5	0	43 652,65 €	43 652,65 €	-141 138,99 €
6	0	44 089,18 €	44 089,18 €	-97 049,81 €
7	0	44 530,07 €	44 530,07 €	-52 519,74 €
8	0	44 975,37 €	44 975,37 €	-7 544,37 €
9	0	45 425,12 €	45 425,12 €	37 880,76 €
10	0	45 879,38 €	45 879,38 €	83 760,13 €

Tabela 44 - Cash flow para o Caso 1

Como é possivel verificar pela Tabela 44, foram considerados dez anos de vida útil. O único investimento foi feito no ano zero, enquanto os recebimentos foram os considerados na Tabela 42, para este caso, afectado da respectiva inflação.

A coluna do *Cash flow* final é obtida através da subtração entre os recebimentos e os pagamentos, enquanto que o *Cash flow* acumulado é o somatório do *Cash flow* final desde o ano zero até ao ano dez.

Só pela simples observação da Tabela 44 é possível verificar que no ano nove o saldo é positivo, ou seja, neste ano temos o investimento incial liquidado e tudo o que se conseguir poupar, nos restantes anos de vida dos equipamentos, é lucro para utilizador.

Mas, como já descrito anteriormente, é necessário avaliar o custo de oportunidade, ou seja, verificar se não seria mais rentável colocar o montante investido numa aplicação a render 3% de juros ao ano. Para isso determina-se o VAL:

Ano	Pagamentos	Recebimentos	*Cash flow* Final	*Cash flow Acumulado*	VAL
0	355 122,78 €	0	-355 122,78 €	-355 122,78 €	-355 122,78 €
1	0	41 949,34 €	41 949,34 €	-313 173,44 €	40 727,51 €
2	0	42 368,83 €	42 368,83 €	-270 804,61 €	39 936,69 €
3	0	42 792,52 €	42 792,52 €	-228 012,08 €	39 161,22 €
4	0	43 220,45 €	43 220,45 €	-184 791,64 €	38 400,81 €
5	0	43 652,65 €	43 652,65 €	-141 138,99 €	37 655,16 €
6	0	44 089,18 €	44 089,18 €	-97 049,81 €	36 923,99 €
7	0	44 530,07 €	44 530,07 €	-52 519,74 €	36 207,02 €
8	0	44 975,37 €	44 975,37 €	-7 544,37 €	35 503,97 €
9	0	45 425,12 €	45 425,12 €	37 880,76 €	34 814,58 €
10	0	45 879,38 €	45 879,38 €	83 760,13 €	34 138,56 €
				VAL	**18 346,74 €**
				TIR	**4%**
				ROI	**12%**
				***PAYBACK* SIMPLES**	**8,1**

Tabela 45 - Índices de rendibilidade para o Caso 1

Pela constatação da tabela acima verifica-se que o VAL é positivo e como tal o investimento é rentável, o TIR tem uma taxa de 4%, que é superior à taxa de juros de 3%, tornando este projecto aceitável. Para além disso a recuperação do investimento realizado é feito a uma taxa de 12% ao ano, sendo que aos 8,1 anos de funcionamento da instalação, o investimento inicial estará totalmente recuperado.

7.3.2 Índices de rendibilidade – Caso 2

Os procedimentos serão os mesmos realizados no capítulo 7.3.1, sendo o *cash flow* neste caso de:

Ano	Investimento	Receita	*Cash flow* Final	*Cash flow* Acumulado
0	273 581,52 €	0	-273 581,52 €	-273 581,52 €
1	0	43 699,67 €	43 699,67 €	-229 881,85 €
2	0	44 136,67 €	44 136,67 €	-185 745,18 €
3	0	44 578,03 €	44 578,03 €	-141 167,15 €
4	0	45 023,81 €	45 023,81 €	-96 143,34 €
5	0	45 474,05 €	45 474,05 €	-50 669,28 €
6	0	45 928,79 €	45 928,79 €	-4 740,49 €

7	0	46 388,08 €	46 388,08 €	41 647,59 €
8	0	46 851,96 €	46 851,96 €	88 499,55 €
9	0	47 320,48 €	47 320,48 €	135 820,03 €
10	0	47 793,69 €	47 793,69 €	183 613,72 €

Tabela 46 - Cash flow para o Caso 2

Só pela simples observação da Tabela 46 é possível verificar que no ano sete o saldo é positivo, ou seja, neste ano temos o investimento incial liquidado e tudo o que se conseguir poupar, nos restantes anos de vida dos equipamentos, é lucro para o utilizador.

Como já referido é necessário determinar o VAL e os outros índices para uma correcta análise.

Ano	Investimento	Receita	*Cash Flow* Final	*Cash Flow* Acumulado	VAL
0	273 581,52 €	0	-273 581,52 €	-273 581,52 €	-273 581,52 €
1	0	43 699,67 €	43 699,67 €	-229 881,85 €	42 426,86 €
2	0	44 136,67 €	44 136,67 €	-185 745,18 €	41 603,04 €
3	0	44 578,03 €	44 578,03 €	-141 167,15 €	40 795,22 €
4	0	45 023,81 €	45 023,81 €	-96 143,34 €	40 003,08 €
5	0	45 474,05 €	45 474,05 €	-50 669,28 €	39 226,32 €
6	0	45 928,79 €	45 928,79 €	-4 740,49 €	38 464,64 €
7	0	46 388,08 €	46 388,08 €	41 647,59 €	37 717,75 €
8	0	46 851,96 €	46 851,96 €	88 499,55 €	36 985,37 €
9	0	47 320,48 €	47 320,48 €	135 820,03 €	36 267,21 €
10	0	47 793,69 €	47 793,69 €	183 613,72 €	35 562,99 €
				VAL	**115 470,96 €**
				TIR	**10%**
				ROI	**17%**
				PAYBACK SIMPLES	**6,0**

Tabela 47 - Índices de rendibilidade para o Caso 2

Pela constatação da Tabela 47 verifica-se que o VAL é positivo e como tal o investimento é rentável, o TIR tem uma taxa de 10%, que é superior à taxa de juros de 3%, tornando este projecto aceitável. Para além disso a recuperação do investimento realizado é feito a uma taxa de 17% ao ano, sendo que aos 6,1 anos de funcionamento da instalação, o investimento inicial estará totalmente recuperado.

7.3.3 – Comparação económica dos dois casos de estudo

	Investimento incial	Poupança anual	VAL	TIR	ROI	*Payback* simples
Caso 1	355 122,78€	41 534€	18 346,74€	4%	12%	8,1
Caso 2	273 581,52€	43 267€	115 470,96€	10%	17%	6,1

Tabela 48 - Comparação dos índices de rendibilidade para os dois casos de estudo

Pela análise da Tabela 48, verifica-se que economicamente o Caso 2 é o mais favorável em todos os aspectos. Tem um investimento inicial menor e uma poupança enconómica maior traduzindo numa TIR mais elevada e um *Payback* menor.

8. Análise Energética

8.1 Determinação dos novos índices de eficiência energética

Depois dos resultados obtidos no capítulo 7, irá ser realizada a análise da eficiência energética, nomeadamente na determinação do novo PUE e R_{IEE} da instalação para os dois casos em estudo.

Analisado a Tabela 40 e 41, obtém-se a tabela seguinte que resume os vários consumos energéticos nos dois casos em estudo:

Área	Caso 1		Caso 2	
	Consumo anual (kWh/ano)	Custo anual (€/ano)	Consumo anual (kWh/ano)	Custo anual (€/ano)
Equipamento eléctrico	919800	101178	919800	101178
Climatização	208336	22917	192582	21184
Iluminação e outros	80082	8809	80082	8809
TOTAL	**1208218**	**132904**	**1192464**	**131171**

Tabela 49 - Comparação dos consumos e custos energéticos nos dois casos de estudo

Em ambos os casos, o valor dos consumos energéticos dos equipamentos TI mantém-se nos 919 800 kWh/ano, enquanto que o total do consumo energético, devido ao novo sistema de climatização, diminui nos dois casos.

O valor do PUE para o edifício, no Caso 1 é:

$$PUE = \frac{1208254}{919800} = 1{,}31$$

O valor do PUE para o edifício, no Caso 2 é:

$$PUE = \frac{1192464}{919800} = 1{,}30$$

De acordo com os requisitos do utilizador final, definidos no capítulo 4.3, os níveis de eficiência energética são alcançados, nos dois casos, uma vez que o PUE médio anual é inferior a 1,4.

Sobre o rácio R_{IEE}, como já referido, é calculado recorrendo à equação (3):

$$R_{IEE} = \frac{IEE_S - IEE_{REN}}{IEE_{ref\ S}} \quad (3)$$

Em que IEE_{REN}=0, simplificando para:

$$R_{IEE} = \frac{IEE_{pr,s}}{IEE_{ref\ s}}$$

O valor de $IEE_{ref,\ s}$ mantém-se o mesmo já determinado no capítulo 5.1, 2852 $\frac{\mathrm{kWh_{EP}}}{\mathrm{m^2.ano}}$, o valor de $IEE_{pr,s}$ terá que ser recalculado recorrendo à equação (9):

$$IEE_{pr,S} = \frac{1}{A_p}\sum_i \left(E_{pr,S,i} \times F_{pu,i}\right) \qquad \left[\frac{kWh_{EP}}{m^2.\,ano}\right] \qquad (9)$$

	Consumo anual energia tipo S (kWh/ano)	$IEE_{pr,s}$	R_{IEE}
Caso 1	288418	2158	0,76
Caso 2	272664	2040	0,72

Tabela 50 – Representação dos índices de eficiência energética nos dois casos de estudo

Analisando a Tabela 50 é possível verificar que o Caso 1 consegue uma classe energética **B**$^-$, enquanto o Caso 2 consegue obter uma classe energética **B**.

Ambas as soluções conseguem atingir classificações superiores à classificação C, atingindo assim os objectivos traçados.

8.2 Emissões de CO_2

Como já referido anteriormente, a emissão de GEE para a atmosfera provém, uma grande parte, da queima de combustiveis fósseis para a produção de electricidade, onde o GEE que mais se destaca é o CO_2.

Nos dois casos de estudos existe uma redução do consumo de energia e como tal, existe uma redução da queima de combustíveis fósseis e consequente diminuição da libertação de CO_2 para a atmosfera.

Este capítulo pretende determinar a redução das emissões de CO_2, que deriva das poupanças energéticas dos dois casos de estudo.

Anualmente, a Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos (ERSE), publica os factores de emissão de CO_2 a utilizar para a determinação das emissões específicas. Esta publicação tem por base a informação mais recente relativa às instalações de produção de electriciade da Península Ibérica.

A última publicação da ERSE para os factores de emissão de CO_2 é a representada na Tabela 51:

	Factor emissão CO_2 (g/kWh)								
Ano	**Hídrica**	**Eólica**	**Cogeração renovável**	**Outras renováveis**	**Resíduos sólidos urbanos**	**Cogeração fóssil**	**Gás natural**	**Carvão**	**Nuclear**
2015	0	0	0	0	841	327	354	980	0

Tabela 51 - Representação dos factores de emissão de CO2 para o ano 2016 [37]

Segundo a empresa fornecedora de energia para o edifício em estudo, a produção de energia eléctrica durante o ano de 2015 foi distribuída, tendo em conta o tipo de fonte de energia, de acordo com a tabela abaixo:

Tipo Fonte	Fonte de energia	Produção de energia eléctrica	Total por tipo de fonte	Total de produção de energia eléctrica
Fonte de Origem Renovável	Eólica	13,1%	33,7%	100,0%
	Resíduos Sólidos Urbanos	0,3%		
	Cogeração renovável	4,3%		
	Hídrica	13,2%		
	Outras renováveis	2,8%		
Fonte de Origem não Renovável	Cogeração fóssil	9,0%	66,3%	
	Gás Natural	17,0%		
	Carvão	35,6%		
	Nuclear	4,4%		
	Resíduos Sólidos Urbanos	0,3%		

Tabela 52 - Representação da distribuição da produção de energia no ano 2015 [38]

De acordo com o capítulo 8.1 a redução estimada do consumo de energia eléctrica é de:

Caso 1	370 366 kWh/ano
Caso 2	386 056 kWh/ano

Tabela 53 - Redução do consumo de energia nos dois casos de estudo

Ao cruzar as Tabelas 51, 52 e 53 obtém-se a Tabela 54, que traduz a redução das emissões de CO_2 para a atmosfera, no Caso 1.

Tipo Fonte	Fonte de energia	Produção de energia eléctrica	Factor emissão CO2 (g/kWh)	Factor emissão CO2 por fonte de energia na produção de energia (g/kWh)	Redução do consumo de energia (kWh/ano)	Redução da emissão de CO2 por fonte de energia (kg CO2/kWh)
Fonte de Origem Renovável	Eólica	13,1%	0	0	370366	0,0
	Resíduos Sólidos Urbanos	0,3%	0	0		0,0
	Cogeração renovável	4,3%	0	0		0,0
	Hídrica	13,2%	0	0		0,0
	Outras renováveis	2,8%	0	0		0,0
Fonte de Origem não Renovável	Cogeração fóssil	9,0%	327	29,43		10899,87
	Gás Natural	17,0%	354	60,18		22288,63
	Carvão	35,6%	980	348,88		129213,29
	Nuclear	4,4%	0	0		0,0
	Resíduos Sólidos Urbanos	0,3%	841	2,523		934,43
					TOTAL	**163336,22**

Tabela 54 - Redução das emissões de CO2 para o Caso 1

Da análise da Tabela 54 constata-se que o sistema de climatização, sugerido pelo Caso 1, obtém uma redução de emissões de CO_2 para a atmosfera em mais de 163 toneladas.

Da mesma forma, pode-se efectuar esta análise para o Caso 2 originando a tabela abaixo:

Tipo Fonte	Fonte de energia	Produção de energia	Factor emissão CO2 (g/kWh)	Factor emissão CO2 por fonte de energia na produção de energia (g/kWh)	Redução do consumo de energia (kWh/ano)	Redução da emissão de CO2 por fonte de energia (kg CO2/kWh)
Fonte de Origem Renovável	Eólica	13,1%	0	0	386056	0,0
	Resíduos Sólidos Urbanos	0,3%	0	0		0,0
	Cogeração renovável	4,3%	0	0		0,0
	Hídrica	13,2%	0	0		0,0
	Outras renováveis	2,8%	0	0		0,0
Fonte de Origem não Renovável	Cogeração fóssil	9,0%	327	29,43		11361,63
	Gás Natural	17,0%	354	60,18		23232,85
	Carvão	35,6%	980	348,88		134687,22
	Nuclear	4,4%	0	0		0,0
	Resíduos Sólidos Urbanos	0,3%	841	2,523		974,02
					TOTAL	**170255,71**

Tabela 55 - Redução das emissões de CO2 para o Caso 2

Para o Caso 2 a redução de emissões de CO_2 para a atmosfera será mais de 170 toneladas.

9. Conclusões

Um dos objectivos principais desta dissertação era a demonstração de que uma análise cuidada das instalações permite identificar possíveis melhorias das mesmas levando a uma optimização do seu funcionamento.

Foi demostrada que para uma instalação não existe só uma solução possível e cabe a quem projecta, estudar as melhores soluções possíveis e apresentar ao cliente todos os dados, permitindo a este a escolha do sistema tendo em conta os seus requisitos.

Foram apresentadas duas soluções para o sistema de climatização com base nas normas nacionais e também com base nas normas para infra-estruturas de centros de processamento de dados.

A solução do Caso 1 utiliza unidades CRAC do tipo CW, com uma central de produção de água gelada constituída por *chiller* ar-água. Já a solução do Caso 2 utiliza unidades CRAC do tipo DX. Unidades estas autónomas e indenpentes funcionando num sistema tipo "stand-alone".

Ambos os casos foram dimensionados com módulos economizadores, implementados nas unidades CRAC, de forma a efectuar o arrefecimento gratuito da instalação através da introdução de ar exterior mais frio, levando a uma economia nos custos de operação.

Das soluções apresentadas é possível verificar que ambas são exequivéis e cumprem os requisitos do utilizador. A tabela abaixo representa uma comparação entre as duas soluções:

	Custo investimento	Poupança anual	PUE anual	R_{IEE}	*Payback* (anos)	Redução emissão CO_2 (ton)
Caso 1	355 122,78€	41 534€	1,31	B-	8,1	163
Caso 2	273 581,52€	43 267€	1,30	B	6	170

Tabela 56 - Comparação dos principais parâmetros dos dois casos de estudo

Pela análise da Tabela 56 é possivel concluir que a instalação do Caso 2 é a melhor implementação a todos os níveis, quer na vertente económica, quer na vertente energética.

Apesar da análise anterior, será sempre o utilizador final a decidir qual a solução a implementar.

10. Bibliografia

[1] PARLAMENTO EUROPEU, Balázs Mellár, 10/2016, *Eficiência Energética*, disponível em: <http://www.europarl.europa.eu/atyourservice/pt/displayFtu.html?ftuId=FTU_5.7.3.html>. Acesso em 10 de Outubro de 2016;

[2] NASA, Global Climate Change, disponível em: <http://climate.nasa.gov/scientific-consensus/>. Acesso em 12 de Dezembro de 2016;

[3] AGÊNCIA EUROPEIA DO AMBIENTE, *Mitigação dos efeitos das alterações climáticas,* 16 de Setembro de 2017 disponível em: < http://www.eea.europa.eu/pt/themes/climate/intro>. Acesso em 21 de Outubro de 2016;

[4] INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, *Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, 2014, disponível em: < https://www.epa.gov/ghgemissions/global-greenhouse-gas-emissions-data>. Acesso em 21 de Outubro de 2016;

[5] AGÊNCIA EUROPEIA DO AMBIENTE, *Políticas em matérias de alterações climáticas,* 16 de Setembro de 2016, disponível em: <http://www.eea.europa.eu/pt/themes/climate/policy-context>. Acesso em 21 de Outubro de 2016;

[6] ADENE – AGÊNIA PARA A ENERGIA, disponível em: <http://www.adene.pt/sce/legislacao-0>. Acesso a 25 de Outubro de 2016;

[7] Constituição da República Portuguesa, Decreto-Lei nº78/2006 de 4 de Abril – Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do AR Interior nos Edifícios;

[8] Constituição da República Portuguesa, Decreto-Lei nº79/2006 de 4 de Abril – Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RSECE);

[9] Constituição da República Portuguesa, Decreto-Lei nº80/2006 de 4 de Abril – Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE);

[10] Constituição da República Portuguesa, Decreto-Lei nº118/2013 de 20 de Agosto – Melhoria do desempenho energético dos edifícios através do Sistema Certificação Energética dos Edifícios (SCE), que integra o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH), e o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços (RECS);

[11] KLEINA, Nilton. *A história da Internet: pré-década de 60 até anos 80*, disponível em: <http://www.tecmundo.com.br/infografico/9847-ahistoria-da-internet-pre-decada-de-60-ate-anos-80-infografico-.htm>. Acesso em 10 de Outubro de 2016;

[12] INTERNET WORLD STATS, disponível em: http://www.internetworldstats.com/stats.htm>. Acesso em 10 de Outubro de 2016;

[13] BRANCO, M.; MINCOV, N.; TOME, S. Campanholi (2008*). A inevitável convergência IP das Redes Operativa e Corporativa*, disponível em:

<http://www.teleco.com.br/CPqD%5Ccpqd_artigos007.asp>. Acesso em 15 de Outubro de 2016;

[14] TXAPARTEGI, Mattin Grao, MOUNIER, Eric, *Data Center Technoogies, New Technologies anda Architectures for Efficient Data Center*, disponível em: <http://www.i-micronews.com/images/Flyers/Power/Yole_New_Technologies_and_Architectures_for_Efficient_Data_Centers_Flyer_web.pdf>. Acesso em 15 de Outubro de 2016;

[15] HEWLETT-PACKARD PORTUGAL, LDA, 22 de Junho de 2010, *Eficiência Energética dos Data Centers na Administração Pública*;

[16] TELECOMMUNICATIONS INDUSTRY ASSOCIATION, Abril de 2005, *Telecommunications Infrastructure Standard for Data Centers;*

[17] ASHRAE Technical Committee (TC 9.9) Mission Critical Facilities, Data Centers, Technology Spaces, and Electronic Equipment, *Data Center Networking Equipment – Issues and Best Practices;*

[18] THE GREEN GRID, *PUE: A comprehensive examination of teh metric*, 2012;

[19] ASHRAE Technical Committee (TC 9.9) Mission Critical Facilities, Data Centers, Technology Spaces, and Electronic Equipment, 2º edição 2009, *Design Considerations for Datacom Equipment Centers;*

[20] LIESCHEUDT, Steven, P.E., CCS, CCPR, *Economizers in Air Handling Systems*;

[21] ASHRAE®, ANSI/ASHRAE/IESNA 09.1-2004;

[22] STULZ, www.stulz.com;

[23] EMERSON, www.emerson.com;

[24] Constituição da República Portuguesa, Portaria nº349-D/2013 de 2 de Dezembro - Estabelece os requisitos de conceção relativos à qualidade térmica da envolvente e à eficiência dos sistemas técnicos dos edifícios novos, dos edifícios sujeitos a grande intervenção e dos edifícios existentes;

[25] Constituição da República Portuguesa, Despacho nº15793 de 3 de Dezembro de 2013;

[26] PINA DOS SANTOS, Carlos A.; MATIAS, Luís, *Coeficientes de transmissão térmica de elementos da envolvente dos edifícios,* LNEC, Lisboa, 2ª Edição 2006;

[27] Coeficientes de transmissão térmica de elementos opacos da envolvente dos edifícios, Valores por defeito param aplicação do previsto no Despacho nº15793-E/2013 relativo às "regras de simplificação a utilizar nos edifícios sujeitos a grandes intervenções, bem como existentes", LNEC;

[28] ITeCons - Instituto de Investigação e Desenvolvimento Tecnológico para a Construção, Energia, Ambiente e Sustentabilidade, disponível em:

[http://www.itecons.uc.pt/catalogoptl/index.php?module=nivs&id=416]. Acesso a 31 de Outubro de 2016;

[29] Constituição da República Portuguesa, Portaria 353-A/2013, 4 de Dezembro - Estabelece os valores mínimos de caudal de ar novo por espaço, bem como os limiares de proteção e as condições de referência para os poluentes do ar interior dos edifícios de comércio e serviços novos, sujeitos a grande intervenção e existentes e a respetiva metodologia de avaliação;

[30] CARRIER, HAP e-Help de 27 de Outubro de 2005, disponível em: <http://www.ahicarrier.gr/en/downloads/hourly-analysis-program/hap-e-help/>. Acesso em 05 de Novembro de 2016;

[31] INSTITUTO NACIONAL DE ENGENHARIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO, I.P., *Solterm 5.0;*

[32] WORLD MAPS OF KOPPEN-GEIGER CLIMATE CLASSIFICATION, disponível em: <http://koeppen-geiger.vu-wien.ac.at/present.htm>. Acesso em 15 de Dezembro de 2016;

[33] WHITE, Frank, *Fluid Mechanics*, 5ª edição, McGraw Hill, 2003;

[34] FRADE, João; SEVERO, Francisco, *Climatização Geral*. ISEL-DEM. Revisão 06/2006;

[35] MEGRE, Leonilde, *Análise de projectos de investimento – Uma perspectiva económica,* 1ª Edição, Edições Sílabo, 2013;

[36] BANCO CENTRAL EUROPEU, disponível em: <https://www.ecb.europa.eu/ecb/educational/hicp/html/index.pt.html>. Acesso em 5 de Janeiro de 2017;

[37] ENTIDADE REGLADORA DOS SERVIÇOS ENERGÉTICOS, disponível em: http://www.erse.pt/pt/desempenhoambiental/rotulagemenergetica/Paginas/default.aspx>. Acesso em 5 de Janeiro de 2017;

[38] ENERGIAS DE PORTUGAL (EDP), disponível em: <https://energia.edp.pt/empresas/apoio-cliente/origem-energia/#renovaveis>. Acesso em 5 de Janeiro de 2017.

11. Anexos

ANEXO 1 – Simulação térmica

ANEXO 2 – Desenhos

ANEXO 3 – Cotações de investimento inicial

Anexo 1

Simulação térmica

Design Weather Parameters & MSHGs

OMC Ranha
Joao

01/03/2017
12:01

Design Parameters:

City Name	**Porto**	
Location	**Portugal**	
Latitude	**41,2**	Deg.
Longitude	**8,7**	Deg.
Elevation	**72,8**	m
Summer Design Dry-Bulb	**30,0**	°C
Summer Coincident Wet-Bulb	**19,4**	°C
Summer Daily Range	**9,6**	°K
Winter Design Dry-Bulb	**1,7**	°C
Winter Design Wet-Bulb	**-1,4**	°C
Atmospheric Clearness Number	**1,00**	
Average Ground Reflectance	**0,20**	
Soil Conductivity	**1,385**	W/(m-°K)
Local Time Zone (GMT +/- N hours)	**0,0**	hours
Consider Daylight Savings Time	**Não**	
Simulation Weather Data	**noneN/A**	
Current Data is	**2001 ASHRAE Handbook**	
Design Cooling Months	**January to December**	

Design Day Maximum Solar Heat Gains

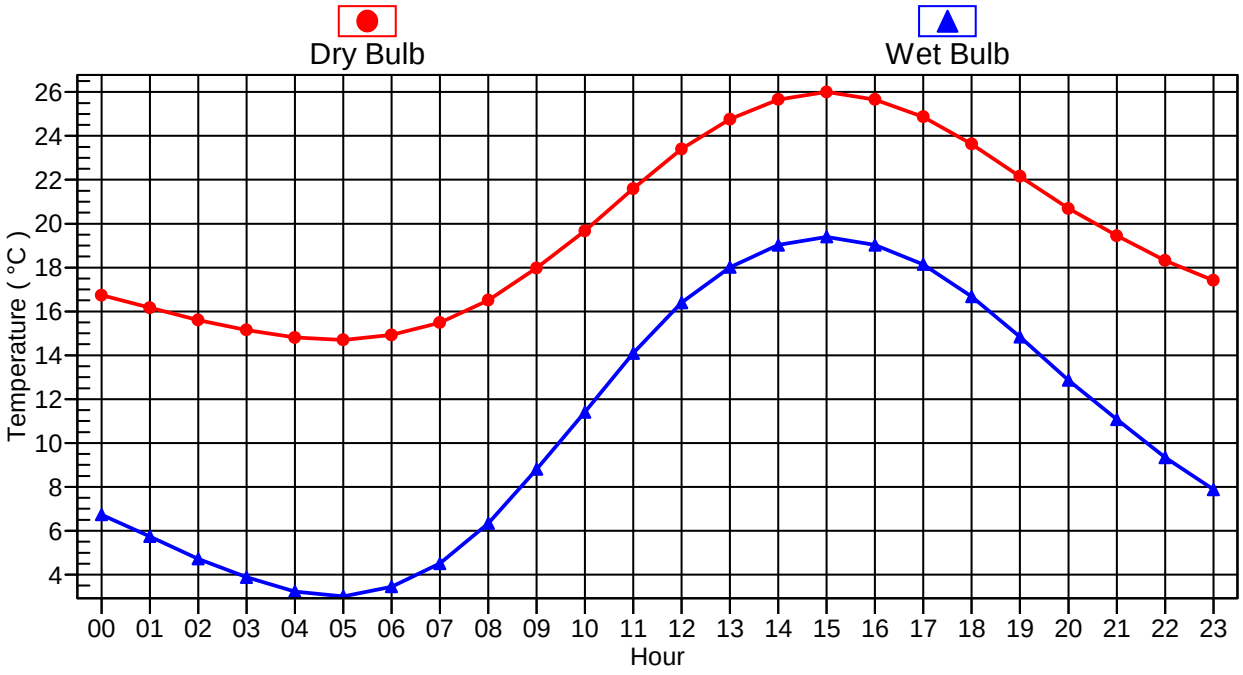
(The MSHG values are expressed in W/m²)

Month	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S
January	42,5	42,5	42,5	175,2	331,8	454,6	536,2	568,0	570,5
February	47,2	47,2	104,5	237,3	382,4	465,0	504,4	500,5	489,6
March	63,8	63,8	214,1	377,5	477,1	539,0	526,9	492,2	471,5
April	83,6	175,4	345,7	475,2	558,4	556,5	512,7	435,6	398,5
May	96,6	262,7	429,8	528,7	576,5	546,3	464,6	360,0	310,5
June	121,9	288,9	439,1	522,2	555,4	511,0	420,6	309,2	259,8
July	112,3	304,1	476,9	590,2	643,5	600,6	513,4	394,7	341,4
August	105,4	211,2	395,2	556,3	645,9	644,7	592,6	503,5	462,2
September	79,3	79,3	227,5	422,3	547,5	608,1	609,5	568,4	546,8
October	66,9	66,9	118,9	334,0	485,2	613,8	655,4	657,0	649,5
November	48,1	48,1	48,1	175,7	365,1	497,7	585,6	616,5	624,8
December	47,6	47,6	47,6	163,2	362,3	523,1	641,1	695,4	707,7
Month	**SSW**	**SW**	**WSW**	**W**	**WNW**	**NW**	**NNW**	**HOR**	**Mult**
January	561,2	533,8	460,3	330,8	172,3	42,5	42,5	282,2	0,71
February	500,0	502,7	463,7	380,0	254,3	87,7	47,2	350,0	0,64
March	495,3	534,9	531,3	487,7	368,1	220,9	63,8	489,0	0,71
April	437,1	513,4	560,6	557,3	469,3	349,6	170,8	620,8	0,79
May	360,4	464,5	547,1	575,5	530,7	430,0	260,7	688,6	0,83
June	310,8	419,8	513,8	550,0	529,8	438,9	279,8	681,5	0,81
July	398,6	513,2	608,6	635,1	596,9	480,6	288,2	771,9	0,94
August	507,7	595,2	649,3	645,1	544,0	407,4	202,6	731,8	0,95
September	566,0	606,6	611,2	543,2	423,7	232,2	79,3	565,5	0,85
October	659,8	662,5	612,5	497,7	315,1	136,2	66,9	470,9	0,87
November	620,3	586,6	490,7	365,2	185,5	48,1	48,1	313,4	0,79
December	694,5	642,9	516,4	366,7	155,1	47,6	47,6	296,8	0,89

Mult. = User-defined solar multiplier factor.

Location: Porto, Portugal

Design Temperature Profiles for July



Cooling Design Temperature Profiles

OMC Ranha
Joao

01/03/2017
12:01

Location: Porto, Portugal

(Dry and Wet Bulb temperatures are expressed in °C)

Hr	January		February		March		April		May		June	
	DB	WB	DB	WB	DB	WB	DB	WB	DB	WB	DB	WB
0000	6,9	0,8	7,5	1,0	8,8	1,2	10,0	1,5	12,5	4,9	15,1	6,1
0100	6,5	0,7	7,1	0,9	8,3	1,0	9,5	1,2	12,0	3,8	14,5	5,1
0200	6,1	0,7	6,7	0,8	7,9	0,9	9,1	1,0	11,5	2,7	14,0	4,0
0300	5,8	0,6	6,3	0,7	7,5	0,7	8,7	0,9	11,1	1,7	13,6	3,1
0400	5,6	0,5	6,1	0,6	7,3	0,6	8,4	0,7	10,8	1,0	13,3	2,4
0500	5,5	0,5	6,0	0,6	7,2	0,6	8,3	0,7	10,7	0,7	13,2	2,2
0600	5,7	0,5	6,2	0,7	7,4	0,7	8,5	0,8	10,9	1,2	13,4	2,6
0700	6,1	0,6	6,6	0,8	7,8	0,8	9,0	1,0	11,4	2,4	13,9	3,8
0800	6,8	0,8	7,3	1,0	8,6	1,1	9,8	1,4	12,3	4,5	14,8	5,7
0900	7,8	1,0	8,4	1,2	9,7	1,5	11,1	1,9	13,5	7,2	16,2	8,3
1000	9,0	1,3	9,6	1,6	11,0	2,0	12,5	2,5	15,0	10,1	17,7	11,1
1100	10,3	1,6	11,0	1,9	12,5	2,5	14,2	3,2	16,7	13,1	19,5	13,9
1200	11,6	1,9	12,3	2,3	13,9	3,0	15,7	3,8	18,2	15,6	21,1	16,3
1300	12,5	2,1	13,3	2,5	14,9	3,3	16,8	4,3	19,4	17,3	22,4	18,0
1400	13,2	2,2	14,0	2,7	15,6	3,6	17,6	4,6	20,2	18,4	23,2	19,0
1500	13,4	2,3	14,2	2,7	15,9	3,7	17,9	4,7	20,5	18,8	23,5	19,4
1600	13,2	2,2	14,0	2,7	15,6	3,6	17,6	4,6	20,2	18,4	23,2	19,0
1700	12,6	2,1	13,4	2,5	15,0	3,4	16,9	4,3	19,5	17,4	22,5	18,1
1800	11,7	1,9	12,5	2,3	14,1	3,0	15,9	3,9	18,4	15,9	21,3	16,6
1900	10,7	1,7	11,4	2,0	12,9	2,6	14,6	3,4	17,2	13,9	20,0	14,7
2000	9,7	1,5	10,3	1,7	11,8	2,3	13,4	2,9	15,9	11,7	18,7	12,6
2100	8,8	1,3	9,4	1,5	10,9	1,9	12,3	2,4	14,8	9,7	17,5	10,7
2200	8,0	1,1	8,6	1,3	10,0	1,6	11,4	2,0	13,8	7,8	16,5	8,9
2300	7,4	0,9	8,0	1,1	9,3	1,4	10,6	1,7	13,1	6,2	15,7	7,3

Hr	July		August		September		October		November		December	
	DB	WB	DB	WB	DB	WB	DB	WB	DB	WB	DB	WB
0000	16,7	6,7	16,5	6,6	15,7	6,2	13,2	5,1	9,2	1,3	7,2	0,8
0100	16,2	5,7	15,9	5,6	15,1	5,2	12,7	4,0	8,8	1,1	6,8	0,7
0200	15,6	4,7	15,4	4,6	14,6	4,2	12,2	2,9	8,3	1,0	6,4	0,7
0300	15,2	3,9	14,9	3,7	14,1	3,3	11,8	2,1	8,0	0,8	6,1	0,6
0400	14,8	3,2	14,5	3,1	13,8	2,7	11,5	1,4	7,7	0,7	5,9	0,5
0500	14,7	3,0	14,4	2,8	13,7	2,5	11,4	1,2	7,6	0,7	5,8	0,5
0600	14,9	3,4	14,6	3,3	13,9	2,9	11,6	1,6	7,8	0,8	6,0	0,6
0700	15,5	4,5	15,2	4,4	14,5	4,0	12,1	2,7	8,2	0,9	6,3	0,6
0800	16,5	6,3	16,3	6,2	15,5	5,8	13,0	4,7	9,0	1,2	7,0	0,8
0900	18,0	8,8	17,9	8,7	16,9	8,3	14,3	7,2	10,2	1,7	8,0	1,0
1000	19,7	11,4	19,6	11,3	18,6	10,9	15,8	10,0	11,5	2,2	9,2	1,3
1100	21,6	14,1	21,7	14,1	20,5	13,6	17,5	12,8	13,0	2,7	10,5	1,6
1200	23,4	16,4	23,6	16,4	22,2	15,9	19,1	15,2	14,5	3,3	11,7	1,9
1300	24,8	18,0	25,0	18,0	23,6	17,5	20,3	16,9	15,5	3,6	12,7	2,1
1400	25,7	19,0	25,9	19,0	24,5	18,5	21,1	17,9	16,2	3,9	13,3	2,3
1500	26,0	19,4	26,3	19,4	24,8	18,9	21,4	18,3	16,5	4,0	13,5	2,3
1600	25,7	19,0	25,9	19,0	24,5	18,5	21,1	17,9	16,2	3,9	13,3	2,3
1700	24,9	18,1	25,1	18,1	23,7	17,6	20,4	17,0	15,6	3,7	12,7	2,2
1800	23,6	16,7	23,8	16,7	22,5	16,2	19,3	15,5	14,6	3,3	11,9	2,0
1900	22,2	14,8	22,3	14,8	21,0	14,3	18,0	13,6	13,5	2,9	10,9	1,7
2000	20,7	12,9	20,7	12,8	19,6	12,3	16,7	11,5	12,3	2,5	9,9	1,5
2100	19,4	11,1	19,4	11,0	18,4	10,5	15,6	9,6	11,3	2,1	9,0	1,3
2200	18,3	9,3	18,2	9,2	17,3	8,8	14,6	7,8	10,4	1,8	8,3	1,1
2300	17,4	7,9	17,3	7,8	16,4	7,3	13,8	6,3	9,7	1,5	7,6	1,0

Space Design Load Summary for OMC

Project Name: OMC Ranha
Prepared by: Joao

01/03/2017
12:15

TABLE 1.1.A. COMPONENT LOADS FOR SPACE " Data Center " IN ZONE " Zone 1 "						
	DESIGN COOLING			DESIGN HEATING		
	COOLING DATA AT Jul 1400 COOLING OA DB / WB 25,7 °C / 19,0 °C OCCUPIED T-STAT 24,0 °C			HEATING DATA AT DES HTG HEATING OA DB / WB 1,7 °C / -1,4 °C OCCUPIED T-STAT 23,4 °C		
		Sensible	Latent		Sensible	Latent
SPACE LOADS	**Details**	**(W)**	**(W)**	**Details**	**(W)**	**(W)**
Window & Skylight Solar Loads	0 m²	0	-	0 m²	-	-
Wall Transmission	21 m²	-59	-	21 m²	488	-
Roof Transmission	345 m²	9721	-	345 m²	28504	-
Window Transmission	0 m²	0	-	0 m²	0	-
Skylight Transmission	0 m²	0	-	0 m²	0	-
Door Loads	0 m²	0	-	0 m²	0	-
Floor Transmission	0 m²	0	-	0 m²	0	-
Partitions	0 m²	0	-	0 m²	0	-
Ceiling	0 m²	0	-	0 m²	0	-
Overhead Lighting	28000 W	15534	-	0	0	-
Task Lighting	0 W	0	-	0	0	-
Electric Equipment	240000 W	239989	-	0	0	-
People	2	126	267	0	0	0
Infiltration	-	0	0	-	0	0
Miscellaneous	-	0	0	-	0	0
Safety Factor	0% / 0%	0	0	0%	0	0
>> Total Zone Loads	**-**	**265311**	**267**	**-**	**28992**	**0**

TABLE 1.1.B. ENVELOPE LOADS FOR SPACE " Data Center " IN ZONE " Zone 1 "						
				COOLING	COOLING	HEATING
	Area	U-Value	Shade	TRANS	SOLAR	TRANS
	(m²)	(W/(m²-°K))	Coeff.	(W)	(W)	(W)
SE EXPOSURE						
WALL	21	1,068	-	-59	-	488
NE EXPOSURE						
ROOF	172	3,802	-	4480	-	14211
SW EXPOSURE						
ROOF	173	3,802	-	5241	-	14293

Air System Design Load Summary for OMC

Project Name: OMC Ranha
Prepared by: Joao

01/03/2017
12:15

	DESIGN COOLING			DESIGN HEATING		
	COOLING DATA AT Jul 1300 COOLING OA DB / WB 24,8 °C / 18,0 °C			HEATING DATA AT DES HTG HEATING OA DB / WB 1,7 °C / -1,4 °C		
ZONE LOADS	**Details**	**Sensible (W)**	**Latent (W)**	**Details**	**Sensible (W)**	**Latent (W)**
Window & Skylight Solar Loads	0 m²	0	-	0 m²	-	-
Wall Transmission	21 m²	-66	-	21 m²	488	-
Roof Transmission	345 m²	9912	-	345 m²	28504	-
Window Transmission	0 m²	0	-	0 m²	0	-
Skylight Transmission	0 m²	0	-	0 m²	0	-
Door Loads	0 m²	0	-	0 m²	0	-
Floor Transmission	0 m²	0	-	0 m²	0	-
Partitions	0 m²	0	-	0 m²	0	-
Ceiling	0 m²	0	-	0 m²	0	-
Overhead Lighting	28000 W	15248	-	0	0	-
Task Lighting	0 W	0	-	0	0	-
Electric Equipment	240000 W	239989	-	0	0	-
People	2	122	267	0	0	0
Infiltration	-	0	0	-	0	0
Miscellaneous	-	0	0	-	0	0
Safety Factor	0% / 0%	0	0	0%	0	0
>> Total Zone Loads	**-**	**265205**	**267**	**-**	**28992**	**0**
Zone Conditioning	-	265440	267	-	3850	0
Plenum Wall Load	0%	0	-	0	0	-
Plenum Roof Load	70%	23128	-	0	0	-
Plenum Lighting Load	30%	8400	-	0	0	-
Return Fan Load	13040 L/s	0	-	13040 L/s	0	-
Ventilation Load	237 L/s	-495	3314	279 L/s	1184	0
Supply Fan Load	13040 L/s	5434	-	13040 L/s	-5434	-
Space Fan Coil Fans	-	0	-	-	0	-
Duct Heat Gain / Loss	0%	0	-	0%	0	-
>> Total System Loads	**-**	**301906**	**3581**	**-**	**-400**	**0**
Central Cooling Coil	-	301906	3584	-	0	0
Humidification Load	-	-	0	-	-	0
>> Total Conditioning	**-**	**301906**	**3584**	**-**	**0**	**0**
Key:	**Positive values are clg loads Negative values are htg loads**			**Positive values are htg loads Negative values are clg loads**		

Hourly Air System Design Day Loads for OMC

Project Name: OMC Ranha 01/03/2017
Prepared by: Joao 12:15

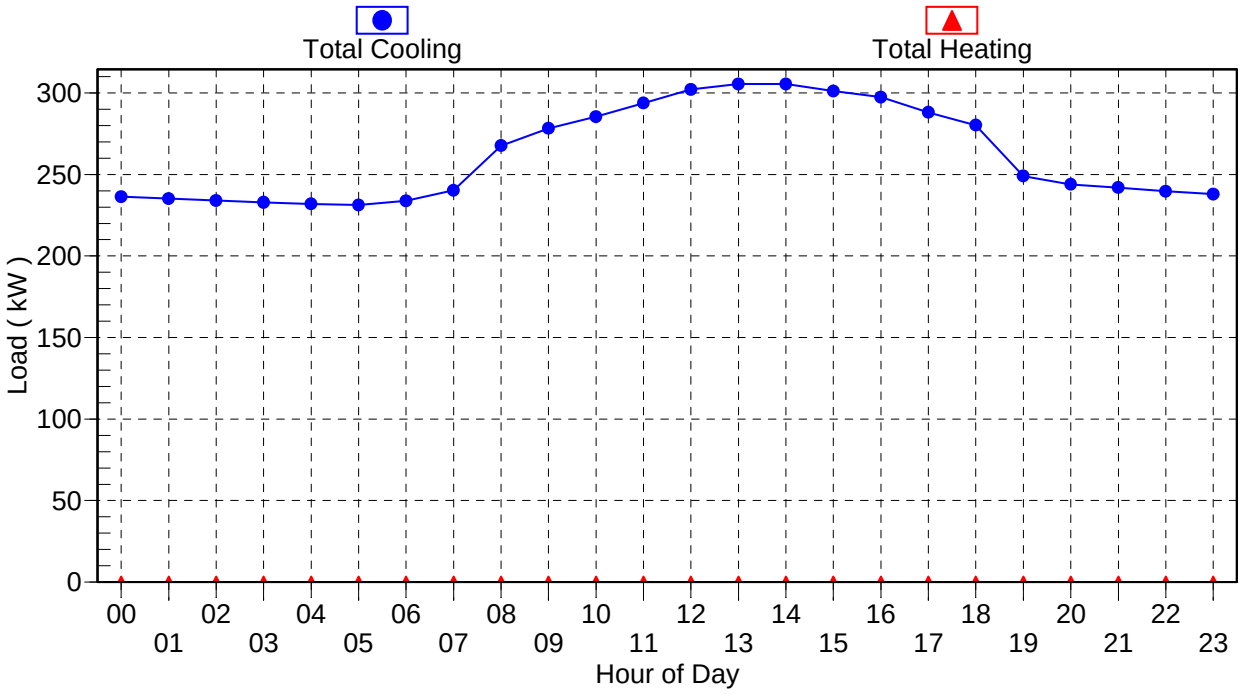
DESIGN MONTH: JULY										
Hour	OA TEMP (°C)	SUPPLY AIRFLOW (L/s)	CENTRAL COOLING SENSIBLE (kW)	CENTRAL COOLING TOTAL (kW)	CENTRAL HEATING COIL (kW)	PRECOOL COIL (kW)	PREHEAT COIL (kW)	TERMINAL COOLING (kW)	TERMINAL HEATING (kW)	ZONE HEATING UNIT (kW)
0000	16,7	13040	236,4	236,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0100	16,2	13040	235,2	235,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0200	15,6	13040	234,0	234,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0300	15,2	13040	232,9	232,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0400	14,8	13040	231,9	231,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0500	14,7	13040	231,2	231,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0600	14,9	13040	233,9	233,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0700	15,5	13040	240,3	240,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0800	16,5	13040	267,7	267,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0900	18,0	13040	278,3	278,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1000	19,7	13040	285,5	285,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1100	21,6	13040	292,6	293,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1200	23,4	13040	299,5	302,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1300	24,8	13040	301,9	305,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1400	25,7	13040	301,3	305,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1500	26,0	13040	296,9	301,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1600	25,7	13040	293,3	297,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1700	24,9	13040	284,6	288,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1800	23,6	13040	277,6	280,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1900	22,2	13040	248,2	249,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2000	20,7	13040	244,0	244,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2100	19,4	13040	242,0	242,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2200	18,3	13040	239,6	239,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2300	17,4	13040	238,0	238,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Hourly Air System Design Day Loads for OMC

Project Name: OMC Ranha
Prepared by: Joao

01/03/2017
12:15

Data for July



System Psychrometrics for OMC

Project Name: OMC Ranha 01/03/2017
Prepared by: Joao 12:15

July DESIGN COOLING DAY, 1300

TABLE 1: SYSTEM DATA

Component	Location	Dry-Bulb Temp (°C)	Specific Humidity (kg/kg)	Airflow (L/s)	CO2 Level (ppm)	Sensible Heat (W)	Latent Heat (W)
Ventilation Air	Inlet	24,8	0,01024	237	400	-495	3314
Vent - Return Mixing	Outlet	26,5	0,00554	13040	794	-	-
Central Cooling Coil	Outlet	7,1	0,00545	13040	794	301906	3584
Supply Fan	Outlet	7,5	0,00545	13040	794	5434	-
Humidifier	Outlet	7,5	0,00545	13040	794	-	0
Cold Supply Duct	Outlet	7,5	0,00545	13040	794	-	-
Zone Air	-	24,5	0,00545	13040	801	265440	267
Return Plenum	Outlet	26,5	0,00545	13040	801	31528	-

Air Density x Heat Capacity x Conversion Factor: At sea level = 1,207; At site altitude = 1,197 W/(L/s-K)
Air Density x Heat of Vaporization x Conversion Factor: At sea level = 2947,6; At site altitude = 2922,2 W/(L/s)
Site Altitude = 72,8 m

TABLE 2: ZONE DATA

Zone Name	Zone Sensible Load (W)	T-stat Mode	Zone Cond (W)	Zone Temp (°C)	Zone Airflow (L/s)	CO2 Level (ppm)	Terminal Heating Coil (W)	Zone Heating Unit (W)
Zone 1	265205	Cooling	265440	24,5	13040	801	0	0

System Psychrometrics for OMC

Project Name: OMC Ranha 01/03/2017
Prepared by: Joao 12:15

WINTER DESIGN HEATING

TABLE 1: SYSTEM DATA

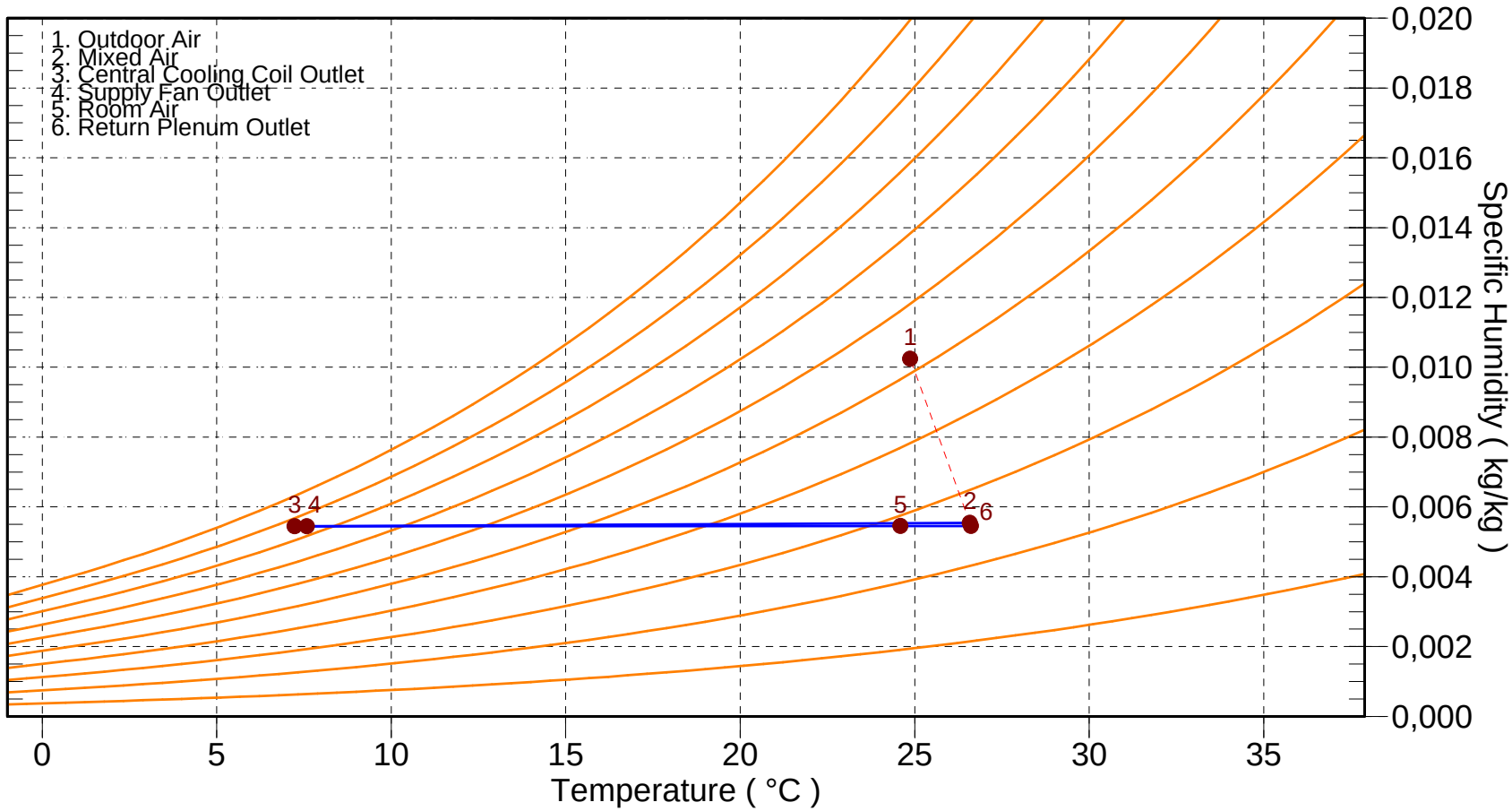
Component	Location	Dry-Bulb Temp (°C)	Specific Humidity (kg/kg)	Airflow (L/s)	CO2 Level (ppm)	Sensible Heat (W)	Latent Heat (W)
Ventilation Air	Inlet	1,7	0,00212	279	400	-1184	0
Vent - Return Mixing	Outlet	5,1	0,00212	13040	791	-	-
Central Cooling Coil	Outlet	5,1	0,00212	13040	791	0	0
Supply Fan	Outlet	5,5	0,00212	13040	791	5434	-
Humidifier	Outlet	5,5	0,00212	13040	791	-	0
Cold Supply Duct	Outlet	5,5	0,00212	13040	791	-	-
Zone Air	-	5,2	0,00212	13040	800	-3850	0
Return Plenum	Outlet	5,2	0,00212	13040	800	0	-

Air Density x Heat Capacity x Conversion Factor: At sea level = 1,207; At site altitude = 1,197 W/(L/s-K)
Air Density x Heat of Vaporization x Conversion Factor: At sea level = 2947,6; At site altitude = 2922,2 W/(L/s)
Site Altitude = 72,8 m

TABLE 2: ZONE DATA

Zone Name	Zone Sensible Load (W)	T-stat Mode	Zone Cond (W)	Zone Temp (°C)	Zone Airflow (L/s)	CO2 Level (ppm)	Terminal Heating Coil (W)	Zone Heating Unit (W)
Zone 1	-28992	Deadband	-3850	5,2	13040	800	0	0

Location: Porto, Portugal
Altitude: 72,8 m.
Data for: July DESIGN COOLING DAY, 1300



Zone Design Load Summary for OMC

Project Name: OMC Ranha
Prepared by: Joao

01/03/2017
12:15

Zone 1	DESIGN COOLING			DESIGN HEATING		
	COOLING DATA AT Jul 1400 COOLING OA DB / WB 25,7 °C / 19,0 °C			HEATING DATA AT DES HTG HEATING OA DB / WB 1,7 °C / -1,4 °C		
	OCCUPIED T-STAT 24,0 °C			OCCUPIED T-STAT 23,4 °C		
ZONE LOADS	Details	Sensible (W)	Latent (W)	Details	Sensible (W)	Latent (W)
Window & Skylight Solar Loads	0 m²	0	-	0 m²	-	-
Wall Transmission	21 m²	-59	-	21 m²	488	-
Roof Transmission	345 m²	9721	-	345 m²	28504	-
Window Transmission	0 m²	0	-	0 m²	0	-
Skylight Transmission	0 m²	0	-	0 m²	0	-
Door Loads	0 m²	0	-	0 m²	0	-
Floor Transmission	0 m²	0	-	0 m²	0	-
Partitions	0 m²	0	-	0 m²	0	-
Ceiling	0 m²	0	-	0 m²	0	-
Overhead Lighting	28000 W	15534	-	0	0	-
Task Lighting	0 W	0	-	0	0	-
Electric Equipment	240000 W	239989	-	0	0	-
People	2	126	267	0	0	0
Infiltration	-	0	0	-	0	0
Miscellaneous	-	0	0	-	0	0
Safety Factor	0% / 0%	0	0	0%	0	0
>> Total Zone Loads	**-**	**265311**	**267**	**-**	**28992**	**0**

Air System Sizing Summary for OMC

Project Name: OMC Ranha 01/03/2017
Prepared by: Joao 12:15

Air System Information

Air System Name	**OMC**		Number of zones	**1**	
Equipment Class	**CW AHU**		Floor Area	**334,2**	m²
Air System Type	**SZCAV**		Location	**Porto, Portugal**	

Sizing Calculation Information

Zone and Space Sizing Method:

Zone L/s	**Peak zone sensible load**		Calculation Months	**Jan to Dec**	
Space L/s	**Coincident space loads**		Sizing Data	**Calculated**	

Central Cooling Coil Sizing Data

Total coil load	**305,5**	kW	Load occurs at	**Jul 1300**	
Sensible coil load	**301,9**	kW	OA DB / WB	**24,8 / 18,0**	°C
Coil L/s at Jul 1300	**13040**	L/s	Entering DB / WB	**26,5 / 14,6**	°C
Max block L/s at Jul 1400	**13040**	L/s	Leaving DB / WB	**7,1 / 6,1**	°C
Sum of peak zone L/s	**13040**	L/s	Coil ADP	**5,0**	°C
Sensible heat ratio	**0,988**		Bypass Factor	**0,100**	
m²/kW	**1,1**		Resulting RH	**28**	%
W/m²	**914,1**		Design supply temp.	**7,0**	°C
Water flow @ 5,6 °K rise	**13,16**	L/s	Zone T-stat Check	**1 of 1**	OK
			Max zone temperature deviation	**0,0**	°K

Humidifier Sizing Data

Max steam flow at Apr 0700	**165,58**	kg/hr	Air mass flow	**55913,27**	kg/hr
Airflow Rate	**13040**	L/s	Moisture gain	**,00296**	kg/kg

Supply Fan Sizing Data

Actual max L/s at Jul 1400	**13040**	L/s	Fan motor BHP	**7,29**	BHP
Standard L/s	**12928**	L/s	Fan motor kW	**5,43**	kW
Actual max L/(s-m²)	**39,02**	L/(s-m²)	Fan static	**200**	Pa

Outdoor Ventilation Air Data

Design airflow L/s	**279**	L/s	L/s/person	**139,25**	L/s/person
L/(s-m²)	**0,83**	L/(s-m²)			

Ventilation Sizing Summary for OMC

Project Name: OMC Ranha 01/03/2017
Prepared by: Joao 12:15

1. Summary

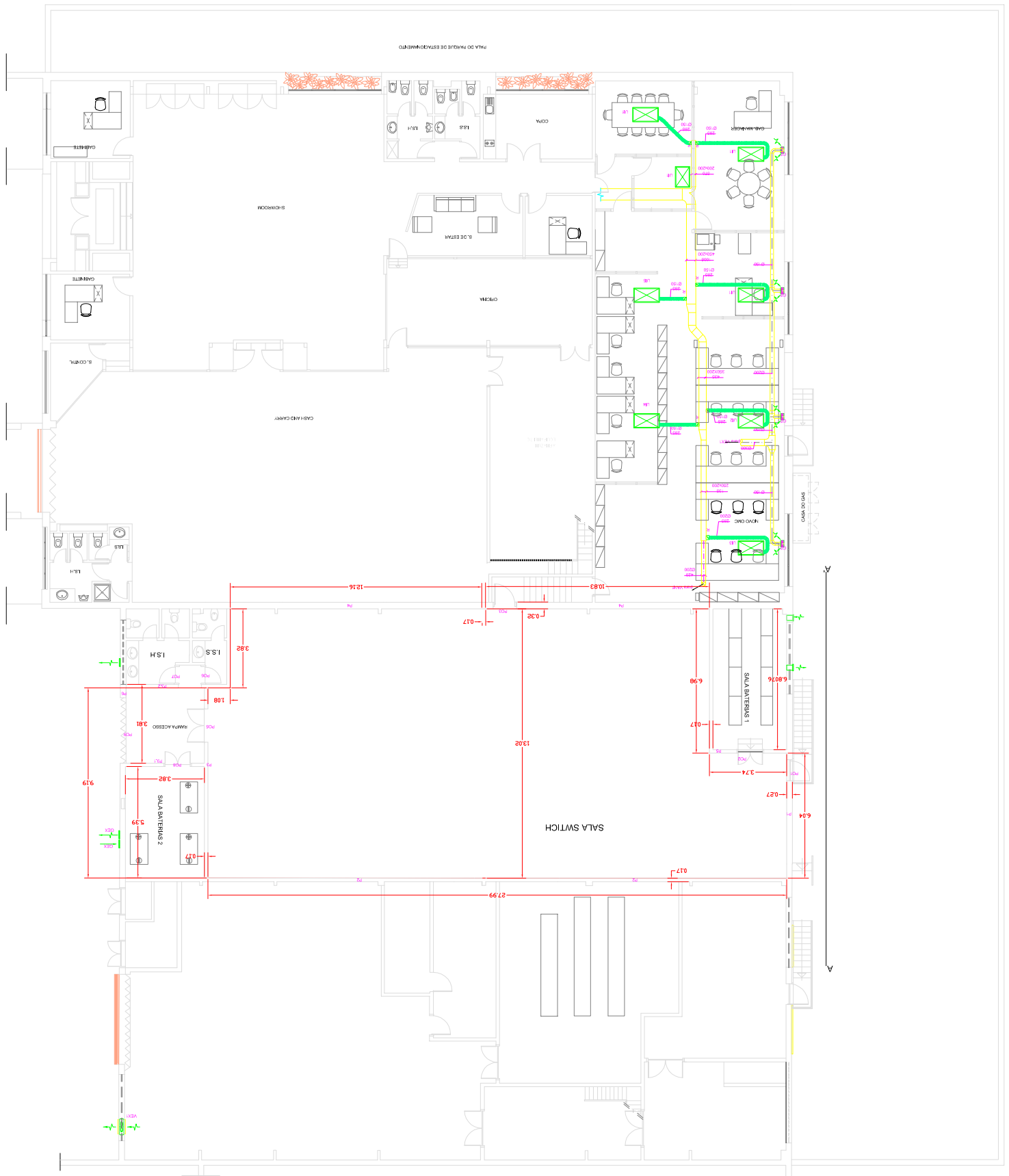
Ventilation Sizing Method ..... **Sum of Space OA Airflows**
Design Ventilation Airflow Rate ..... **279** L/s

2. Space Ventilation Analysis Table

Zone Name / Space Name	Mult.	Floor Area (m²)	Maximum Occupants	Maximum Supply Air (L/s)	Required Outdoor Air (L/s/person)	Required Outdoor Air (L/(s-m²))	Required Outdoor Air (L/s)	Required Outdoor Air (% of supply)	Uncorrected Outdoor Air (L/s)
Zone 1									
Data Center	1	334,2	2,0	13040,2	0,00	0,00	278,5	0,0	278,5
Totals (incl. Space Multipliers)				**13040,2**					**278,5**

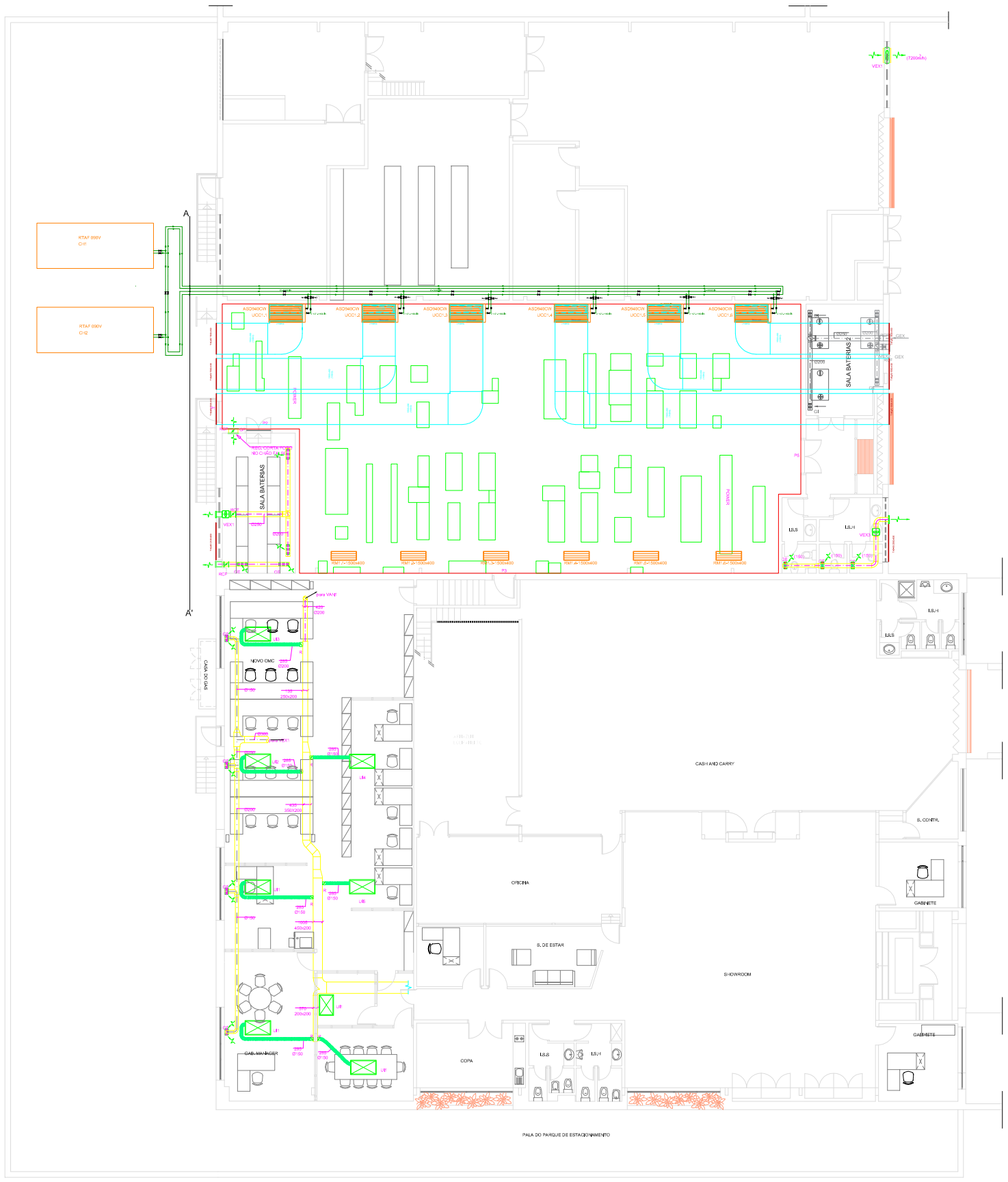
Anexo 2

Desenhos



CORTE A-A'

	INSTALAÇÕES MECÁNICAS DE AVAC PLANTA ARQUITETURA	SUBSTITUI: JOÃO MOREIRA
		DESENHO Nº: IM.01.01
		DATA: 15/12/2018
		ESCALA: 1/250
		CODIGO:



CORTE A-A'

LEGENDA

- AR NOVO
- EQUIPAMENTOS
- GRELHAS
- REGISTO CORTA FOGO
- RETORNO
- TUBAGEM ÁGUA

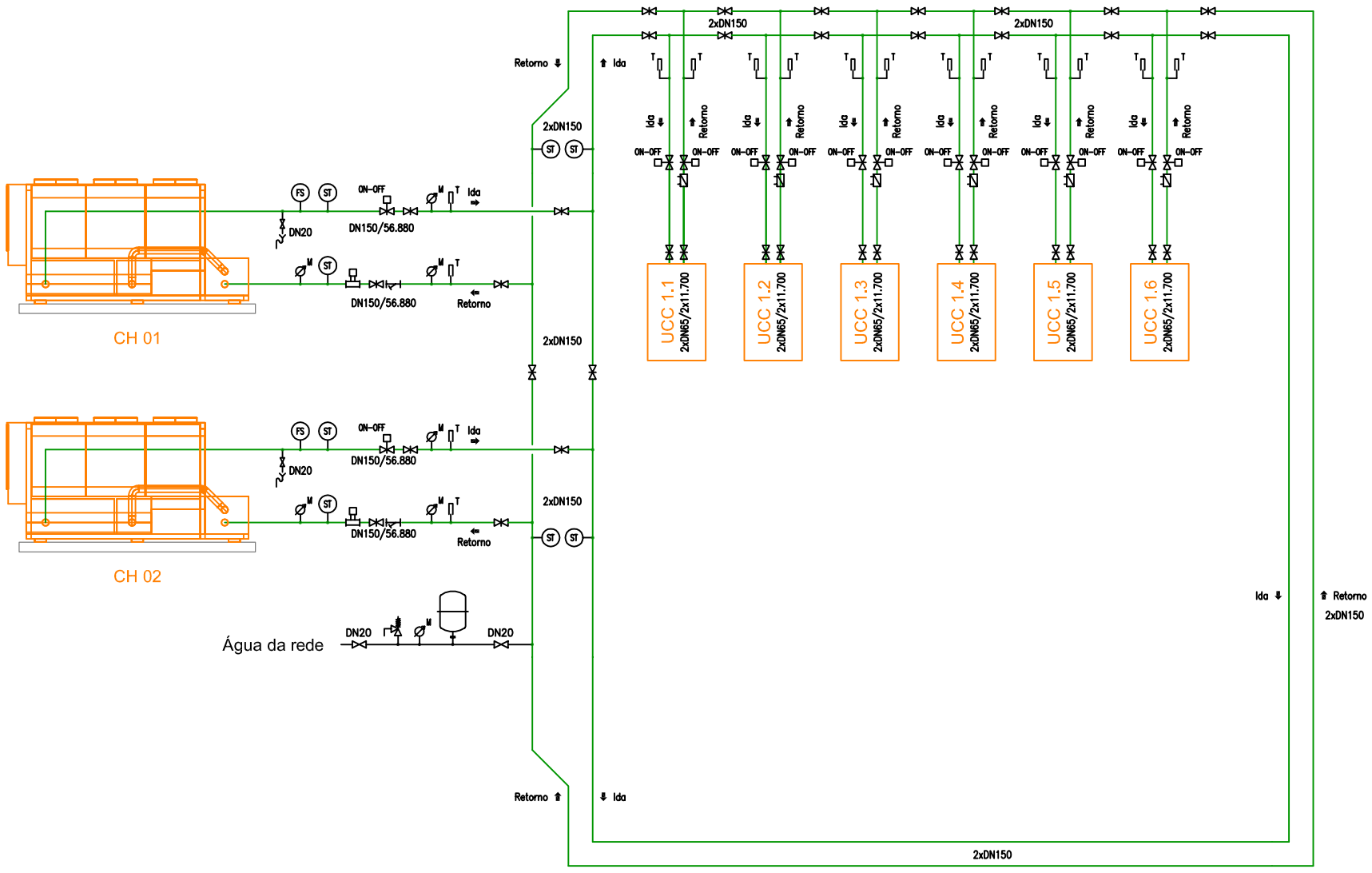
DESENHO N.	IM.02.01
DATA	15/12/2016
ESCALA	1/250
CODIGO	
SUBSTITUI: JOÃO MORERA	

INSTALAÇÕES MECÂNICAS DE AVAC
CASO 1

LEGENDA

- AR NOVO
- EQUIPAMENTOS
- GRELHAS
- REGISTO CORTA FOGO
- RETORNO
- TUBAGEM FLUIDO FRIGORIGENEO

DESENHO N.	IM.03.01
DATA	15/12/2010
ESCALA	1/250
CODIGO	
INSTALAÇÕES MECÂNICAS DE AVAC CASO 2	SUBSTITUE JOÃO MORERA



LEGENDA

- VÁLVULA DE CORTE
- INTERRUPTOR FLUXO
- SONDA DE TEMPERATURA
- MANÓMETRO
- VÁLVULA MOTORIZADA
- CAUDALÍMETRO
- FILTRO
- TERMÓMETRO
- VÁLVULA REGULADORA CAUDAL
- VÁLVULA DE SEGURANÇA
- VASO DE EXPANSÃO
- EQUIPAMENTOS
- TUBAGEM ÁGUA

		DESENHO Nº IM.04.01
		DATA 15/12/2016
		ESCALA
		CODIGO
	INSTALAÇÕES MECÂNICAS DE AVAC ESQUEMA PRINCÍPIO - CASO 1	SUBSTITUE JOÃO MOREIRA

Anexo 3

Cotações de investimento inicial

				Mapa de Quantidades	
				19369.1.A/16	
				12/12/16	
Obra:	Data Center - Porto		Local:	Porto	
Desc:	Fornec. e monta. de sistema de climatização no OMC Ranha				
Artigo	Designação	Un.	Quant.	Preço unit	Total
1	Climatização OMC Ranha				
1.1	Unidades CRAC, U.CC. 1.1, 1.2, 1.3; 1.4; 1.5; 1.6 Fornecimento e montagem de unidades de tratamento de ar, marca Stulz, modelo ASD940CW (com inscrição na Eurovent e certificado ISO 9001), incluindo: - Capacidade de arrefecimento total de 67,7kW e capacidade de arrefecimento sensível de 66,1 kW, com caudal de 14840m3/h - Unidade vertical para retorno ambiente e insuflação em pavimento sobre elevado (downflow); - Secção de ventilação constituida por um ou mais ventiladores centrifugos de pá recuada em material compósito, com motor diretamente acoplado, de comutação eletrónica (EC Fan), para optimização da eficiência energética; - Secção de filtragem com filtros F5 (de acordo com CEN 779); - Construção modular; - Acesso 100% frontal; Paineis sandwich não inflamáveis; classe 0 (A1 EU), com superfície lavável de forma a possibilitar eliminação bacteriana; - Serpentina construída em tubo de cobre expandido macanicamente em alhetas de alumínio; - Controlo por microprocessador - ICOM; - Válvula de 3 vias modelante; - Kit para alarme de água no pavimento; - Kit para alarme de filtros colmatados; - Microprocessador gráfico C7000 Advance (Modbus), para interligar com GTC (instalado de fábrica) - Bases de apoio de acordo com as alturas disponiveis para passagem de condutas ou de acordo com a altura do chão falso. - Garantia tecnica de 2 anos após o arranque de cada unidade pelo representante da marca; - Pressão estática à saída da unidade de 200Pa -Comutador automático corrente normal / corrente assistida, marca Socomec, Schneider, ABB, ou equivalente -Modulo economizer para free-ccoling	Un.	6	16 866,00 €	101 196,00 €
1.2	Unidades produtoras de água gelada: CH1 e CH2 Fornecimento e montagem de unidades de produção de água gelada, marca TRANE, modelo RTAF090 HSE XLN, incluindo: - Capacidade de arrefecimento total de 330,28kW, com caudal de água de 15,8 l/s; - Serpentina construída em tubo de cobre expandido macanicamente em alhetas de alumínio; - Controlador com protocolo ModBus - Versão Low Noise - Grupo hidraulico constituido por bomba duplas de alta presão - Maciço de apoio - Garantia tecnica de 2 anos após o arranque de cada unidade pelo representante da marca; -Comutador automático corrente normal / corrente assistida, marca Socomec, Schneider, ABB, ou equivalente	Un.	2	77 294,40 €	154 588,80 €
1.3	Fornecimento e montagem de registos motirizados, para despressurização da sala de dimensões: RM - 1500x400	Un.	6	925,54 €	5 553,22 €
1.4	Condutas				

Obra:	Data Center - Porto		Local:	Porto	
Desc:	Fornec. e monta. de sistema de climatização no OMC Ranha				
Artigo	Designação	Un.	Quant.	Preço unit	Total
	Fornecimento e montagem de condutas de admissão de ar novo, insuflação, retorno e extração, incluindo todos os materiais necessários para a sua correcta montagem, do tipo "P3ductal".	m2	350	35,60 €	12 461,40 €
1.5	Tabuleiros				
	Fornecimento e montagem de tabuleiros para em caso de fugas de condensados cairem nestas aparadeiras, de dimensões: 2000x1000x50	Un.	6	71,39 €	428,33 €
1.6	Tubagem de água gelada				
1.6.1	Tubagem de ferro preto, serie média, com isolamento, do tipo armaflex, com espessuras de acordo com a lei em vigor, incluindo todos os acesórios para a sua correcta montagem, nos seguintes diâmetros				
	6"	Ml.	120	86,45 €	10 374,00 €
	2 1/2"	Ml.	72	41,68 €	3 000,82 €
1.6.2	Tubagem de ferro preto, serie média, com isolamento, do tipo armaflex, com espessuras de acordo com a lei em vigor, incluindo todos os acesórios para a sua correcta montagem e forra mecânica, nos seguintes diâmetros:				
	6"	Ml.	40	115,05 €	4 602,00 €
1.6.3	Valvula de seccionamento do tipo borboleta				
	6"	Un.	24	179,34 €	4 304,04 €
	2 1/2"	Un.	12	73,66 €	883,90 €
	3/4"	Un.	3	24,51 €	73,52 €
1.6.4	Valvulas de borboleta motorizadas ON/OFF				
	6"	Un.	2	705,02 €	1 410,03 €
	2 1/2"	Un.	12	341,02 €	4 092,19 €
1.6.5	Caudalimetros				
	6"	Un.	2	1 781,33 €	3 562,65 €
1.6.6	Filtro de água em "Y"				
	6"	Un.	2	316,23 €	632,45 €
1.6.7	Termometros	Un.	16	45,42 €	726,75 €
1.6.8	Manometros	Un.	6	30,55 €	183,30 €
1.6.9	Sondas de temperatura	Un.	8	177,60 €	1 420,80 €
1.6.10	Valvula reguladora de caudal dinâmica				
	2 1/2"	Un.	6	264,55 €	1 587,30 €
1.6.11	Purgadores automáticos de 3/4"	Un.	16	29,47 €	471,54 €
1.6.12	Grupo de enchimento incluindo vaso de expansão e válvula de segurança	Cj.	1	767,00 €	767,00 €
1.7	Tubagem de condensados				
	Tubagem de condensados, acessórios, abraçadeiras Ø32 em PVC de colar, interligando à rede existente	cj	1	125,00 €	125,00 €
1.8	Grelhas				

				Mapa de Quantidades	
				19369.1.A/16	
				12/12/16	
Obra:	Data Center - Porto		Local:	Porto	
Desc:	Fornec. e monta. de sistema de climatização no OMC Ranha				
Artigo	Designação	Un.	Quant.	Preço unit	Total
1.8.1	Grelha de admissão de ar com rede anti-pássaro 1500x400	Un.	6	308,40 €	1 850,39 €
1.8.2	Grelha de exasutão de ar com rede anti-pássaro 2400x800	Un.	2	514,15 €	1 028,30 €
1.8.3	Grelhas de pavimento a distribuir pela salas de acordo com a disposição dos servidores. Grelhas de pavimento 600x400	Un.	60	112,80 €	6 768,06 €
1.9	Desmantelamento: Neste item estão incluidos todos os trabalhos necessários para o desmantelamento de: - 2 chillers existentes - unidades de climatização existentes (6 unidades) - Calhas técnicas - Tubagem, acessórios e suportes de águas refrigeradas - Alinhamento dos cabos e equipamentos colocados no chão falso nas zonas de insuflação de ar de forma a diminuir a obstrução à passagem do ar - Cabos de alimentação às unidades - Esteiras - Maciços na central - Cabos, chumbadouros e todo o material que o cliente entender ser para enviar para um gestor de resíduos autorizado - Refazer paredes (em caso de necessidade de partir alguma para retirada de equipamentos), rebocá-las e pintá-las - Reforço dos plenos de admissão de ar na central com chapa de ferro xadrez devidamente chumbado	cj	1	3 445,00 €	3 445,00 €
1.10	Instalação electrica de potência				
1.10.1	Quadro eléctrico de potência de acordo com as peças desenhadas (Marca Schneider, modelo Prisma)	Un	2	6 756,00 €	13 512,00 €
1.10.2	Cablagem de potência, bem como caminho de cabos necessário	cj	1	10 128,00 €	10 128,00 €
1.11	Diversos trabalhos				
1.11.1	Todos os trabalhos de contrução civil inerentes à montagem, incluindo aberturas de vão, reforço de padieiras, remates, pinturas, aberturas para o exterior e respetivos remates.	cj	1	3 390,00 €	3 390,00 €
1.11.2	Fornecimento de dossier completo em papel (3 cópias) contendo telas finais, manuais de utilização e fichas técnicas, bem como em formato digital	cj	1	756,00 €	756,00 €
1.11.3	Meios de elevação, transporte para localização das unidades condensadoras, chumbadouros, suportes galvanizados, etc.	cj	1	1 800,00 €	1 800,00 €
	TOTAL FINAL S/ IVA				355 122,78 €

				Mapa de Quantidades	
				19369.1.B/16	
				12/12/16	
Obra:	Data Center - Porto		Local:	Porto	
Desc:	Fornec. e monta. de sistema de climatização no OMC Ranha				
Artigo	Designação	Un.	Quant.	Preço unit	Total
1	Climatização OMC Ranha				
1.1	Unidades CRAC:, U.C. 1.1, 1.2, 1.3, 1.4, 1.5, 1.6 Fornecimento e montagem de unidades de tratamento de ar, marca Stulz, modelo ASD712A (com inscrição na Eurovent e certificado ISO 9001), incluindo: - Capacidade de arrefecimento total de 66kW e capacidade de arrefecimento sensível de 62,6 kW, com caudal de 20000m3/h - Unidade vertical para retorno ambiente e insuflação em pavimento sobre elevado (downflow); - Secção de ventilação constituida por um ou mais ventiladores centrifugos de pá recuada em material compósito, com motor diretamente acoplado, de comutação eletrónica (EC Fan), para optimização da eficiência energética; - Secção de filtragem com filtros F5 (de acordo com CEN 779); -Construção modular; - Acesso 100% frontal; Paineis sandwich não inflamáveis; classe 0 (A1 EU), com superfície lavável de forma a possibilitar eliminação bacteriana; - Serpentina construída em tubo de cobre expandido macanicamente em alhetas de alumínio; - Frigorigenio R410a; - Controlo por microprocessador - ICOM; - Kit para alarme de água no pavimento; - Kit para alarme de filtros colmatados; - Disjuntores de proteção das unidades condensadoras; - Microprocessador gráfico C7000 Advance (Modbus), para interligar com GTC (instalado de fábrica) - Modulo economizer para free-cooling - Bases de apoio de acordo com as alturas disponiveis para passagem de condutas ou de acordo com a altura do chão falso. - Garantia tecnica de 2 anos após o arranque de cada unidade pelo representante da marca; - Pressão estática à saída da unidade de 200Pa - Comutador automático corrente normal / corrente assistida, marca Socomec, Schneider, ABB, ou equivalente	Un.	6	29 659,50 €	177 957,00 €
1.3	Fornecimento e montagem de registos motirizados, para despressurização da sala de dimensões: RM - 2000x400	Un.	6	1 045,54 €	6 273,22 €
1.4	Condutas Fornecimento e montagem de condutas de admissão de ar novo, insuflação, retorno e extração, incluindo todos os materiais necessários para a sua correcta montagem, do tipo "P3ductal".	m2	440	35,60 €	15 665,76 €
1.5	Tabuleiros Fornecimento e montagem de tabuleiros para em caso de fugas de condensados cairem nestas aparadeiras, de dimensões: 2500x1000x50	Un.	6	75,00 €	450,00 €
1.6	Calha Técnica Calha técnica com tampa ,em chapa galvanizada, 500x100 a todo o comprimento entre as unidades interiores e exteriores, assente em suportes e com ligações equipotenciais. Todos os suportes e calhas deverão ser tratados contra a corrosão. Em caso de necessidade, devem fazer-se dois níveis de calhas.	Ml.	100	65,00 €	6 500,00 €

				Mapa de Quantidades	
				19369.1.B/16	
				12/12/16	
Obra:	Data Center - Porto		Local:	Porto	
Desc:	Fornec. e monta. de sistema de climatização no OMC Ranha				
Artigo	Designação	Un.	Quant.	Preço unit	Total
1.7	Tubagem de cobre				
	Tubagem de cobre com isolamento de 9mm de espessura e respetivos acessórios, curvas, sifões, etc.				
	Tubo Cobre isolado 3/4"	Ml.	150	17,30 €	2 595,00 €
	Tubo Cobre isolado 7/8"	Ml.	200	19,52 €	3 904,00 €
	Tubo Cobre isolado 1 1/8"	Ml.	340	37,87 €	12 875,80 €
1.8	Tubagem de condensados				
1.8.1	Tubagem de condensados, acessórios, cobre, isolado no dois primeiros metros	Ml.	40	2,75 €	110,00 €
1.8.2	Tubagem de condensados, acessórios, abraçadeiras Ø32 em PVC de colar, interligando à rede existente	Cj.	1	125,00 €	125,00 €
1.9	Grelhas				
1.9.1	Grelha de admissão de ar com rede anti-pássaro 2000x400	Un.	6	391,03 €	2 346,18 €
1.9.2	Grelha de exasutão de ar com rede anti-pássaro 3000x800	Un.	2	586,25 €	1 172,50 €
1.9.3	Grelhas de pavimento a distribuir pela salas de acordo com a disposição dos servidores. Grelhas de pavimento 600x400	Un.	60	112,80 €	6 768,06 €
1.10	Desmantelamento: Neste item estão incluidos todos os trabalhos necessários para o desmantelamento de: - 2 chillers existentes - unidades de climatização das salas Switch 1 e Switch 2 (6 unidades) - Calhas técnicas - Tubagem, acessórios e suportes de águas refrigeradas - Alinhamento dos cabos e equipamentos colocados no chão falso nas zonas de insuflação de ar de forma a diminuir a obstrução à passagem do ar - Cabos de alimentação às unidades - Esteiras - Maciços na central - Cabos, chumbadouros e todo o material que o cliente entender ser para enviar para um gestor de resíduos autorizado - Refazer paredes (em caso de necessidade de partir alguma para retirada de equipamentos), rebocá-las e pintá-las - Reforço dos plenos de admissão de ar na central com chapa de ferro xadrez devidamente chumbado	cj	1	3 445,00 €	3 445,00 €
1.11	Instalação electrica de potência				
1.11.1	Quadro eléctrico de potência de acordo com as peças desenhadas (Marca Schneider, modelo Prisma)	Un	2	7 956,00 €	15 912,00 €
1.11.2	Cablagem de potência, bem como caminho de cabos necessário	cj	1	11 536,00 €	11 536,00 €
1.12	Diversos trabalhos				
1.12.1	Todos os trabalhos de contrução civil inerentes à montagem, incluindo aberturas de vão, reforço de padieiras, remates, pinturas, aberturas para os RCF e respetivos remates.	cj	1	3 390,00 €	3 390,00 €

				Mapa de Quantidades	
				19369.1.B/16	
				12/12/16	
Obra:	Data Center - Porto		Local:	Porto	
Desc:	Fornec. e monta. de sistema de climatização no OMC Ranha				
Artigo	Designação	Un.	Quant.	Preço unit	Total
1.12.3	Fornecimento de dossier completo em papel (3 cópias) contendo telas finais, manuais de utilização e fichas técnicas, bem como em formato digital	cj	1	756,00 €	756,00 €
1.12.4	Meios de elevação, transporte para localização das unidades condensadoras, chumbadouros, suportes galvanizados, etc.	cj	1	1 800,00 €	1 800,00 €
	TOTAL FINAL S/ IVA				273 581,52 €