



ISEL

INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA
Departamento de Engenharia Mecânica



Projecto de AVAC para um Edifício Escolar com Piscina

DIOGO ALEXANDRE ALMEIDA GONÇALVES
(Licenciado em Engenharia Mecânica)

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

Orientadores:

Doutora Cláudia Sofia Séneca da Luz Casaca
Especialista João Antero N. S. Cardoso

Júri:

Presidente: Doutora Maria Teresa O. Moura e Silva

Vogais:

Especialista Francisco Manuel Fernandes Severo
Especialista João Antero Nascimento dos Santos Cardoso

Julho de 2021

Agradecimentos

Aos meus orientadores e professores Cláudia Casaca e João Cardoso por todo o apoio e orientação que me foram dando ao longo de todo o desenvolvimento deste trabalho, em especial pela paciência e perseverança que tiveram comigo.

Aos meus pais e irmã por sempre acreditarem em mim e por me incentivarem constantemente a não desistir deste grande desafio. Obrigado pelo percurso académico que me proporcionaram.

À minha mulher que foi fundamental nos últimos passos de finalização deste trabalho, que ajudou a equilibrar o meu tempo e a manter a força e a concentração necessária para concluir este enorme desafio pessoal.

E por fim, mas não menos importante ao meu colega e amigo Rui Costa que a passo a passo nos fomos apoiando e motivando mutuamente no desenvolvimento dos nossos trabalhos que tantas horas nos ocupou. Sem este companheirismo não teríamos conseguido.

Muito obrigado a todos!

Resumo

As instalações do Colégio Pedro Arrupe caracterizam-se de forma única e particular pelo isolamento térmico exterior utilizado para combater as cargas térmicas. O complexo escolar é composto por diversos blocos (salas de aula, biblioteca, ginásio, piscina, cafetaria e direcção). Este trabalho pretende apresentar o projecto de Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado (AVAC) do bloco da Piscina.

Por forma a melhor suportar a escolha e selecção dos equipamentos dimensionados, é feito um enquadramento teórico dos equipamentos actualmente existentes no mercado, bem como alguns conceitos e metodologias de cálculo.

Como suporte e apoio à base de cálculo das cargas térmicas do edifício e dimensionamento de alguns sistemas e equipamentos, recorreu-se ao uso do software da *Carrier – HAP Hour Analysis Program* (Carrier, n.d.). Trata-se de um software que foi desenhado para engenheiros e projectistas de AVAC para o design, dimensionamento e análise energética de sistemas de AVAC.

O elemento diferenciador comparado com outros projectos de AVAC foca-se na elevada carga térmica latente presente nos diversos espaços, com especial foco na zona da piscina.

Cada vez mais existe uma maior preocupação ambiental e maior necessidade de redução de custos devido ao consumo energético dos sistemas AVAC. Juntando esta necessidade com a constante necessidade de desumidificação que existirá nos espaços a climatizar deste edifício, foi possível obter uma solução com elevado reaproveitamento energético nos sistemas dimensionados para a Piscina e Balneários.

Palavras-chave:

AVAC; Qualidade do Ar; Conforto; Desumidificação do Ar Interior de Piscina; Reaproveitamento energético.

Abstract

The infrastructure of School Pedro Arrupe is characterized by its singular external thermal barrier used to minimize external thermal loads. The scholar complex is composed by several buildings (classrooms, library, gymnasium, swimming pool, cafeteria, and administration). This paper intends to present a project of Heating, Ventilation and Air Conditioning (HVAC) of the pool building.

To support the selection of the HVAC systems designed, it's done a theoretical research of the equipments currently in the market, as well as some base concepts and calculation methods.

To calculate the thermal loads and the design of all the systems implied was used a Carrier's software – Hour Analysis Program. It's a software designed for HVAC engineers for the design, sizing and energy analysis of the HVAC systems.

More often than ever, there is a bigger concern regarding the environment and more need to reduce energy consumption in the HVAC systems. Adding this to the constant need of dehumidification of the spaces of the building, it's been possible to develop a solution with high energy recovery in the designed systems for the pool and balnearies.

Keywords:

Heating Ventilation and Air Conditioning (HVAC), Air Quality, Comfort, Dehumidification of Pool's Inner Air, Energy Recovery in the Process of Dehumidification.

Abreviaturas

- AF – Água fria;
- AN – Ar Novo;
- AQ – Água Quente;
- ASHRAE – *American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers*;
- AVAC – Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado;
- DL – Decreto Lei;
- EN – Norma Europeia;
- GTC – Gestão Técnica Centralizada;
- HAP – *Hourly Analysis Program*;
- ISEL – Instituto Superior de Engenharia de Lisboa;
- RECS – Regulamento dos Sistemas Energéticos e de Climatização de Edifícios;
- UR – Unidade Recuperadora;
- UTA – Unidade de Tratamento de Ar;
- UTAN – Unidade de Tratamento de Ar Novo;
- VC – Ventiloinvector;
- VRF – Fluido Refrigerante Variável.

Índice

Agradecimentos	i
Resumo	iii
Abstract.....	v
Abreviaturas.....	vii
Índice	ix
Índice de Figuras	xi
Índice de Tabelas	xv
1. Introdução.....	1
1.1. Objectivos	1
1.2. Estrutura do trabalho.....	2
2. Qualidade do ambiente interior	3
2.1. Cargas térmicas	4
2.2. Componentes de um sistema de AVAC	6
2.2.1. Equipamentos de produção centralizados.....	6
2.2.2. Equipamentos terminais	11
3. A caracterização do edifício	15
3.1. O edifício e a sua localização.....	15
3.2. A caracterização dos espaços do edifício.....	22
3.2.1. Coeficientes globais de transmissão térmica	23
3.2.2. Caudais de Ar Novo	27
3.2.3. Cargas térmicas internas	28
3.2.4. Carga térmica devida à evaporação da piscina.....	31
3.2.5. Cargas térmicas externas	34

4. Sistemas.....	37
4.1. Área técnica do piso -1	37
4.2. Área da Piscina	37
4.3. Gabinetes e salas administrativas.....	48
4.4. Balneários	49
4.5. Dimensionamento da rede aerúlica	52
4.6. Dimensionamento rede hidráulica	56
4.6.1. Válvulas e acessórios.....	58
4.6.2. Vaso de expansão e depósito de inércia	62
4.6.3. Sistema de bombagem para o circuito hidráulico de AVAC.....	64
4.7. <i>Chiller</i> e Bomba de Calor	66
5. Conclusões.....	71
Bibliografia.....	73
Anexos	75

Índice de Figuras

Figura 1 - Imagem de um Chiller marca Carrier (Carrier, 2021)	6
Figura 2 - Evoluções de um ciclo de compressão de vapor (Roriz, 2006)	7
Figura 3 - Reaproveitamento energético num Chiller com recuperação de calor	9
Figura 4 - Exemplo ilustrativo de uma Unidade de Tratamento de Ar	11
Figura 5 – Imagem ilustrativa de um ventiloconvector (Carrier, 2021)	12
Figura 6 - Ilustração de uma unidade Split marca Daikin (Daikin, 2021).....	12
Figura 7 - Ilustração de um sistema Multi-split, marca Daikin (Daikin, 2021)	13
Figura 8 - Ilustração de um sistema VRF marca Daikin (Daikin, 2021).....	13
Figura 9 - Vista satélite da localização do edifício (Google Maps, 2021)	15
Figura 10 - Planta do piso -1	16
Figura 11 - Planta do Piso 0	17
Figura 12 - Parâmetros gerais – Spaces HAP	28
Figura 13 - Cargas de ocupação e de equipamentos no HAP.....	31
Figura 14 – Figura demonstrativa final da caracterização de cada espaço no HAP.....	34
Figura 15 - Cobertura - Spaces HAP	35
Figura 16 - Pavimento - Spaces HAP	35
Figura 17 - Exemplo de evolução psicrométrica de desumidificação e posterior aquecimento.....	38
Figura 18 - Separador General do menu Systems - UTAN Piscina	39
Figura 19 - Módulo Ventilation Air - System UTAN Piscina.....	39
Figura 20 - Recuperador de calor de roda térmica (ASHRAE, 2008).....	40
Figura 21 - Recuperador de calor de fluxos cruzados (ASHRAE, 2008).....	40
Figura 22 - Recuperador de calor por permutador de placas (Sodeca, 2021)	41
Figura 23 - Módulo Ventilation Air - System UTAN Piscina.....	42

Figura 24 - Módulo Central Cooling - System UTAN Piscina	42
Figura 25 - Módulo Central Heating - System UTAN Piscina.....	43
Figura 26 - Módulo Supply Fan - System UTAN Piscina.....	44
Figura 27 - Módulo Return Fan - System UTAN Piscina	44
Figura 28 - Separador Zone Components com definição de setpoints de temperatur, UTAN Piscina	45
Figura 29 - Diagrama Psicrométrico com as evoluções na UTAN Piscina em situação pico de Verão, software HAP	46
Figura 30 - Diagrama Psicrométrico com as evoluções na UTAN Piscina em situação pico de Inverno, software HAP	46
Figura 31 - Circuito frigorífico na UTAN Piscina	47
Figura 32 - Circuito dos fluxos de ar evidenciando o reaproveitamento energético na UTAN Piscina	48
Figura 33 - UTAN da Piscina em funcionamento sem recuperação de calor.....	48
Figura 34 - Diagrama com direcção dos fluxos de ar por infiltração	52
Figura 35 - Conduto e acessórios em polipropileno(Central Plast, 2021).....	54
Figura 36 - Difusão de ar nos Balneários	55
Figura 37 - Difusão do ar na Sala de Musculação.....	55
Figura 38 - Técnica de difusão na Piscina (Baxter, 2012).....	56
Figura 39 - Válvula de equilíbrio estático (Caleffi Hydronic Solutions, 2021)	58
Figura 40 - Válvula de seccionamento macho esférico (Genebre, 2021).....	59
Figura 41 - Válvula de seccionamento tipo borboleta (Genebre, 2021).....	59
Figura 42 - Válvula motorizada de 2 vias (Belimo, 2021)	60
Figura 43 - Válvula de retenção (Genebre, 2021)	61
Figura 44 - Filtro de água Y (Genebre, 2021)	61
Figura 45 - Junta antivibrática (Genebre, 2021).....	62

Figura 46 - Vaso de expansão.....	62
Figura 47 - Depósito de Inércia	64
Figura 48 - Bomba centrífuga para o circuito de água fria (Grundfos - Dimensionamento de Produto, n.d.)	65
Figura 49 - Bomba circuladora para o circuito de água quente (Grundfos - Dimensionamento de Produto, n.d.)	65
Figura 50 - Curva da bomba AF.....	66
Figura 51 - Curva da bomba AQ	66
Figura 52 - Perfil de cargas no mês de Setembro	67
Figura 53 - Perfil de cargas no mês de Março	68
Figura 54 – Chiller Trane CGCM (Trane, 2021).....	69
Figura 55 - Tabela com características técnicas do Chiller Trane CGCM (Trane, 2021)	69
Figura 56 - Bomba de Calor Trane CGB (Trane, 2021).....	69
Figura 57 - Tabela com características técnicas da Bomba de Calor Trane CGB (Trane, 2021).....	70

Índice de Tabelas

Tabela 1 - Valores de índice de reflectância da radiação em diferentes tipos de solo (Carrier, n.d.)	19
Tabela 2 - Perfil climático para todo o ano, HAP	20
Tabela 3 - Tabela de ganho de radiação no mês de Setembro - HAP	21
Tabela 4 - Factores de correcção de radiação solar	22
Tabela 5 - Constituição das coberturas do edifício.....	25
Tabela 6- Constituição dos pavimentos do edifício.....	25
Tabela 7 - Constituição das paredes do edifício	26
Tabela 8 - Equipamentos afectos a cada espaço.....	29
Tabela 9 - Eficiência energética de diferentes tipos de recuperadores de calor	41
Tabela 10 - Valores teóricos para perdas de carga da rede aerúlica de insuflação.....	43
Tabela 11 - Valores teóricos para perdas de carga da rede aerúlica de extracção.....	44
Tabela 12 - Parâmetros para selecção da UTAN Piscina, software HAP	45
Tabela 13 – Cargas térmicas das Salas Administrativas	49
Tabela 14 - Parâmetros para selecção da UR Salas Administrativas, software HAP	49
Tabela 15 - Comparação e análise de soluções para equipamentos de climatização dos balneários.....	50
Tabela 16 - Caracterização das UTANS's dos balneários e da Sala de Musculação.....	51
Tabela 17 - Valores de referência da velocidade do ar nos diversos ramais da instalação	53
Tabela 18 - Parâmetros de selecção das bombas circuladoras AVAC	65

1. Introdução

Quem estudou cálculo matemático está familiarizado com o processo de análise. Numa típica resolução analítica, existem um determinado número de parâmetros que definem por completo o problema, existindo apenas uma única solução correcta.

A elaboração de um projecto é bem diferente. Uma situação de projecto pode ter ou não todas as variáveis definidas, dando origem a infinitas soluções de projecto. Com certeza, umas serão melhores que outras, conforme a vontade do cliente, a eficiência do sistema, a sua simplicidade, entre outros (Grondzik, 2007). Conceber e projectar um sistema de climatização, exige da parte do projectista um conjunto variado de conhecimentos matemáticos, de conhecimento dos fenómenos físicos e termodinâmicos e de transmissão de calor e de massa, bem como das condições de conforto e de qualidade do ar interior. Adicionalmente, o projectista deverá conhecer os princípios de funcionamento dos equipamentos disponibilizados no mercado e dos sistemas de distribuição de fluidos térmicos, assim como da regulação e normalização em vigor.

Um sistema de aquecimento, ventilação e ar condicionado (AVAC) não deve ser concebido apenas com o objectivo de retirar carga térmica a um qualquer recinto. O sistema de AVAC deve garantir a qualidade do ar interior dos recintos, em função das condições de funcionamento do edifício. Deve garantir também a facilidade de manutenção, aspecto que muitas vezes é descurado em fase de projecto e de instalação de obra (Roriz, 2006).

A motivação para abordar este tema foi o de desenvolver o estudo de um projecto de AVAC com maior rigor, aprofundar conhecimentos, métodos e cálculos de dimensionamento das instalações, sendo este tema de grande interesse também para o meu percurso profissional.

1.1. Objectivos

Com a elaboração do presente projecto de AVAC, pretende-se obter uma instalação que garanta as condições de conforto dos ocupantes de acordo com a respectiva utilização em cada espaço. A selecção dos equipamentos e sistemas é suportada por um

enquadramento teórico de acordo com as opções disponíveis actualmente no mercado. Como suporte de cálculo e dimensionamento da instalação, optou-se pela escolha do software HAP da *Carrier*, que irá auxiliar no cálculo das cargas térmicas de cada espaço do edifício e no dimensionamento e selecções dos sistemas AVAC. Pretende-se também conseguir uma solução técnica que vise a eficiência energética e redução de custos de consumo energético, que de forma particular será possível devido à elevada necessidade de desumidificação.

1.2.Estrutura do trabalho

O presente trabalho final de mestrado (TFM) está organizado por 5 capítulos.

No presente capítulo (1) é onde se justifica a escolha do tema e é realizado um breve enquadramento do que se trata um projecto de AVAC.

No capítulo 2 é feito um enquadramento teórico relativo às cargas térmicas que irão ser calculadas e uma descrição dos sistemas e equipamentos de AVAC existentes e disponíveis actualmente no mercado.

No capítulo 3 é feita a caracterização das envolventes internas e externas do edifício, caracterização do perfil climático do local onde se encontra o edifício e a tipologia de cada espaço, por forma a calcular posteriormente as cargas térmicas de cada espaço e as respectivas necessidade de ar novo.

No capítulo 4 serão descritos os sistemas e equipamentos escolhidos, o seu respectivo dimensionamento devidamente justificado.

No último capítulo são apresentadas as respectivas conclusões do trabalho elaborado e apresentado.

2. Qualidade do ambiente interior

Ao contrário do que habitualmente possamos pensar, a qualidade do ambiente interior não está simplesmente relacionada com as condições do ar (temperatura, humidade e poluição), mas sim de um conjunto de factores, tais como:

- Conforto térmico;
- Conforto visual;
- Conforto acústico;
- Qualidade do ar interior.

Um bom ambiente interior é conseguido através de um bom projecto e um adequado dimensionamento do edifício e dos sistemas aí instalados. Posteriormente, é igualmente importante uma boa gestão da manutenção por parte de equipas técnicas especializadas, bem como de uma adequada exploração das instalações técnicas por parte dos utilizadores do edifício (Alfano *et al.*, 2013). O desconforto térmico pode existir quando ocorrem algumas situações, como sendo:

- Temperaturas demasiado altas;
- Temperaturas demasiado baixas;
- Variação muito brusca da temperatura ambiente;
- Correntes de ar excessivas;
- Radiação excessiva;
- Pavimento demasiado frio (pés frios) ou demasiado quente.

Estes fenómenos podem ser evitados através de um bom controlo da temperatura interior e da difusão e extracção do ar realizada no espaço.

Uma boa iluminação, quer seja natural ou artificial, assegura a facilidade de visualização e posteriormente um maior rendimento nas actividades executadas. O desconforto visual pode revelar-se quando existam as seguintes situações:

- Fraca luz artificial ou natural;
- Luz artificial ou natural ofuscante;
- Visibilidade inadequada.

O mau condicionamento e isolamento acústico do edifício e das salas adjacentes pode conduzir a incómodos ruidosos. Estes fenómenos podem conduzir a:

- Redução na concentração;
- Diminuição da inteligibilidade do discurso;
- Problemas de foro vocal.

A qualidade do ar interior é afectada por inúmeros componentes oriundos de fontes exteriores e também de fontes interiores. A respiração das pessoas, o tipo de actividade processada no edifício, a qualidade do ar exterior ventilado e insuflado no edifício, os materiais de construção, uma deficiente manutenção e exploração dos equipamentos, tudo isto contribuindo para a poluição interior.

Segundo, a *American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning* (ASHRAE) a qualidade do ar interior pode ser definida como o “ar onde não existem contaminantes conhecidos em concentrações perigosas, de acordo com o determinado pelas autoridades reconhecidas e onde a maioria (80% e mais) dos ocupantes expostos não expressem insatisfação” (ASHRAE - American Society of Heating & Engineers, 2007)

2.1.Cargas térmicas

O objectivo de um sistema de AVAC é o de garantir em qualquer altura do dia e do ano as condições de conforto definidas e projectadas para o edifício em questão. Para manter estas condições interiores estáveis e dentro do limite estipulado é fundamental estimar correctamente as cargas térmicas, ganhos ou perdas, por forma a determinar a potência térmica que é necessário introduzir ou retirar dos espaços. O cálculo das cargas térmicas é um passo crucial do projecto de um sistema de AVAC (Roriz, 2006).

Se as cargas térmicas forem calculadas por defeito, os ocupantes vão ter frio ou calor, sentindo desconforto nos períodos de pico das estações do ano. Se as cargas térmicas forem calculadas por excesso, os equipamentos e as instalações técnicas estarão sobredimensionados, resultando num maior custo em equipamentos, uma redução da eficiência energética dos equipamentos, resultando num consumo energético excessivo na sua operação.

As cargas térmicas podem ser sensíveis (influenciando a temperatura seca do ar), ou latentes (influenciando a quantidade de humidade no ar), ou uma combinação das duas. A carga sensível apenas influencia a temperatura seca do ar, enquanto uma carga latente influencia o ganho ou perda de humidade específica do ar. É fundamental saber distinguir e calcular os dois tipos de cargas térmicas, pois a sua determinação influencia o tipo de evolução psicrométrica que é necessário fazer para climatizar os recintos.

As cargas térmicas podem ainda ter diferentes origens, internas ou externas, consoante tenham origem no interior do espaço a climatizar, ou tenham origem através da envolvente do mesmo, respectivamente.

Em seguida, enumeram-se os diversos tipos de cargas térmicas necessárias a ter em conta para um projecto:

- Cargas térmicas externas:
 - Transferência de calor por condução ou convecção pela envolvente do edifício;
 - Radiação solar que passa através dos vidros ou superfícies transparentes do edifício;
 - Caudal/taxa de ar novo insuflada ou infiltrada no espaço, que acarreta uma carga térmica que depende das condições atmosféricas exteriores.

As cargas térmicas externas ao edifício são principalmente influenciadas pelos seguintes factores:

- Temperatura seca e humidade específica do ar exterior;
- Orientação das diversas envolventes do edifício e também a sua permeabilidade ao vapor de água e resistência térmica;
- Intensidade da radiação solar e inclinação (consoante a hora e latitude do local);
- Temperatura do solo;
- Tipo de solo, devido à reflectividade do mesmo.

- Cargas térmicas internas:
 - Área de superfície da envolvente em contacto com espaços sem controlo de climatização;
 - Iluminação e equipamentos eléctricos;
 - Carga térmica das pessoas através do calor emitido ou através da humidade da respiração.

2.2. Componentes de um sistema de AVAC

Uma instalação de AVAC destina-se a efectuar as seguintes acções: arrefecimento, aquecimento, humedificação, desumidificação e controlo da qualidade do ar (eliminação de poeiras e agentes patogénicos).

Definem-se como equipamentos principais de uma instalação, aqueles que produzem “calor ou frio”, de modo centralizado ou descentralizado, que por sua vez alimentam equipamentos terminais que garantem a climatização final dos respectivos espaços.

2.2.1. Equipamentos de produção centralizados

Os equipamentos de eleição para a produção de frio centralizado são os *chillers* (ver Figura 1). Estes equipamentos produzem água arrefecida que posteriormente é distribuída pela instalação até aos equipamentos terminais (em determinadas instalações alimentam também as Unidades de Tratamento de Ar) que, por sua vez, climatizam os respectivos espaços individuais do edifício.



Figura 1 - Imagem de um Chiller marca Carrier (Carrier, 2021)

O arrefecimento da água é realizado através do ciclo frigorífico de compressão de vapor, em que se utiliza o evaporador do ciclo para o arrefecimento da água, sendo o calor depois libertado no condensador do ciclo.

O ciclo frigorífico é composto pelas seguintes evoluções termodinâmicas: condensação, expansão, evaporação e compressão, representadas no diagrama de *Mollier* da Figura 2.

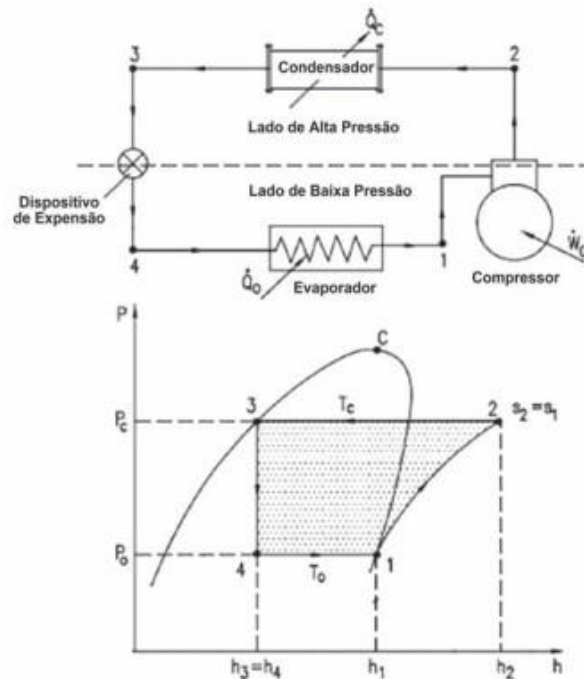


Figura 2 - Evoluções de um ciclo de compressão de vapor (Roriz, 2006)

Um sistema simples de compressão por vapor é constituído pelos seguintes equipamentos principais e com as respectivas evoluções teóricas e ideais:

- Elemento de compressão 1-2 – para elevação da pressão do vapor
 - Esta evolução dá-se a entropia constante – evolução isentrópica;
- Elemento de condensação 2-3 – para libertação de energia térmica através da condensação do fluido
 - Esta evolução dá-se a pressão constante – evolução isobárica;
- Elemento de expansão 3-4 – para diminuição da pressão do vapor
 - Esta evolução dá-se a entalpia constante – evolução isentálpica;
- Elemento de evaporação 4-1 – para transmissão de energia térmica através da evaporação do fluido
 - Esta evolução dá-se a pressão constante – evolução isobárica.

De salientar, que abordou-se o ciclo numa perspectiva de ciclo teórico, pois num ciclo real as transformações têm perdas com os sistemas fronteiros.

Este ciclo depende da capacidade do fluido refrigerante conseguir realizar transferências de energia nos seus estados de mudança de fase (condensação e evaporação).

A compressão do vapor dá-se com recurso a um compressor, para aumentar a pressão do fluido e proporcionalmente a sua temperatura. Depois dá-se a fase de condensação onde o fluido a alta temperatura transfere calor para a sua envolvente com recurso a um permutador de calor. Em seguida, segue-se a expansão do fluido através de um dispositivo expensor para redução da pressão do mesmo e consequentemente da sua temperatura. Nesta fase o fluido tem uma temperatura bastante reduzida pelo que se segue o processo de evaporação do fluido através de um permutador de calor onde se irá absorver o calor da envolvente. Este é o princípio termodinâmico mais utilizado nos equipamentos de AVAC para se conseguir a climatização do ar a insuflar nos edifícios e instalações.

Os parâmetros fundamentais e principais para a selecção/dimensionamento correcta de um *chiller* são os seguintes:

- Potência térmica total de “arrefecimento” necessária para a instalação: O *chiller* tem de ter capacidade térmica suficiente para disponibilizar energia térmica aos equipamentos terminais de toda a instalação. A potência térmica de um *chiller* varia consoante o caudal e a diferença de temperatura entre a entrada e saída da água.
- Caudal de água arrefecida: Para que a permuta de energia nas unidades terminais seja efectuada é necessário garantir um adequado caudal de água para proporcionar uma transferência de calor.
- Temperatura exterior mínima e máxima: No funcionamento de um ciclo frigorífico é também necessário dissipar energia térmica no condensador. Para cada equipamento, o fabricante define a temperatura máxima exterior para que a permuta seja adequada face à energia térmica absorvida no evaporador pelo fluido frigorífico.

Em edifícios que tenham necessidade de aquecimento e arrefecimento em simultâneo durante grande período do ano, pode ser utilizado um equipamento que conjuga

o *chiller* e a bomba de calor num só. Trata-se de um *chiller* com recuperação de calor. Conforme pode ser analisado através da Figura 3, verificamos que é aproveitado o calor dissipado no condensador para aquecer a água.

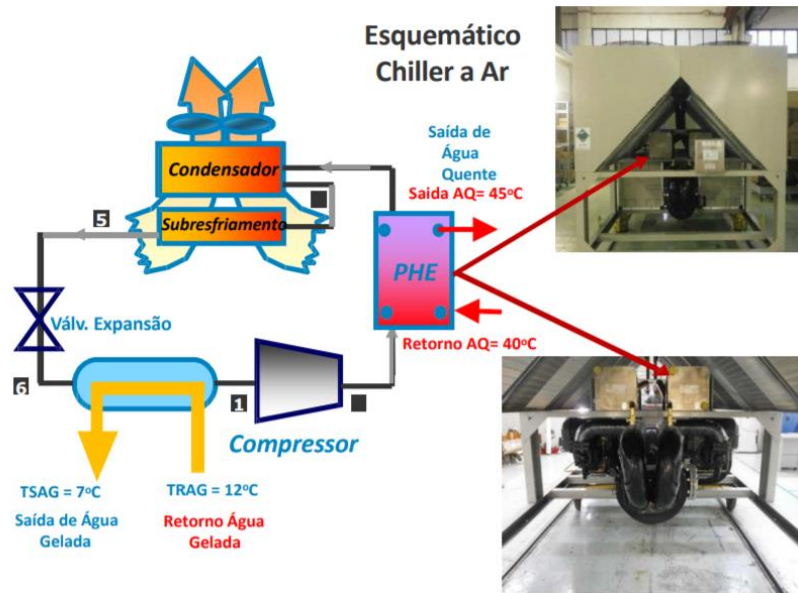


Figura 3 - Reaproveitamento energético num Chiller com recuperação de calor

Para o aquecimento de água podem também ser usadas caldeiras. As caldeiras podem ser classificadas de diferentes formas, consoante o tipo de fluido aquecido, a fonte energética utilizada e o tipo de concepção. As caldeiras são utilizadas quando por norma é necessária água com temperatura superior a 60 °C.

Os parâmetros fundamentais e principais para a selecção/dimensionamento correcta de uma caldeira são os seguintes:

- Potência térmica total de aquecimento necessária para a instalação:
 - As caldeiras têm de ter capacidade térmica suficiente para disponibilizar energia térmica aos equipamentos terminais de toda a instalação.
- Caudal de água quente:
 - Para que a permuta de energia nas unidades terminais seja eficaz é necessário disponibilizar um adequado caudal de água aquecida para a transferência de calor nos equipamentos terminais.
- Tipo de gás disponibilizado pela empresa distribuidora da região

Uma instalação climatizada com um sistema centralizado de produção de água refrigerada e aquecida, pode ser caracterizada de duas formas (ASHRAE, 2008):

➤ Instalação a 2 tubos:

- Com este tipo de instalação hidráulica existem apenas dois ramais de tubagem, um de ida e outro de retorno da água. No entanto, este tipo de instalação não permite simultaneidade de aquecimento e arrefecimento, ou seja, conforme seja definido, a instalação terá ou água refrigerada ou água aquecida

➤ Instalação a 4 tubos:

- Com esta tipologia de instalação hidráulica existem 4 ramais de tubagem a percorrer as infra-estruturas, quer para água refrigerada quer para a água aquecida temos uma ida e outro retorno. Deste modo, em diferentes equipamentos terminais de diferentes espaços, é possível aquecer ou arrefecer consoante as necessidades individuais. É também possível proporcionar os processos de aquecimento e arrefecimento em simultâneo no mesmo equipamento.

As Unidades de Tratamento de Ar (UTA) são os equipamentos de AVAC com maior diversidade, uma vez que estes equipamentos são agrupados por vários módulos numa dada sequência proporcionando alterações psicrométricas ao ar conforme as necessidades para proporcionar ao ar as condições definidas pelo projectista. Uma UTA pode incluir diversos equipamentos auxiliares, desde: sistemas de filtração de ar, bateria de arrefecimento e aquecimento, lavadores de ar ou injectores de vapor, atenuadores acústicos, sistema de recuperação térmica, ventiladores, bombas. Na Figura 4 demonstra-se um exemplo de uma UTA. O projectista escolhe os módulos necessários, consoante as condições que se pretende obter (Roriz, 2006).



Figura 4 - Exemplo ilustrativo de uma Unidade de Tratamento de Ar

2.2.2. Equipamentos terminais

Como forma de impulsionar e movimentar as massas de ar de um sistema de climatização, são utilizados ventiladores. Os mesmos podem ser incorporados nas UTA's ou serem instalados individualmente.

Os parâmetros fundamentais e principais para a selecção/dimensionamento correcta de um ventilador são os seguintes:

- Caudal de ar requerido para a instalação
- Pressão estática disponível (Pa)
 - Consoante a dimensão e acessórios da rede aerúlica que aumentam a perda de pressão estática no escoamento

Os ventiloconvectores são unidades terminais que garantem a climatização de um espaço/zona individualizado com recurso a ventilação forçada e alimentada a 2 ou 4 tubos por uma rede hidráulica de água refrigerada/aquecida, conforme ilustrado na Figura 5.



Figura 5 – Imagem ilustrativa de um ventiloconvetor (Carrier, 2021)

Os sistemas *Split* são equipamentos que à semelhança dos chillers, recorrem ao ciclo frigorífico para produção de energia térmica, sendo que esta mesma energia térmica produzida (aquecimento ou arrefecimento) é inserida directamente no espaço a climatizar. Equipamentos de AVAC com esta tipologia de funcionamento são designados de equipamentos de expansão directa.

Respeitando as etapas de um ciclo frigorífico, estes equipamentos são caracterizados por duas unidades (interior e exterior) onde cada uma se comportará como condensadora ou evaporadora, conforme o regime de climatização do sistema, ou seja, se está em modo de aquecimento ou arrefecimento (ver Figura 6).



Figura 6 - Ilustração de uma unidade Split marca Daikin (Daikin, 2021)

Os sistemas *Split* podem ter apenas uma unidade interior ou mais que uma. Os sistemas com mais de uma unidade interior designam-se por sistemas multi-split (ver Figura 7).

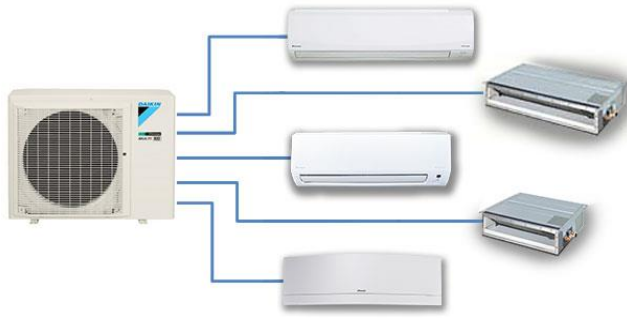


Figura 7 - Ilustração de um sistema Multi-split, marca Daikin (Daikin, 2021)

À semelhança das unidades split, um sistema de Fluido Refrigerante Variável (VRF) também funciona com o conceito de expansão directa, com a particularidade de a unidade exterior poder ser de potência térmica elevada, o que permite a associação de muitas unidades interiores e grande dimensão da instalação frigorífica (ver Figura 8).

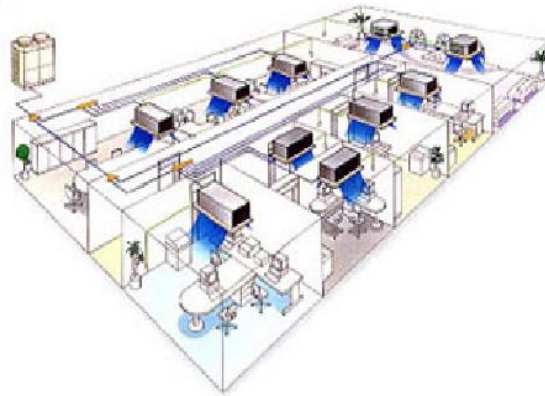


Figura 8 - Ilustração de um sistema VRF marca Daikin (Daikin, 2021)

As unidades exteriores deste sistema conseguem atingir e são desenhadas para uma potência térmica bastante elevada, pelo que em determinados edifícios é possível que apenas com este sistema seja possível garantir a climatização de todos os espaços, sem a necessidade de uma produção de água fria ou aquecida centralizada. Por este motivo, este sistema até poderia ser interpretado como um equipamento centralizado, no entanto, este aspecto não é consensual devido à versatilidade que este sistema garante.

3. A caracterização do edifício

3.1.O edifício e a sua localização

O edifício localiza-se na zona da Portela – Portugal, no Passeio dos Heróis do Mar 100, 1990 Lisboa. Na Figura 9 é apresentada uma vista satélite do complexo escolar.

O edifício situa-se geograficamente aproximadamente à latitude 38° 47' N (38,8° N) e longitude 9° 05' O (9,09° O).

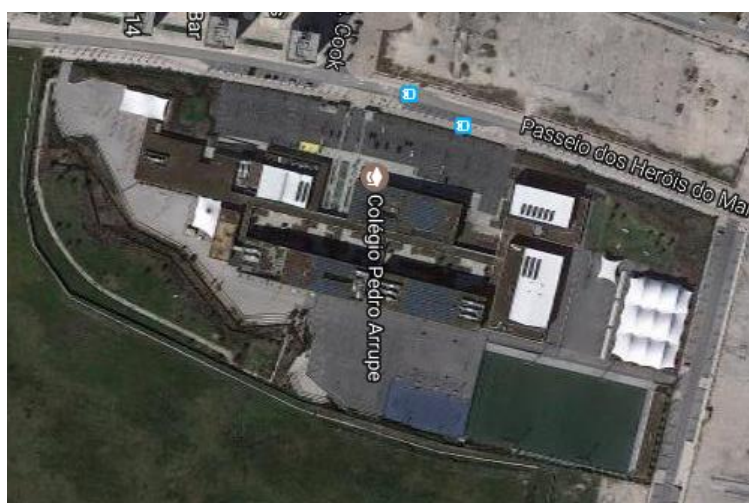


Figura 9 - Vista satélite da localização do edifício (Google Maps, 2021)

A área bruta do edifício é de 1461 m², com uma altura de 12,9 m.

O edifício destaca-se pelo isolamento da grande maioria das paredes exteriores em bloco de aglomerado negro de cortiça.

Trata-se de um edifício da piscina de um colégio, constituído por dois pisos (piso 0 e piso -1). O edifício dedica-se fundamentalmente ao uso da piscina, tendo também à disposição uma pequena sala de musculação. O piso 1, onde se encontra a piscina, dispõe de diversos balneários e alguns gabinetes e salas de trabalho administrativo. A piscina tem uma capacidade de 501,6 m³ (501600 L), e tem uma área de superfície de 375 m². No piso inferior existe uma área técnica para instalação de equipamentos das instalações especiais, incluindo uma central hidropressora de combate a incêndio e dois tanques de água de apoio à central, conforme apresentado na Figura 10.

O edifício e os seus espaços são apenas utilizados no período de aulas escolares, entre as 8h00 e as 20h00.

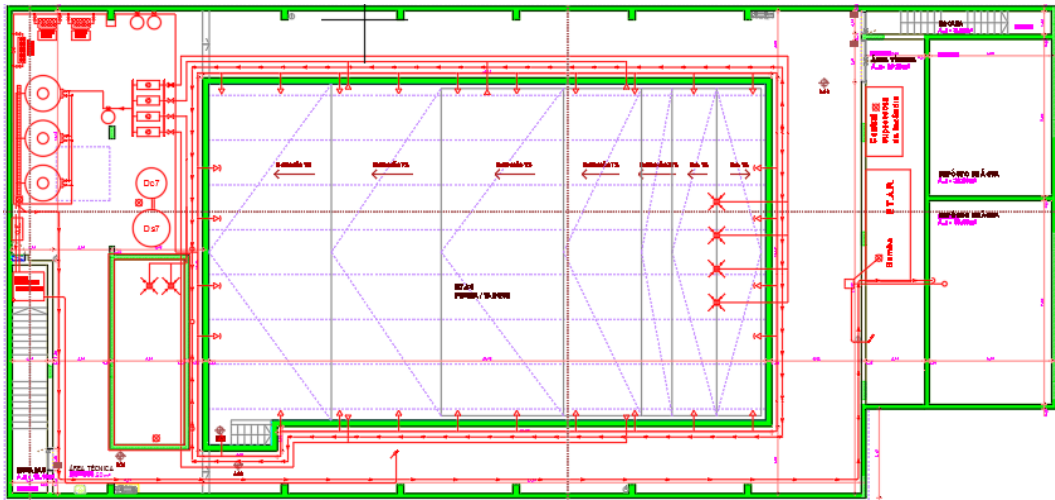


Figura 10 - Planta do piso -1

Conforme ilustrado na Figura 11, o piso térreo, onde se encontra a piscina, dispõe de diversos espaços de apoio à actividade do edifício, tais como:

- Gabinete/sala
 - G.1 – Posto de socorro
 - G.4 – Recepção
 - G.8 – Sala Professor
 - G.9 – Gabinete Coordenador
- Arrumos
 - G.2 – Arrumos
 - G.3 – Arrumos Limpeza
- Balneários
 - G.14 – Balneário 1
 - G.13 – Balneário 2
 - G.12 – Balneário 3
 - G.11 – Balneário 4
 - G.10 – Balneário 5
 - G.6 – Balneário Prof 1
 - G.7 – Balneário Prof 2
- G.5 – Sala Musculação

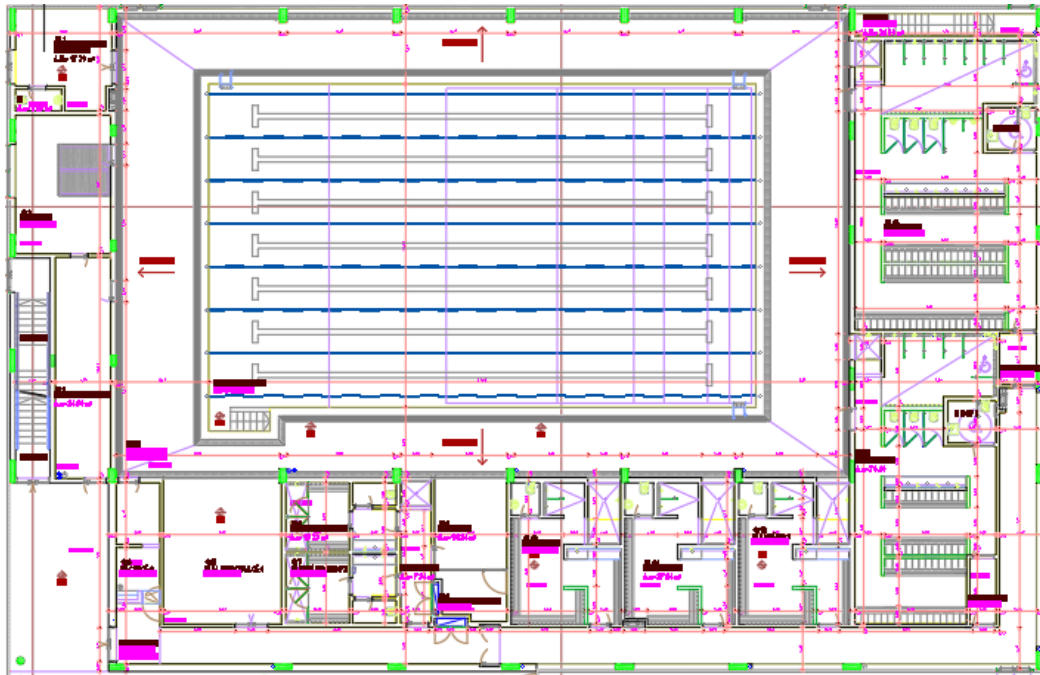


Figura 11 - Planta do Piso 0

As plantas de arquitectura encontram-se no Anexo I.

Sendo o objectivo deste projecto o dimensionamento de um sistema de climatização que garanta as condições de conforto dos ocupantes das diversas divisões, é necessário determinar em primeiro lugar as cargas térmicas sensíveis e latentes dos diversos espaços. Recorreu-se ao *software* HAP para o cálculo destes parâmetros.

O *software* HAP é um *software* de cálculo matemático, contendo diversos conceitos termodinâmicos, permitindo realizar uma simulação para cálculo de cargas térmicas, apoio de dimensionamento de sistemas de AVAC e análise de consumos energéticos.

O primeiro passo passa por simular o perfil climático mais adequado à localização do edifício, de modo a simular as condições exteriores ao edifício. Por definição, o *software* já dispõe do perfil climático de inúmeras cidades mundiais. Contudo, existem diferenças consideráveis no perfil climático de cidade para cidade devido a inúmeros factores, tais como: variação de altitude, existência de lagos ou rios, concentração de vegetação, etc. Por esta razão, deverá de ser realizado um ajuste ao perfil climático já existente do HAP para o local do projecto. Neste sentido, seleccionou-se a cidade geograficamente mais próxima da localização do edifício, definida no *software*, o que neste caso será Lisboa, na zona da Sacavém, local onde se situa o edifício em estudo.

Um conjunto de parâmetros é automaticamente definido, contudo teremos de adaptá-los ao nosso local:

- Latitude: 38°47'N, no HAP utiliza-se um valor decimal e neste sentido foi colocado o valor de 38,8° na latitude;
- Longitude: 9°05'N, realizando a conversão para colocar no HAP, obteve-se o valor de 9,1° de longitude;
- Altitude: 3,0 metros.

Para a definição das condições exteriores de projecto, consultaram-se as tabelas com probabilidades acumuladas de ocorrência, que permitem definir as temperaturas secas de projecto de Inverno e Verão e as correspondentes amplitudes térmicas de cada estação (MENDES, J. Casimiro; GUERREIRO, M. Rita; SANTOS, Pina dos; Click para download do currículo. PAIVA, 1995). Obteve-se os seguintes valores de temperaturas para a região de Lisboa/Portela.

- Temperatura seca de Verão: 31,4 °C;
- Temperatura húmida de Verão correspondente: 21,2 °C;
- Amplitude térmica diária de Verão: 11 °C;
- Temperatura seca de Inverno: 4,4 °C;
- Temperatura húmida de Inverno correspondente: 3,7 °C;

No menu *Design Parameters* do *software* HAP existem três parâmetros: *atmospheric clearness*, *average ground reflectance* e *soil conductivity*.

O parâmetro “*atmospheric clearness*” é um factor de correcção da densidade do céu devido à existência de nuvens e de claridade solar. Este factor é usualmente calculado através de métodos da *ASHRAE*. Usou-se o valor médio predefinido para a região de Lisboa de 1,0.

O parâmetro “*average ground reflectance*” é um parâmetro que define a quantidade de radiação que é reflectida pelas superfícies circundantes do edifício de projecto. A Tabela 1 define este factor consoante o tipo de superfície. Por defeito será assumido o valor de 0,2.

Tabela 1 - Valores de índice de reflectância da radiação em diferentes tipos de solo (Carrier, n.d.)

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

De forma a complementar a caracterização do perfil climático é necessário caracterizar o que acontece a nível das condições do ar exterior a todas as horas de cada dia de cada mês, ao longo de todo o ano. Para determinação deste perfil, foi tido como base de valores uma tabela fornecida pelo Instituto Português do Mar e da Atmosfera (IPMA) referente a valores medido entre 1970 e 1980. A referida tabela encontra-se no Anexo II. Esta tabela apresenta-nos valores médios de temperatura e humidade relativa às 9h e às 18h. Com recurso ao diagrama psicrométrico, verifica-se em qual das situações de verifica uma humidade específica mais elevada, para se obter a situação mais desfavorável. Com este valor de humidade específica, definem-se novos pontos máximos e mínimos, com base na temperatura máxima e mínima em cada mês do ano.

São estes dois últimos pontos definidos que foram introduzidos no menu *Design Temperatures* do HAP. Com base nestes valores máximos e mínimos, o próprio HAP realiza uma interacção automática para definir os valores de temperatura nas diversas horas do dia para cada mês.

Realizou-se este passo para todos os meses do ano, excepto para Setembro, tendo-se considerado as condições de projecto de Verão definidas no menu *Design Parameters*. Este facto deve-se ao mês de Setembro ter sido considerado como o mês de projecto, pois é o mês que regista a temperatura de pico máxima em todo o ano. Os valores obtidos estão descritos na Tabela 2.

Tabela 2 - Perfil climático para todo o ano, HAP

	Temperatura bolbo seco		Temperatura bolbo húmido	
	Max	Min	Max	Min
Jan	14,4	6,8	10,6	6,8
Fev	15,8	8,4	11,8	8,4
Mar	16,9	8,5	12,2	8,5
Abr	19,3	10,4	14,1	10,4
Mai	21,0	11,6	15,2	11,6
Jun	24,9	14,4	18,3	14,4
Jul	28,0	16,5	20,4	16,5
Ago	28,3	16,7	20,6	16,7
Set	-	-	-	-
Out	22,4	12,9	17,0	12,9
Nov	18,1	9,0	13,5	9,0
Dez	15,1	7,0	11,0	7,0

O terceiro passo consistiu na definição de factores de correcção para a radiação solar. Para o cálculo desses factores de correcção de cada mês utilizam-se os valores extraídos do HAP referentes ao perfil solar, onde se encontra o perfil de ganhos médios totais de radiação solar para cada mês, em cada hora do dia.

Na Tabela 3 encontra-se o exemplo de uma tabela do ganho de radiação total para o mês de Setembro.

Na Tabela 4 apresentam-se os factores de correcção de radiação solar calculados.

Tabela 3 - Tabela de ganho de radiação no mês de Setembro - HAP

Design Total Solar Heat Gains for September

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

Hour	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	
0000	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
0100	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
0200	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
0300	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
0400	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
0500	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
0600	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
0700	29,7	90,0	275,0	408,9	476,5	472,1	394,6	253,1	
0800	53,8	63,0	280,2	510,1	653,1	695,0	631,1	469,8	
0900	72,2	75,0	152,0	416,5	614,9	717,0	710,3	596,2	
1000	85,4	85,4	91,0	225,6	465,8	626,2	690,0	651,2	
1100	93,3	93,3	93,3	100,2	241,3	454,9	594,0	640,8	
1200	95,9	95,9	95,9	95,9	102,8	233,2	437,5	573,1	
1300	93,1	93,1	93,1	93,1	93,1	99,5	229,2	445,6	
1400	84,8	84,8	84,8	84,8	84,8	84,8	93,6	278,6	
1500	71,4	71,4	71,4	71,4	71,4	71,4	73,1	120,5	
1600	52,7	52,7	52,7	52,7	52,7	52,7	52,7	57,1	
1700	28,1	26,8	26,8	26,8	26,8	26,8	26,8	26,8	
1800	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
1900	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
2000	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
2100	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
2200	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
2300	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
Hour	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	HOR
0000	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0100	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0200	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0300	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0400	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0500	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0600	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0700	68,8	28,3	28,3	28,3	28,3	28,3	28,3	28,3	86,7
0800	223,5	58,4	53,8	53,8	53,8	53,8	53,8	53,8	270,5
0900	386,4	126,8	74,2	72,2	72,2	72,2	72,2	72,2	448,8
1000	514,2	287,4	96,1	85,4	85,4	85,4	85,4	85,4	582,7
1100	593,0	453,0	239,1	100,1	93,3	93,3	93,3	93,3	665,9
1200	618,9	573,1	437,5	233,2	102,8	95,9	95,9	95,9	693,5
1300	590,3	642,8	600,3	465,2	252,7	100,7	93,1	93,1	663,1
1400	508,9	650,0	692,9	632,7	475,4	235,6	90,8	84,8	577,1
1500	379,0	591,7	709,0	719,0	619,8	424,2	158,6	74,3	440,9
1600	215,0	461,4	623,8	689,7	650,8	510,9	284,7	63,6	260,8
1700	62,6	239,0	376,1	452,0	457,6	394,4	267,1	89,7	79,1
1800	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1900	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2000	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2100	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2200	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2300	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Tabela 4 - Factores de correcção de radiação solar

Mês	Factores de Correção
Janeiro	0,84
Fevereiro	0,74
Março	0,88
Abril	0,96
Mai	1,05
Junho	1,06
Julho	1,2
Agosto	1,21
Setembro	1,12
Outubro	1,08
Novembro	1,05
Dezembro	1,04

Desta forma, o perfil climático do local do edifício está totalmente caracterizado, sendo possível passar para o cálculo das cargas térmicas dos diferentes espaços do edifício.

3.2.A caracterização dos espaços do edifício

Esta segunda etapa do projecto consiste na caracterização de cada um dos espaços do edifício em estudo. Conforme já abordado no capítulo 2.1, esta caracterização tem como objectivo o balanço térmico individual de cada uma das salas, ou seja, saber que carga térmica terá de ser retirada ou colocada em cada sala que se pretende climatizar. É necessário saber a constituição das suas envolventes, equipamentos existentes, a sua actividade e número de pessoas, entre outros.

A sequência da caracterização dos espaços realizada foi a seguinte:

- Cálculo dos coeficientes globais de transmissão térmica de todas as envolventes opacas interiores e exteriores do edifício;
- Cálculo dos coeficientes globais de transmissão térmica de todos os vãos interiores e exteriores do edifício;
- Caracterização dos horários de ocupação, iluminação e de equipamentos do edifício;
- Cálculo dos caudais de Ar Novo para cada espaço, consoante a sua ocupação e área, através da legislação e normas em vigor;

3.2.1. Coeficientes globais de transmissão térmica

Num projecto de climatização, a caracterização das envolventes dos espaços é de extrema importância, por forma a prever a quantidade de carga térmica que é transmitida através delas.

O parâmetro que caracteriza a potência térmica que atravessa as envolventes é o coeficiente global de transmissão térmica, que para cada envolvente é calculado através da equação (1):

$$U_{global} = \frac{1}{R_{interior} + R_{camada1} + R_{camada2} + \dots + R_{camada_n} + R_{exterior}} \quad (1)$$

Onde,

U – Coeficiente global de transmissão térmica [W/m²K];

$R_{interior}$ – Resistência de convecção interior [m²K/W];

R_{camada} – Resistência de convecção de cada camada integrante da envolvente [m²K/W];

$R_{exterior}$ – resistência de convecção exterior [m².K/W];

O cálculo das resistências envolvidas na equação do coeficiente global térmica é efectuado pela equação (2).

$$R_{camada} = \frac{e}{\lambda} \quad (2)$$

Onde,

R_{camada} – resistência de convecção de cada camada integrante da envolvente [m²K/W];

e – Espessura da camada [m];

λ – Condutibilidade térmica de cada material [W/mK].

Os valores de condutibilidade térmica podem ser obtidos pelo fabricante do material, ou podem ser consultados no livro disponibilizado pelo Laboratório Nacional de Engenharia Civil (Santos & Matias, 2006).

Foi considerada a constituição para as paredes, pavimentos e coberturas do edifício, conforme apresentado na Tabela 5, Tabela 6 e Tabela 7. A localização e disposição das diferentes envolventes está exposta nas Plantas de Arquitectura, no Anexo I.

Tabela 5 - Constituição das coberturas do edifício

Elemento de Camada	e (m)	λ (W/m.K)	R (m ² .K/W)	U (W/m ² .K)
Cobertura Piscina				
Resistência Interior	-	-	0,100	0,575
Espuma poliuretano projectado	0,08	0,05	1,600	
Chapa alumínio	0,002	204,00	0,000	
Resistência Exterior	-	-	0,040	
Cobertura balneários e gabinetes				
Resistência Interior	-	-	0,100	0,506
Laje em betão armado	0,18	1,65	0,109	
Camada de forma	0,15	1,30	0,115	
Sistema de impermeabilização IMPERALUM	0,05	0,045	1,111	
Membrana de betume polímero APP de 4,0 KG/M ² , armada com armadura de poliéster com 150GR/M ² , protegida a polietileno na face inferior e auto-protegida com granulado mineral na face superior, tipo POLYXIS R 40 C	0,02	0,04	0,500	
Resistência Exterior	-	-	0,040	

Tabela 6- Constituição dos pavimentos do edifício

Pavimento Balneários				
Resistência Interior	-	-	0,100	0,700
Azulejo	0,010	0,60	0,017	
Camada de forma	0,15	1,30	0,115	
Sistema de impermeabilização IMPERALUM	0,05	0,045	1,111	
Laje em betão armado	0,14	1,650	0,085	
Pavimento Corredor e Gabinetes				
Resistência Interior	-	-	0,100	0,570
Pavimento em vinílico	0,005	0,01	0,500	
Argamassa de assentamento	0,004	1,30	0,003	
Sistema de impermeabilização IMPERALUM	0,050	0,05	1,111	
Laje em betão armado	0,050	1,65	0,030	
Estuque projectado e pintado a branco	0,004	0,43	0,009	

Tabela 7 - Constituição das paredes do edifício

Parede exterior A				
Resistência Interior	-	-	0,130	1,195
Revestimento exterior - Tijolo de vidro	0,08		0,667	
Resistência Exterior	-	-	0,040	
Parede exterior B				
Resistência Interior	-	-	0,130	0,687
Revestimento interior - Reboco	0,01	1,300	0,008	
Pano de alvenaria - Tijolo cerâmico furado	0,15	-	0,390	
Revestimento exterior - Bloco de aglomerado de cortiça	0,04	0,045	0,889	
Resistência Exterior	-	-	0,040	
Parede exterior C				
Resistência Interior	-	-	0,130	0,957
Revestimento interior - Reboco	0,01	1,300	0,008	
Pano de alvenaria - Tijolo cerâmico furado	0,15	-	0,390	
XPS (Poliestireno expandido extrudido)	0,015	0,037	0,390	
Revestimento exterior - Betão descofrado aparente	0,04	0,46	0,087	
Resistência Exterior	-	-	0,040	
Parede exterior D				
Resistência Interior	-	-	0,130	1,012
Revestimento interior - Reboco	0,01	1,300	0,008	
Pano de alvenaria - Tijolo cerâmico furado	0,15	-	0,390	
XPS (Poliestireno expandido extrudido)	0,015	0,037	0,390	
Revestimento exterior - Reboco e pintura a cor branca	0,04	1,30	0,031	
Resistência Exterior	-	-	0,040	
Parede interior				
Resistência Interior	-	-	0,130	1,503
Revestimento interior - Reboco	0,01	1,3	0,008	
Pano de alvenaria - Tijolo de 150mm	0,15	-	0,390	
Revestimento interior - Reboco	0,01	1,3	0,008	
Resistência interior	-	-	0,130	

3.2.2. Caudais de Ar Novo

Para o cálculo dos caudais de ar novo necessários para cada espaço do edifício recorreu-se a uma folha de cálculo que integra parâmetros de selecção com base na legislação em vigor actual (*Regulamento de Desempenho Energético Dos Edifícios de Comércio e Serviços, Decreto Lei Nº 118/2013, n.d.*).

As normas ponderam a área do espaço, a sua ocupação e tipo de actividade. Os valores obtidos para cada um dos espaços encontram-se no Anexo III e para o desenvolvimento do projecto foi considerado o maior caudal entre as duas normas.

No edifício nem todos os espaços necessitam de climatização e/ou de ar novo. Consideraram-se os seguintes espaços como não climatizados:

- G.1.2 – Instalações sanitárias – posto de socorro;
- G.2 – Arrumos;
- G.3 – Arrumos limpeza;
- G.13.2 – Circulação balneários 2;
- G.14.2 – Circulação balneários 1;
- G.17 – Área técnica.

Nos parâmetros gerais inseriu-se a área e pé direito da sala, bem como o peso específico médio do edifício. Optou-se por considerar um valor médio para este mesmo parâmetro.

Neste separador coloca-se também os requisitos mínimos de ar novo calculados anteriormente. Colocou-se o caudal de ar novo total, conforme demonstrado na Figura 12, para um dos espaços do edifício.

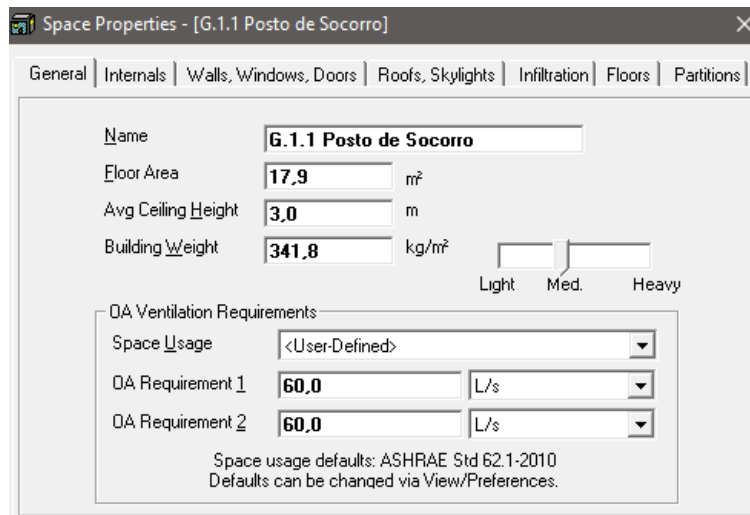


Figura 12 - Parâmetros gerais – Spaces HAP

3.2.3. Cargas térmicas internas

Foi enumerado no capítulo 2.1 quais as diversas cargas térmicas que influenciam o ganho/perda para o edifício e seus espaços. Seguidamente, serão abordadas as que são aplicáveis no presente projecto.

As salas do edifício vão ganhando carga térmica ao longo do dia através dos equipamentos, iluminação e das pessoas. Contudo este ganho térmico não é constante durante todo o dia. Para tal são definidos horários para cada um destes tipos de origem de carga térmica.

Qualquer equipamento eléctrico dissipa potência térmica para o ambiente, por isso, é de extrema importância e fundamental calcular esta carga térmica extra que vai ser libertada em cada espaço climatizado, conforme enumerado na Tabela 8.

Tabela 8 - Equipamentos afectos a cada espaço

N.º da Sala	Designação	Área útil (m²)	Densidade de iluminação	Carga térmica iluminação	Alimentação a Equipamentos		Carga (W)
					Nome	Potência (W)	
G.1.1	Posto de socorro	17,9	11	196,9	PC Desktop	77	142
					Monitor	36	
					Medidor de tensão	29	
G.1.2	Instalações sanitárias - posto socorro	2,1	10	21,0	-	0	0
G.2	Arrumos	28,0	3	84,0	-	0	0
G.3	Arrumos Limpeza	25,9	3	77,7	-	0	0
G.4	Recepção	11,0	12	132,0	PC Desktop	77	413
					Monitor	36	
					SADI	100	
					SADIR	100	
					CCTV	100	
G.5	Sala musculação	36,7	15	550,5	Passadeira	150	880
					Passadeira	150	
					Passadeira	150	
					Passadeira	150	
					Bicicleta elíptica	50	
					Bicicleta elíptica	50	
					Monitor	90	
					Monitor	90	
G.6	Balneário Professor 1	16,2	6	97,2	Secador	700	700
G.7	Balneário Professor 2	15,5	6	92,7	Secador	700	700
G.8	Sala Professor	14,3	12	171,0	PC Desktop	77	113
					Monitor	36	
G.9.1	Gabinete Coordenador	7,4	12	88,8	PC Desktop	77	113
					Monitor	36	
G.9.2	Circulação professores	7,4	5	36,8	-	0	0
G.10	Balneários 5	27,5	6	165,0	Secador	700	1 400
					Secador	700	
G.11	Balneários 4	27,2	6	162,9	Secador	700	1 400
					Secador	700	
G.12	Balneários 3	27,8	6	166,8	Secador	700	1 400
					Secador	700	
G.13.1	Balneários 2	76,4	6	458,4	Secador	700	2 800
					Secador	700	
					Secador	700	
					Secador	700	
G.13.2	Circulação balneários 2	3,7	5	18,3	-	0	0
G.14.1	Balneários 1	104,3	6	625,5	Secador	700	2 100
					Secador	700	
					Secador	700	
G.14.2	Circulação balneários 1	4,0	5	20,0	-	0	0
G.15	Piscina	728,0	15	10920,0	-	0	0
G.16	Circulação geral	92,6	5	463,0	-	0	0
G.17	Área técnica (extracção)	362,3	9	3260,5	-	0	0

Estando ainda numa fase de projecto, é desconhecida a iluminação que será utilizada em cada espaço, contudo existem valores recomendados de densidade de iluminação (W/m^2) consoante a actividade do espaço (ASHRAE, 2007a). Para a carga de iluminação bastou apenas multiplicar a densidade de iluminação pela área de cada espaço, obtendo assim uma estimativa da carga térmica dissipada para a iluminação.

No que se refere aos equipamentos, foram considerados conforme o tipo de actividade de cada sala, pois o dono de obra não forneceu esta informação detalhada ao projectista. Para cada equipamento foi obtida a potência térmica dissipada. Em componentes desta natureza, utilizam-se três coeficientes para corrigir a carga térmica que na realidade vai permanecer e aquecer o ar ambiente:

- Coeficiente de potência: É definido como o quociente entre a potência útil e a potência instalada. Todos os equipamentos dispõem de uma potência instalada superior à potência realmente utilizada (útil), pelo que a carga térmica relativa ao funcionamento desses equipamentos corresponde a esta última;
- Coeficiente de extracção: Em determinadas salas laboratoriais existem campânulas de extracção de ar que vão funcionar como um meio de extracção não só do ar, mas também do calor que ele contém;
- Coeficiente de simultaneidade: Nem sempre todos os equipamentos estão ligados em simultâneo, logo a carga real vai ser inferior à carga total dissipada dos equipamentos, sendo necessário mais esta correcção.

Todos estes cálculos e informações está descrita no Anexo IV.

De forma a quantificar a carga térmica interna obtida durante o dia é necessário estipular o horário de funcionamento de cada um dos parâmetros que influencie esta carga térmica. Sendo, o caso de estudo um edifício escolar com uma piscina que apenas é utilizada num período de aulas diurno e em dias úteis.

Para o horário de ocupação definiu-se três períodos:

- Dias de semana normais;
- Dias de semana em férias escolares (para as actividades extracurriculares de Verão);
- Fins-de-semana;

No HAP foi definido um horário (Schedule, no HAP) de ocupação com essa definição.

No horário da iluminação e dos equipamentos foi considerado 100% em todas as horas de funcionamento do edifício, excepto das 21h às 7h, pois estes componentes quando se ligam têm uma carga fixa a 100%.

Com todos os elementos essenciais para a caracterização dos espaços calculados, estes foram introduzidos no HAP em cada espaço e em cada um dos parâmetros as potências envolvidas e os respectivos horários, conforme evidenciado na Figura 13.

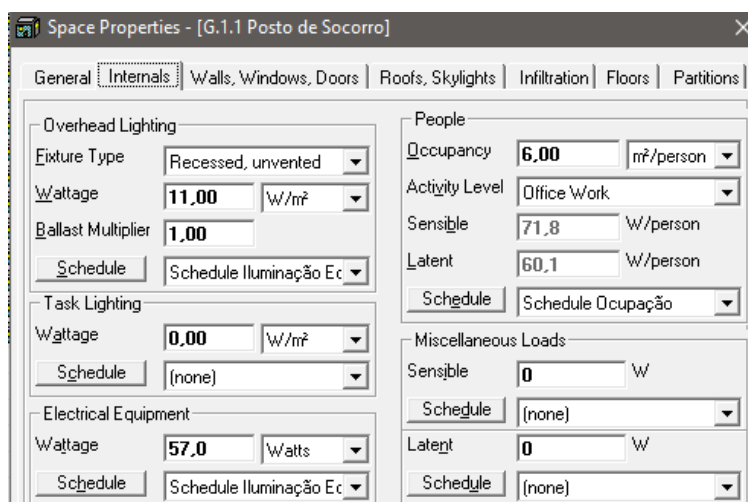


Figura 13 - Cargas de ocupação e de equipamentos no HAP

3.2.4. Carga térmica devida à evaporação da piscina

Neste projecto em concreto, foi necessário considerar mais um ganho térmico que não é calculado na maioria dos projectos e edifícios. Foi necessário calcular a taxa de evaporação da água da piscina. Devido à elevada quantidade de água e à sua elevada temperatura, a água tende a evaporar, aumentando a humidade específica do ambiente, criando a necessidade de compensar este ganho térmico latente.

Estes ganhos térmicos por evaporação foram calculados através da Norma Portuguesa 4448/2007.

Para piscinas interiores, o ganho térmico por evaporação é calculado através da equação (3):

$$q_e = (5,64 + 5,96v_s)(P_w - P_{enc}) \quad (3)$$

Onde,

q_e - perdas térmicas por evaporação [MJ/m²d];

P_{enc} - pressão de vapor saturado no ar circundante da piscina [kPa];

P_w - pressão de vapor saturado à temperatura da água da piscina, t_w , [kPa];

v_s - velocidade do ar à superfície da piscina, com valores tipicamente entre os 0,02 m/s e os 0,05 m/s. Considerou-se uma velocidade de 0,02 m/s devido a piscina ser coberta e não estar exposta a ventos exteriores.

As pressões de vapor foram calculadas com base de uma tabela água-vapor com dados relativos às propriedades da água saturada, Anexo V (Coelho, 2017). Para o efeito foram consideradas, as seguintes temperaturas:

- temperatura do ar ambiente da piscina - $T_{enc} = 30 \text{ }^\circ\text{C}$;
- temperatura da água da piscina - $T_w = 27 \text{ }^\circ\text{C}$.

Considerou-se um diferencial de temperatura entre a água da piscina e o ar circundante de 3 °C, por forma a evitar um grande choque térmico.

A pressão atmosférica é igual à soma da pressão parcial de vapor e pressão parcial do ar seco, expressa na equação (4) (Frade, 2006):

$$P = 101,325 \text{ kPa} = P_a + P_v \quad (4)$$

Onde,

P - Pressão atmosférica [kPa];

P_a - Pressão parcial do ar seco [kPa];

P_v - Pressão parcial de vapor [kPa].

Sabe-se também que a pressão de vapor pode ser definida pela seguinte expressão, que considera a humidade relativa e a pressão de saturação, conforme equação (5) (Frade, 2006):

$$\varphi = \frac{P_v}{P_s} \times 100 \quad (5)$$

Onde,

φ – Humidade relativa [%]

P_s – Pressão de saturação [kPa]

Para o cálculo da pressão de vapor à temperatura do ar ambiente, considerou-se a temperatura de projecto de 27 °C e uma humidade relativa de 70%.

Da tabela de propriedades da água saturada, retira-se o valor da pressão de saturação, através de uma interpolação linear. A pressão de vapor à temperatura da água da piscina é calculada considerando que a humidade relativa é de 100%, o que significa que a pressão de saturação é igual à pressão de vapor, tendo-se obtido o valor de 4,2446 kPa. Assim sendo, a carga térmica de evaporação da piscina foi de 43,14 kW, conforme demonstrado na equação (6):

$$q_e = (5,64 + 5,96v_s)(P_w - P_{enc}) \Leftrightarrow \quad (6)$$

$$\Leftrightarrow q_e = (5,64 + 5,96 \times 0,02) \times (2,52 - 4,246) \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow q_e = 9,94 \text{ MJ}/\text{m}^2 \cdot \text{d} \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow q_e = \frac{9,94 \times A_{piscina}}{24(h) \times 60(min) \times 60(seg)} = \frac{9,94 \times 375 \times 10^3}{86400} = 43,14 \text{ kW}$$

3.2.5. Cargas térmicas externas

Conforme abordado no capítulo 2.1, é também essencial o cálculo das cargas térmicas de origem exterior ao edifício. Para tal é fundamental a definição das fronteiras de cada espaço do edifício, ou seja, das paredes, tectos e pavimentos. A definição de cada fronteira e o respectivo cálculo do coeficiente global de transmissão térmica foi explicado e evidenciado no capítulo 3.2.1. É possível averiguar quais as envolventes dos diversos espaços nas plantas de arquitectura do Anexo I.

O separador que se segue apresenta as envolventes verticais que estão expostas ao exterior do edifício. A indicação da orientação dessa envolvente é fulcral. Coloca-se a parede correspondente e janelas e portas existentes nessa superfície. É também neste campo que é possível associar a cada janela um factor de sombreamento. Após a inserção de janelas e portas, indica-se a área total da superfície, e o próprio software calcula automaticamente a área real de parede, subtraindo a área das janelas e das portas que já foram introduzidas aquando da sua caracterização.

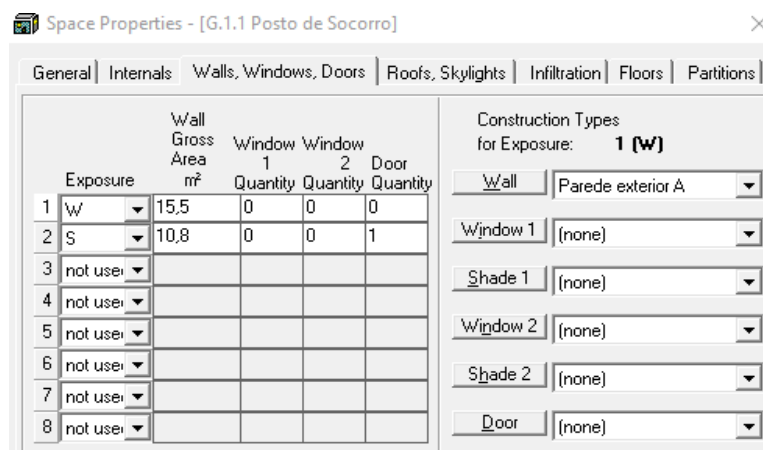


Figura 14 – Figura demonstrativa final da caracterização de cada espaço no HAP

É no separador *Roofs, Skylights* que se introduz as coberturas já caracterizadas no capítulo 3.2.1, conforme exposto na Figura 15.

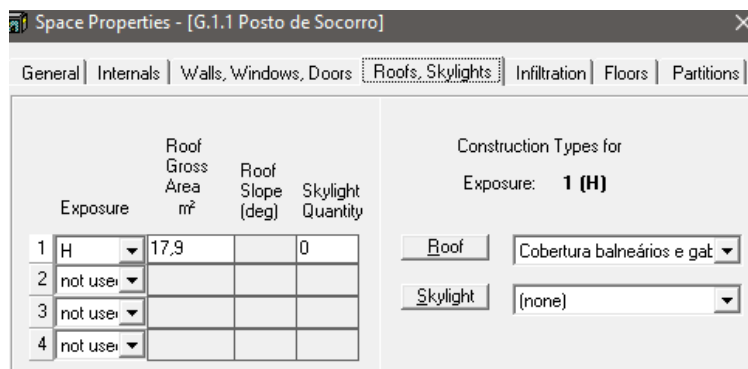


Figura 15 - Cobertura - Spaces HAP

O valor do coeficiente global de transmissão térmica do pavimento é inserido manualmente no separador *Floors*. É também contabilizado e necessário definir o perímetro do(s) lado(s) da sala que estão em contacto com o exterior, pois ocorrerá transmissão térmica do solo exterior que está com carga térmica acumulada.

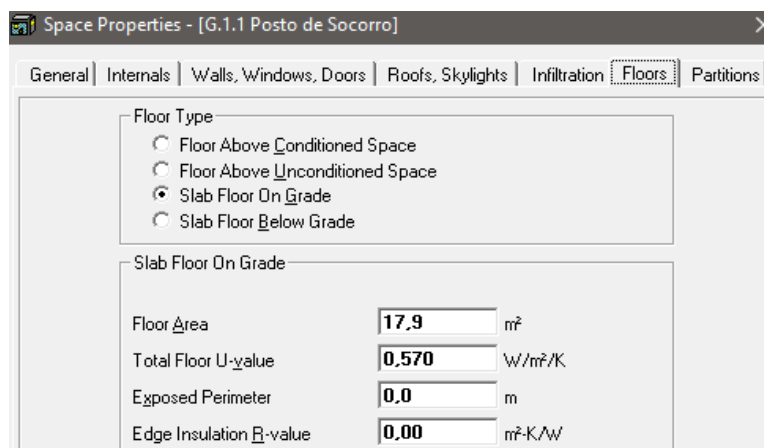


Figura 16 - Pavimento - Spaces HAP

Nem todas as salas do edifício estão climatizadas, logo estas salas vão estar ou mais quentes ou frias do que os espaços climatizados, esta transferência de calor adicional é também necessário contabilizar.

Existem espaços que não se encontram à mesma temperatura que o espaço a caracterizar por dois motivos: diferentes temperaturas ambientes para espaços climatizados, ou para situação em que o espaço adjacente não é climatizado e que por sua vez a sua temperatura ambiente é influenciada pela temperatura exterior.

O software HAP permite apoiar neste cálculo, sendo que para tal apenas é necessário fornecer as temperaturas de pico (Verão e Inverno) e as temperaturas do espaço

adjacente. Entre estes valores, o HAP cria uma iteração linear para determinar a carga térmica transmitida ao longo do ano.

4. Sistemas

Neste capítulo serão abordadas as diversas soluções escolhidas para climatização dos diversos espaços do edifício. Serão justificadas as razões da escolha e as suas vantagens e desvantagens face a outras soluções possíveis.

4.1. Área técnica do piso -1

No Piso -1, apenas será instalada ventilação forçada por forma a garantir a renovação do ar da área técnica. Trata-se de um espaço técnico sem necessidade de climatização. Como esta área técnica tem dois reservatórios de água abertos de apoio à rede de combate a incêndio, os pontos de extracção serão colocados directamente acima dos reservatórios, garantindo que a humidade originada por evaporação dos tanques não se espalhe pela área técnica. Serão consideradas 3 renovações por hora, conforme recomendação da ASHRAE para áreas técnicas e caves (ASHRAE, 2007b).

Caudal de extracção: $755 \text{ L/s} = 2717 \text{ m}^3/\text{h}$

Para o efeito foi seleccionado o ventilador do catálogo do fabricante Sodeca, modelo CJBD 2525-4M 1/2. Escolhida uma unidade de ventilação centrífuga, enquadrada para gamas industriais, conforme recomendado pelo selector do catálogo. A ficha técnica do equipamento está no Anexo VI.

4.2. Área da Piscina

O espaço da piscina tem características psicrométricas únicas em todo o edifício, bem como condições de ar ambiente obrigatoriamente diferentes. Conforme proposto pela ASHRAE, a temperatura de projecto deve rondar os 29°C e a humidade relativa deve ser inferior a 50%, valores que irão influenciar o processo de dimensionamento do equipamento de climatização deste espaço (ASHRAE, 2007b).

É um espaço que tem uma elevada taxa de evaporação e que tem de ter a temperatura e humidade constantemente controladas ao longo de todo o período de utilização diária. Optou-se por instalar uma Unidade de Tratamento de Ar Novo (UTAN) exclusiva para este espaço, com um grande poder de desumidificação e de expansão directa. A necessidade de desumidificação do espaço vai ser constante, pelo que haverá sempre a

necessidade de arrefecimento do ar de modo a levar o ar abaixo do seu ponto de saturação/orvalho para provocar a sua condensação na bateria de frio e depois será realizado um aquecimento para colocar o ar à temperatura seca desejada. Os processos de climatização descritos estão demonstrados no diagrama psicrométrico da Figura 17. Optou-se por não reaproveitar o ar de retorno, pois se o maior desafio é combater o excesso de humidade nos espaços, não faz sentido reaproveitar essa mesma humidade que é retirada pelo ar de retorno, ou seja, deste modo a necessidade de desumidificação do ar a insuflar é menor.

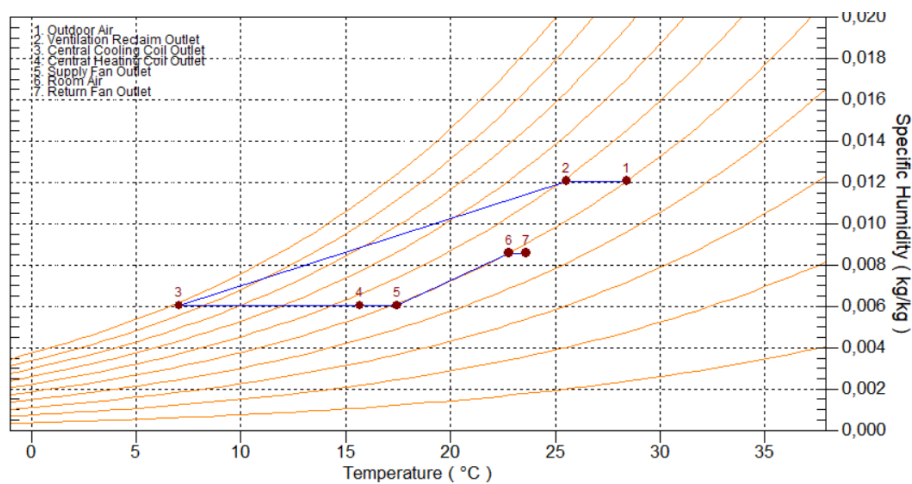


Figura 17 - Exemplo de evolução psicrométrica de desumidificação e posterior aquecimento

Na Figura 17, estão identificados os vários processos que ocorrem no espaço da Piscina numa situação de pico de Verão, onde:

- 1 – Admissão de Ar Novo exterior;
- 1→2 – Aquecimento simples através de recuperação de calor na roda térmica;
- 2→3 – Arrefecimento com desumidificação na bateria de frio;
- 3→4 – Aquecimento simples na bateria de quente;
- 4→5 – Aquecimento resultante da dissipação de calor do motor eléctrico do ventilador de insuflação;
- 5→6 - Evolução na Sala de Musculação com ganhos térmicos sensíveis e latentes;
- 6→7 – Aquecimento resultante da dissipação de calor do motor eléctrico do ventilador de extracção.

Na implementação do sistema no HAP (menu *Systems*, no HAP) foram seguidos os vários separadores do programa, ver Figura 18.

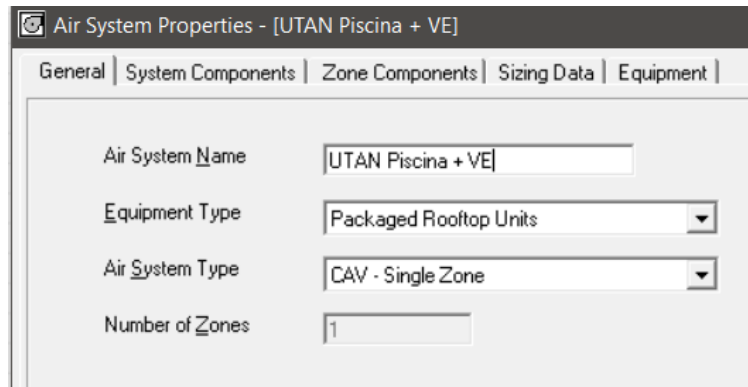


Figura 18 - Separador General do menu *Systems* - UTAN Piscina

No primeiro separador foram definidas as características da UTAN da Piscina. Este equipamento faz apenas uma zona, e considerou-se ser um equipamento a expansão directa, ou seja, com um circuito frigorífico dedicado a esta unidade a garantir o arrefecimento e aquecimento. No módulo da ventilação (*Ventilation Air*, no HAP) considerou-se caudal constante devido ao equipamento servir apenas um espaço do edifício, ver Figura 19.

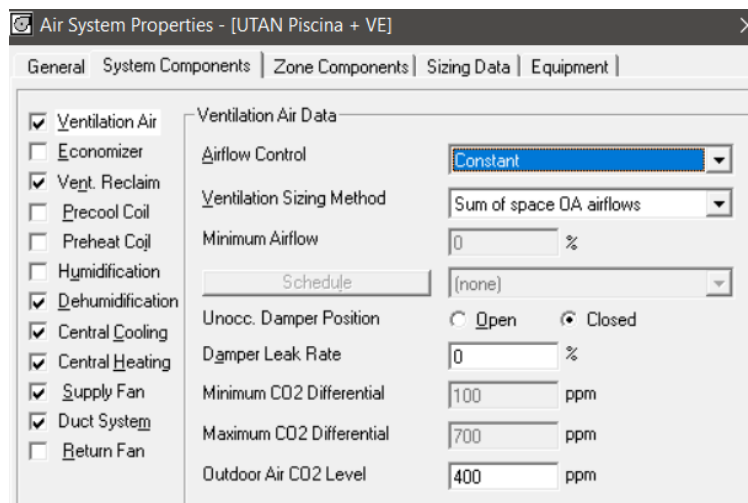


Figura 19 - Módulo *Ventilation Air* - System UTAN Piscina

No módulo de recuperação de calor (*Ventilation Reclaim*) definem-se as características da recuperação de calor.

Existem diversos tipos de recuperadores de calor a instalar em UTAN's (ASHRAE, 2007a):

- Roda térmica – actualmente, são os recuperadores de calor que garantem maior valor percentual de reaproveitamento energético, apesar de existir uma ligeira contaminação entre o ar insuflado e de extracção, o que pode influenciar o ganho de calor latente (ver Figura 20);

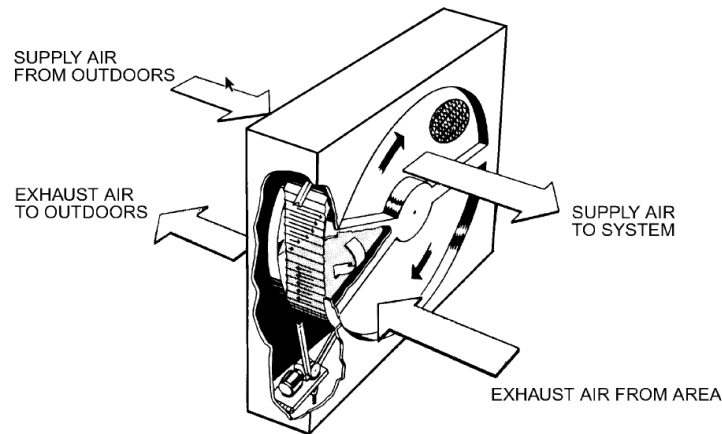


Figura 20 - Recuperador de calor de roda térmica (ASHRAE, 2008)

- Fluxos cruzados – são os recuperadores de calor mais utilizados face ao custo de aquisição dos mesmos, garantindo ainda assim uma eficiência energética considerável. Neste tipo de recuperador de calor, não existe qualquer mistura entre o ar insuflado e extraído, o que garante apenas reaproveitamento de calor sensível (ver Figura 21);

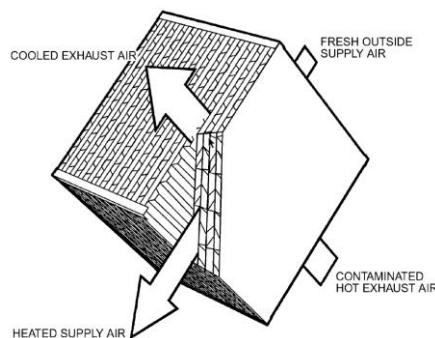


Figura 21 - Recuperador de calor de fluxos cruzados (ASHRAE, 2008)

- Permutador de placas – são os recuperadores de calor menos eficientes, no entanto têm a vantagem de serem instalados em UTAN's que não tenham os dois módulos (insuflação e extracção) juntos por limitações de espaço. O calor é reaproveitado por um circuito fechado de água com circulação forçada por uma bomba hidráulica (ver Figura 22).



Figura 22 - Recuperador de calor por permutador de placas (Sodeca, 2021)

A maioria das rodas térmicas permitem troca de calor sensível e latente, contudo, neste caso não será considerada a troca de calor latente, por se tratar de um valor residual. A eficiência das rodas térmicas ronda os 80-90 %, no entanto este valor será actualizado após a selecção do equipamento, que se encontra no Anexo VII. Os valores de eficiência dos diferentes tipos de recuperador de calor estão demonstrados na Tabela 9 (ASHRAE, 2008).

Tabela 9 - Eficiência energética de diferentes tipos de recuperadores de calor

Tipo de recuperador de calor	Eficiência energética (valores aproximados)
Roda térmica	80 - 90 %
Fluxos cruzados	60 - 0 %
Permutador de placas	50%

No módulo da desumidificação (*Dehumidification*) considerou-se como valor máximo de humidade relativa de 50%, conforme inserido na Figura 23.

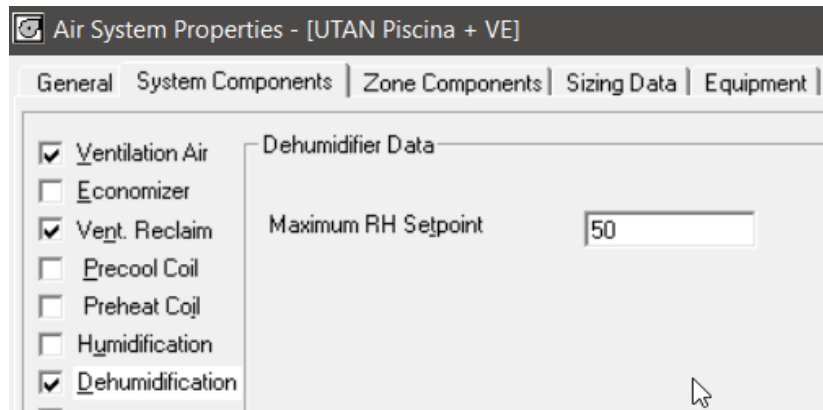


Figura 23 - Módulo Ventilation Air - System UTAN Piscina

No módulo da central de arrefecimento (*Central Cooling*, no HAP) define-se a temperatura de insuflação e os meses do ano em que é necessário arrefecimento. A necessidade de desumidificação é constante e para tal existe uma necessidade permanente de arrefecimento e aquecimento, pelo que os dois módulos serão considerados durante todo o ano pois no período de férias lectivas o complexo escolar é usado para actividades extra de período de férias de Verão, ver Figura 24. Não é aconselhável ter temperaturas de insuflação inferior a 11 °C, pois para valores baixos corre-se o risco de provocar condensação nos difusores, pelo que se considerou um valor de 16 °C, raciocínio aplicado para todos os espaços (Grondzik, 2007).

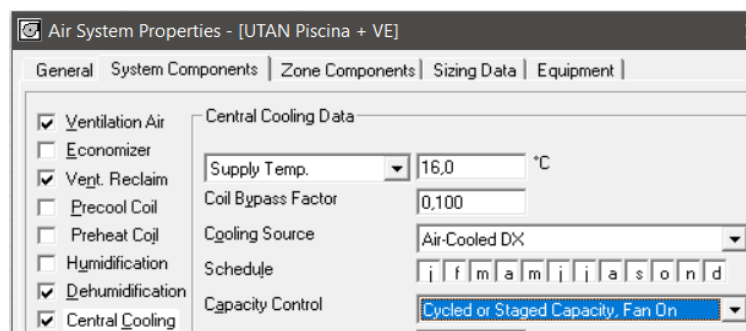


Figura 24 - Módulo Central Cooling - System UTAN Piscina

No módulo da central de aquecimento (*Central Heating*, no HAP) define-se a temperatura de insuflação de 35 °C, e qual o fluido de arrefecimento utilizado, conforme demonstrado na Figura 25. Apesar de a temperatura de insuflação ser definida no valor de 35 °C, a mesma não é limitativa e trata-se apenas de um valor indicativo, ou seja, nas simulações do respectivo sistema o valor varia consoante as condições de ambiente definidas para cada espaço.

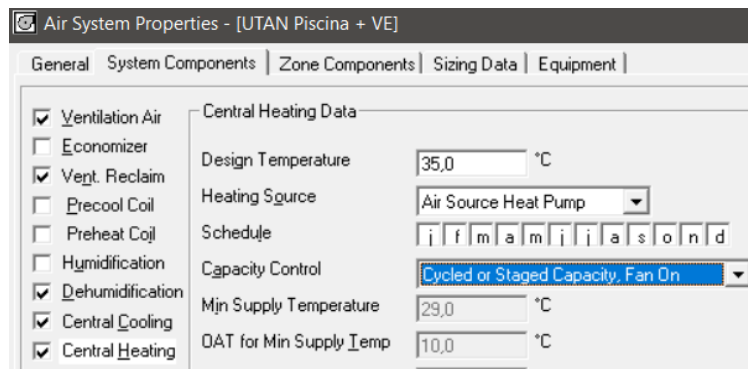


Figura 25 - Módulo Central Heating - System UTAN Piscina

No módulo de caracterização do ventilador (*Supply Fan*, no HAP) parametriza-se o ventilador de insuflação da UTAN, definindo o tipo de ventilador. Optou-se por um ventilador, sem variação de velocidade pois o caudal de insuflação será sempre constante para garantir a taxa de renovação de ar devido à elevada taxa de evaporação da água da piscina e conseqüentemente um elevado ganho térmico latente. Neste módulo é também definido a perda de carga teórica que o ventilador terá de vencer devido ao traçado de condutas e elementos de difusão terminais, totalizando o valor de 1020 Pa (ver Figura 26).

Os valores teóricos recomendados foram retirados da Norma Europeia 13779/2006, e apresentam-se na Tabela 10.

Tabela 10 - Valores teóricos para perdas de carga da rede aerúlica de insuflação

Componente	Perda de carga (Pa)
Condutas e acessórios de insuflação	300
Condutas e acessórios de extracção	200
Bateria de arrefecimento	80
Bateria de aquecimento	140
Recuperador de calor	150
Filtros de ar	150

O valor efectivo da perda de carga da instalação dimensionada será posteriormente calculado para efeitos de selecção dos ventiladores das UTAN's, conforme abordado no capítulo 4.5.

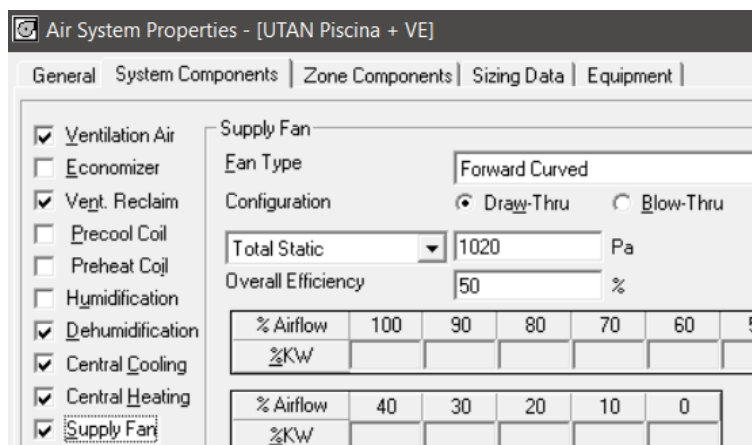


Figura 26 - Módulo Supply Fan - System UTAN Piscina

O módulo do ventilador de extracção (*Return Fan*, no HAP) foi preenchido e caracterizado segundo os mesmos parâmetros que o ventilador de insuflação, apresentados na Tabela 11, obtendo-se 550 Pa de pressão estática. (ver Figura 27).

Tabela 11 - Valores teóricos para perdas de carga da rede aerúlica de extracção

Componente	Perda de carga (Pa)
Condutas e acessórios de insuflação	300
Condutas e acessórios de extracção	200
Filtros de ar	50

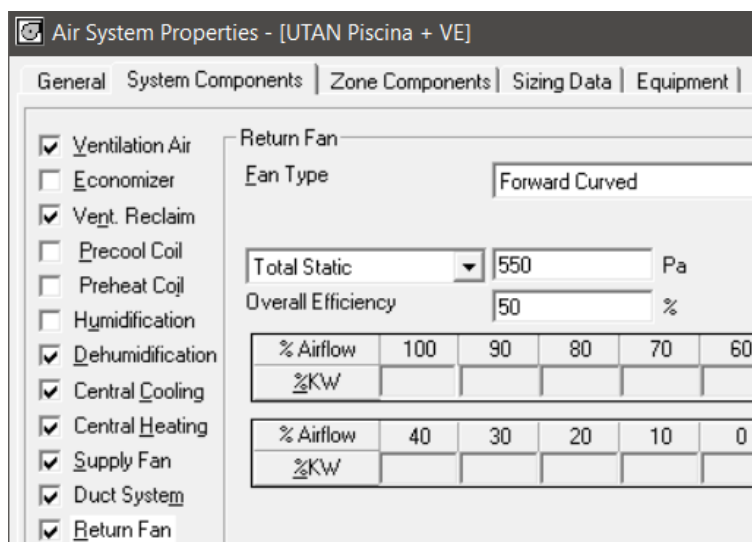


Figura 27 - Módulo Return Fan - System UTAN Piscina

Depois de identificar como será constituído o sistema será necessário identificar as condições de conforto para o espaço a climatizar. Neste sentido, no separador Zone

Componentes do HAP, é definido o set-point dos valores de temperatura de conforto do espaço (ver Figura 28). Estes valores definidos estão apresentados para todos os espaços na tabela do Anexo IV.

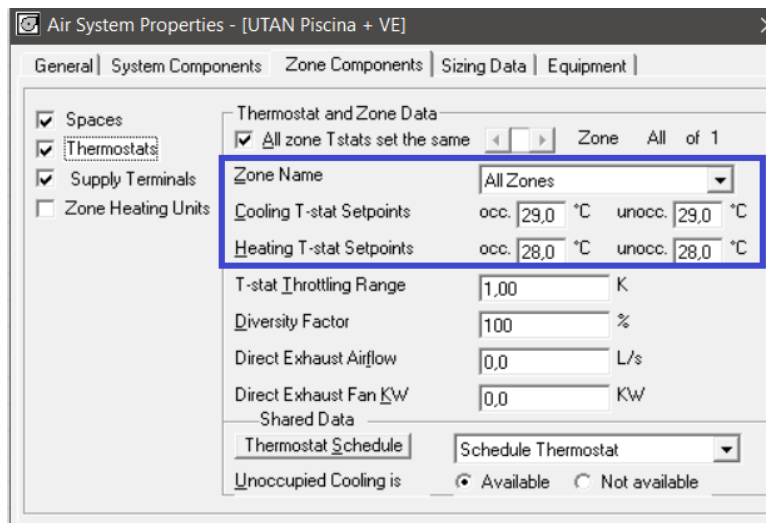


Figura 28 - Separador Zone Components com definição de setpoints de temperatur, UTAN Piscina

No cálculo dos valores da UTAN da Piscina, foram tidas as seguintes considerações conforme proposto no artigo da ASHRAE *Natatorium* (Baxter, 2012):

- Cálculo do ar novo a insuflar no espaço: 2,4 l/s/m²
- 4 renovações de ar / hora

Com base no cálculo e simulação do *software* HAP, é exposto na Tabela 12 os dados a ter em conta para a selecção da UTAN da Piscina.

Tabela 12 - Parâmetros para selecção da UTAN Piscina, software HAP

UTAN Piscina	
Número de zonas	1
Potência de arrefecimento sensível [kW]	76,6
Potência de arrefecimento total [kW]	119
Factor de calor sensível	0,65
Potência de aquecimento [kW]	70
Caudal de ar novo [L/s]	7611
Caudal de extracção [L/s]	7563
Perda de carga ramal insuflação [Pa]	1830
Perda de carga ramal extracção [Pa]	805

Após análise do diagrama psicrométrico da Figura 29 verifica-se que existe muito pouco reaproveitamento energético da roda térmica, pois a temperatura de Ar Novo e de Ar de Retorno são muito próximas, aproximadamente 30 °C. Esta análise poderia levar-nos a concluir que a instalação da roda térmica na UTAN não traria benefício nenhum para a instalação e tornar-se-ia um módulo/equipamento desnecessário. No entanto, realizou-se esta mesma análise psicrométrica para uma situação de pico no Inverno no mês de Janeiro às 08h00, conforme exposto no diagrama psicrométrico da Figura 30.

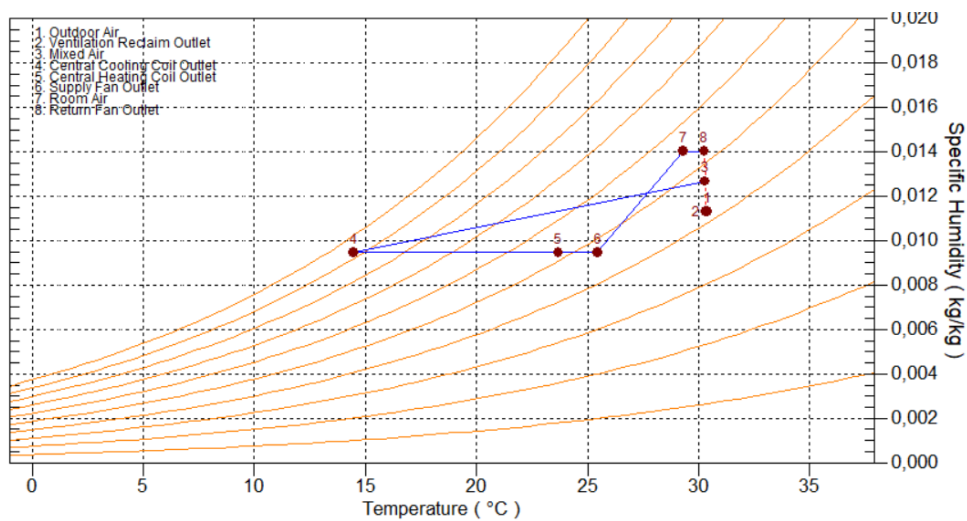


Figura 29 - Diagrama Psicrométrico com as evoluções na UTAN Piscina em situação pico de Verão, software HAP

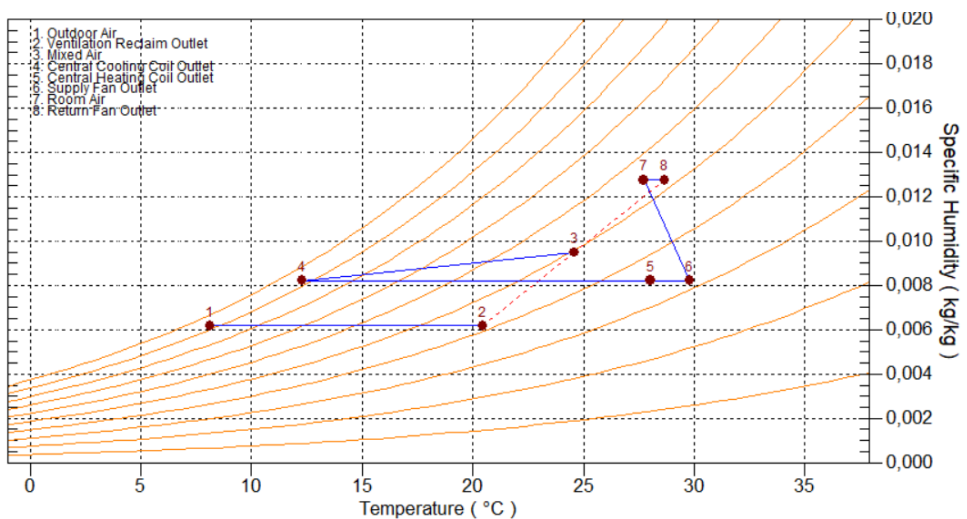


Figura 30 - Diagrama Psicrométrico com as evoluções na UTAN Piscina em situação pico de Inverno, software HAP

Verifica-se que no Inverno a recuperação térmica utilizada, por roda térmica, é vantajosa. Mais de metade da potência necessária para o aquecimento simples é reaproveitada com o Ar de Retorno da Piscina a 30 °C, evolução representada no diagrama psicrométrico da Figura 30 entre os números 2 e 8.

Adicionalmente, é também verificado que, independentemente da época do ano, existe sempre necessidade de desumidificação do ar a insuflar, ou seja, em termos psicrométricos um primeiro processo de arrefecimento com desumidificação e posteriormente um aquecimento. Dada esta particularidade, é oportuno ter uma abordagem de reaproveitamento energético. A UTAN para a Piscina a dimensionar terá um circuito frigorífico a expansão directa independente, de forma a reaproveitar a energia térmica para o processo de aquecimento, em vez de a mesma ser dissipada para o exterior, o circuito está ilustrado na Figura 31, ilustração retirada da brochura do fabricante da UTAN seleccionada.

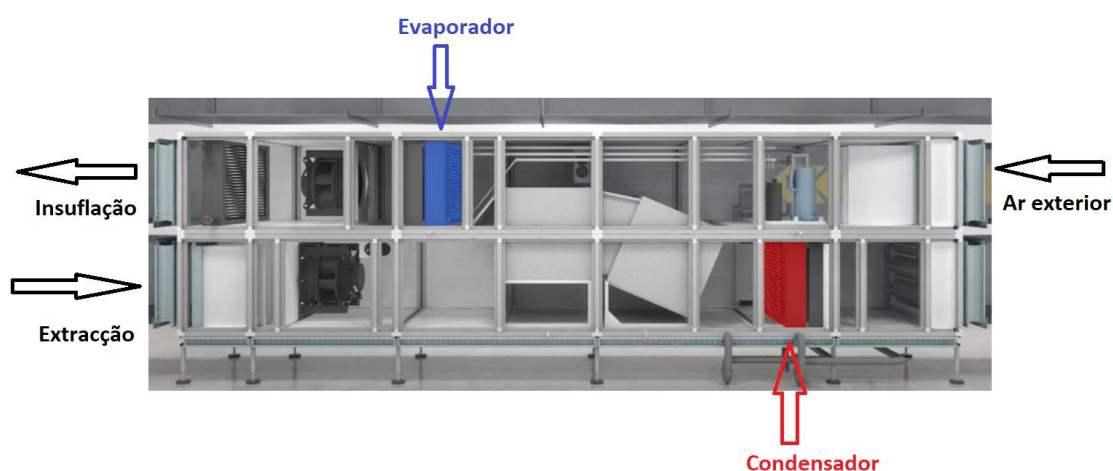


Figura 31 - Circuito frigorífico na UTAN Piscina

Na Figura 32 apresenta-se o circuito dos fluxos de ar na UTAN da Piscina onde se pode verificar um duplo reaproveitamento energético, com a existência de dois permutadores de fluxos cruzados, aumentando deste modo a eficiência global do equipamento. Para o processo de selecção da UTAN da Piscina, optou-se por seguir a concepção do equipamento pelo fabricante. Para as restantes UTAN's a instalar, optou-se por selecção da roda térmica como elemento de recuperação de calor.

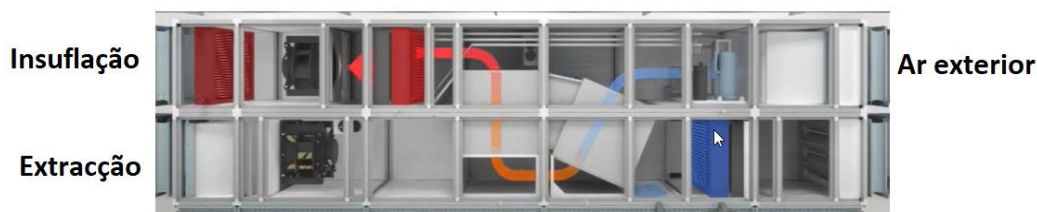


Figura 32 - Circuito dos fluxos de ar evidenciando o reaproveitamento energético na UTAN Piscina

O método de construção do próprio equipamento também permite que com o auxílio de registos de ar motorizados, seja realizado um by-pass ao recuperador de calor, para que não exista recuperação de calor do ar de extracção (ver Figura 33).



Figura 33 - UTAN da Piscina em funcionamento sem recuperação de calor

Os espaços de arrumos não foram simulados no software HAP, pois foram espaços que não se considerou para serem climatizados. Apenas terão ventilação para garantir renovação de ar, através das infiltrações/fugas de ar que advém das salas adjacentes, a respectiva representação está no Anexo XI.

4.3. Gabinetes e salas administrativas

Segundo, a ASHRAE a temperatura e humidade relativa de conforto recomendadas para escritórios e zonas de estar, na generalidade, são 25 °C no Verão e 22 °C no Inverno, e os valores de humidade relativa entre 45% e 50%.

Visto que no edifício apenas existem quatro espaços deste tipo, optou-se por associar unidades *Split's* independentes para cada um dos espaços. Estas unidades irão garantir apenas a climatização do espaço respectivo, sendo que a renovação do ar será abordada mais à frente com outro tipo de sistema.

Os valores de carga térmica (arrefecimento sensível e aquecimento) para as Salas Administrativas apresenta-se na Tabela 13.

Tabela 13 – Cargas térmicas das Salas Administrativas

Descrição	Potência de arrefecimento sensível (kW)	Potência de aquecimento (kW)
Split Sala Professor	0,8	1,4
Split Gabinete Coordenador	0,5	0,7
Split Recepção	1,2	1,4
Split Posto Socorro	1,1	2,2

Com base nestes valores, a respectiva selecção dos equipamentos encontra-se na ficha técnica do Anexo VIII.

No entanto, é necessário também garantir a renovação de ar novo para os ocupantes, para tal optou-se por dimensionar uma Unidade Recuperadora, por forma a garantir a renovação mínima do ar novo necessário para cada espaço. A informação detalhada e individual da necessidade de caudal está apresentada na tabela do Anexo III.

Tabela 14 - Parâmetros para selecção da UR Salas Administrativas, software HAP

UR Salas Administrativas	
Número de zonas	4
Caudal de ar novo (L/s)	714
Caudal de extracção (l/s)	190
Perda de carga no ramal insuflação (Pa)	495
Perda de carga no ramal extracção (Pa)	136

4.4. Balneários

Os balneários são utilizados para troca de roupa e para duches por parte dos utilizadores da piscina, ou seja, os utilizadores estarão na maior parte do tempo em tronco nú e com a pele directamente em contacto com o ar. Por essa razão foi adoptada uma temperatura de 26,7°C (ASHRAE, 2007b). Contudo, se a temperatura estiver mais elevada, não há necessidade imediata de baixar a temperatura. Foram ponderadas duas soluções para estes espaços, que se encontram sistematizadas na Tabela 15:

- Solução I - Utilização de resistências eléctricas nas unidades terminais: Esta solução foi ponderada, pois os balneários têm períodos de utilização curtos e com grande afluência. Dado que existem períodos de aula planeados, a utilização do espaço é por períodos curtos.
- Solução II - Utilização de baterias a água quente produzida através de bomba de calor: Esta solução foi ponderada, por tratar-se de uma solução mais económica e eficiente em termos de exploração.

Tabela 15 - Comparação e análise de soluções para equipamentos de climatização dos balneários

Solução I – Resistências eléctricas		Solução II – Bomba de calor	
Vantagens	Desvantagens	Vantagens	Desvantagens
Custo reduzido na instalação	Custo elevado de exploração, devido ao consumo de energia eléctrica	Custo baixo de exploração, devido à eficiência do equipamento de bomba de calor	Custo mais elevado na concepção e instalação hidráulica
Menor custo de manutenção	Aumento do risco de incêndio	-	-

Uma vez que a restante instalação vai necessitar constantemente de água quente: aquecimento da água da piscina, águas quentes sanitárias e aquecimento em equipamentos de AVAC, optou-se pela solução de Bomba de Calor.

Foram agrupados os balneários consoante a dimensão dos mesmos, indo ao encontro de simultaneidade de utilização (masculino e femininos). A Sala de Musculação será climatizada com um equipamento dedicado.

- Balneários grandes
 - G.14 – Balneário 1
 - G.13 – Balneário 2
- Balneários pequenos
 - G.12 – Balneário 3
 - G.11 – Balneário 4
 - G.10 – Balneário 5
- Balneários professores
 - G.7 – Balneário Professores 1
 - G.6 – Balneário Professores 2

➤ Sala de Musculação

Devido ao regime e horário de utilização idêntico, foi considerada uma unidade de climatização a 4 tubos alimentada pelo *Chiller* e Bomba de Calor para climatizar cada uma das zonas anteriormente descritas, ao contrário da UTAN da Piscina.

Foram considerados ventiladores com possibilidade de variação de frequência para regulação de caudal de insuflação, durante a exploração e condução da instalação. Adicionalmente, escolheu-se instalar uma roda térmica para reaproveitar energia térmica do ar de retorno, pelo elevada eficiência que a mesma garante, para todas as UTAN's em análise, excepto para a UTAN da Piscina.

Com base no cálculo e simulação do software HAP, é exposto na Tabela 16 os dados a ter em conta para a selecção da UTAN's dos balneários e Sala de Musculação.

Tabela 16 - Caracterização das UTANS's dos balneários e da Sala de Musculação

	UTAN Balneários Grandes	UTAN Balneários Pequenos	UTAN Balneários Professores	UTAN Sala Musculação
Número de zonas	2	3	2	1
Potência de arrefecimento sensível (kW)	17,7	7,1	2,3	5,5
Potência de aquecimento (kW)	9,7	9,7	1,2	3
Caudal de ar novo (l/s)	1380	500	180	223
Caudal de extracção (l/s)	1505	689	306	306
Perda de carga no ramal insuflação (Pa)	724,11	472,17	305,98	496,44
Perda de carga no ramal extracção (Pa)	375,55	205,25	155,54	101,15
Caudal de água bateria arrefecimento (l/s)	0,97	0,43	0,13	0,41
Caudal de água bateria aquecimento (l/s)	0,46	0,17	0,06	0,06

4.5. Dimensionamento da rede aerúlica

Para o dimensionamento da rede aerúlica, foram tidos em conta os valores de caudais de ar novo e de extracção já calculados e apresentados na tabela do Anexo IV.

Devido às condições ambientais de determinados espaços (cheiros, humidade e/ou temperatura superior) foi importante realizar um balanço de pressões entre os diversos espaços por forma a controlar as transferências de ar entre espaços, tal como demonstrado na Figura 34 e no Anexo XI com maior detalhe.

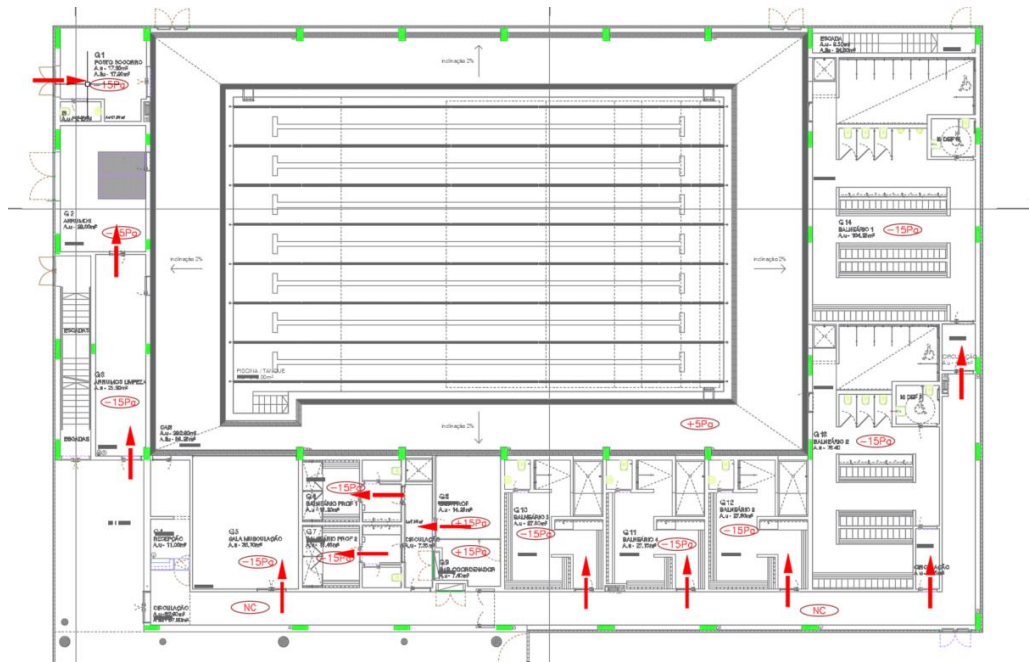


Figura 34 - Diagrama com direcção dos fluxos de ar por infiltração

Os valores de caudal entre divisões são calculados através da (7):

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

Onde,

V – Caudal volúmico de ar [m³/s];

A – Área de passagem [m];

α - Coeficiente de descarga [n.a.];

ΔP – Diferencial de pressão [Pa];

v – Volume específico [m³/kg].

As UTAN's serão colocadas no terraço do Piso 1, mesmo por cima dos balneários e as condutas de ar serão encaminhadas directamente para os respectivos espaços.

Existem 3 métodos para dimensionamento das condutas (ASHRAE, 2007a):

- **Velocidade decrescente:** Neste método é definida a velocidade em cada ramal, com base no ruído e actividade de cada espaço;
- **Perda de carga constante:** Neste método é definida uma perda de carga constante em todo o traçado, que permite facilidade do cálculo;
- **Recuperação estática:** É um método só aplicado nos traçados de insuflação. O objectivo deste método é recuperar pressão estática ao longo das transições de troços por forma a obter uma variação da pressão estática igual a zero ao longo da rede de condutas. Este método permite o dimensionamento do traçado com melhor optimização da perda de carga, sendo esta a mais reduzida de todos os métodos. Dada a complexidade deste método, ele é pouco utilizado;

Optou-se pelo método de definição de velocidade decrescente na insuflação pois os traçados não são grandes. Na extracção optou-se pela perda de carga constante para facilitar o cálculo de perda de pressão, estipulando como valor o 0,8 Pa/m.

Considerou-se como velocidades nos diferentes ramais de insuflação, os valores apresentados na Tabela 17:

Tabela 17 - Valores de referência da velocidade do ar nos diversos ramais da instalação

Velocidade (m/s)	UR Gabinetes	Restantes UTAN's
Ramal principal	7	8
Ramal secundário	4	5

Após a definição da velocidade de escoamento em cada ramal de insuflação, é possível aferir a perda de carga através do ábaco exposto no Anexo X (ASHRAE, 2007a).

Os diversos coeficientes de perda de carga dos acessórios utilizados, foram retirados do manual ASHRAE (ASHRAE, 2007a), as respectivas tabelas encontram-se no Anexo XII.

Para o espaço da piscina, optou-se por utilização de conduta em polipropileno. Trata-se de um material de elevada resistência a substâncias químicas agressivas e resistente à

corrosão. Uma vez que o ar ambiente da piscina tem elevada humidade e evaporação de químicos presente na água da piscina, considerou-se serem as condutas mais indicadas para instalação (ver Figura 35).

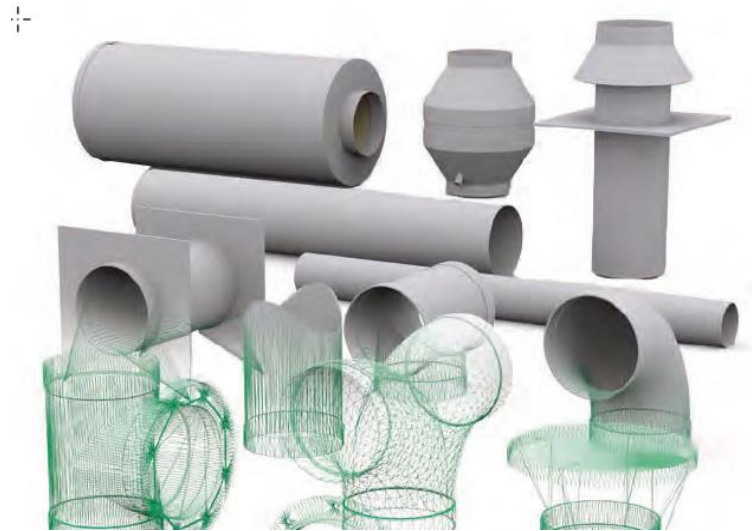


Figura 35 - Conduto e acessórios em polipropileno(Central Plast, 2021)

Relativamente aos restantes espaços, a selecção dos elementos de difusão e extracção dos espaços foi suportado pelo software do fabricante *TROX – Easy Product Finder* (TROX, n.d.). O Software baseia-se em diversos factores tendo como objectivo o conforto dos utilizadores, de forma a não provocar demasiada velocidade do ar na zona das cabeças dos utilizadores:

- Caudal de ar em cada espaço;
- Diferencial de temperatura;
- Altura do pé-direito do espaço;
- Distâncias entre difusores e paredes.

A ficha técnica dos elementos de difusão e extracção estão apresentados no Anexo XIII.

Nos balneários, optou-se por dispor todos os elementos de extracção na zona dos duches e nas zonas sanitárias, pois desta forma, evita-se que o ar húmido pela evaporação se desloque para a zona dos vestuários, onde os ocupantes pretendem secar-se (ver Figura 36).

Para a zona da Piscina, seguiu-se a sugestão da ASHRAE no artigo Baxter (2012). Devido à evaporação da água da piscina, este mesmo ar contém os químicos e cloro do tratamento da água, pelo que o ideal é garantir a rápida exaustão do ar evaporado. Desta forma é sugerida a instalação da insuflação numa das laterais da piscina e a extracção no lado oposto, criando um único fluxo de ar constante pela superfície da piscina (ver Figura 38).

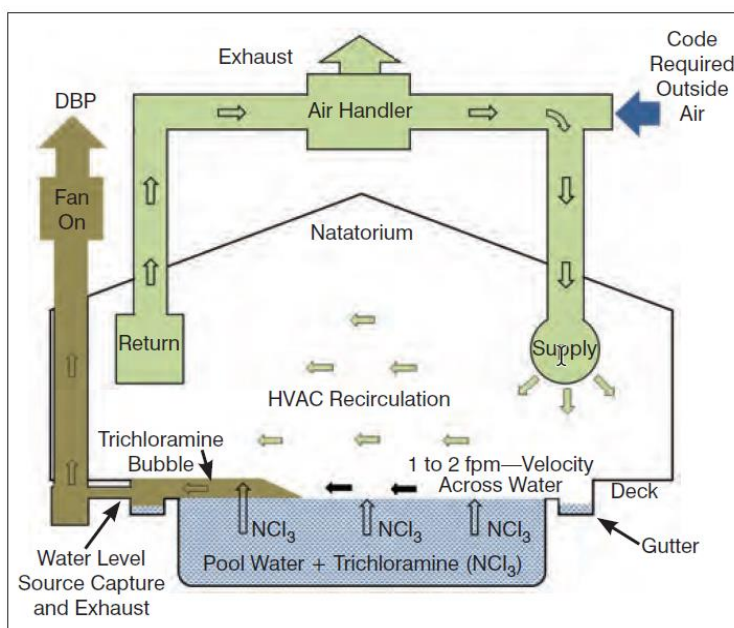


Figura 38 - Técnica de difusão na Piscina (Baxter, 2012)

No Anexo XII apresentam-se as tabelas auxiliares de dimensionamento da rede aerúlica e o respectivo cálculo de perda de carga dos diferentes ramais de insuflação e extracção.

O traçado da rede aerúlica está representado no Anexo XV.

4.6. Dimensionamento rede hidráulica

Conforme já abordado, a climatização que será realizada pelas UTAN's (excepto na UTAN da Piscina) utilizará água arrefecida e aquecida. As mesmas serão produzidas no *chiller* e bomba de calor, respectivamente. De seguida, será abordado todo o processo de dimensionamento da rede hidráulica, que garante a circulação de água em circuito fechado. Tirando algumas variáveis (caudal, temperatura da água), foram tidos os

mesmos pressupostos quer para a tubagem de água fria (AF) e água quente (AQ). Conforme o fundamento teórico abordado no final do capítulo 2.2.1, optou-se por dimensionar uma rede hidráulica a 4 tubos devido à necessidade constante de desumidificação do ar, o que obriga a que nas UTAN's exista em simultâneo o processo de arrefecimento e aquecimento.

Para além do tipo de bombas existentes no mercado, consoante a forma construtiva, existem dois factores essenciais na selecção das bombas circuladoras de AVAC: o caudal nominal e a perda de carga da instalação. O caudal nominal será a soma dos caudais de água necessários para climatização em cada um dos equipamentos terminais. A perda de carga da instalação é afectada consoante os equipamentos auxiliares da instalação, velocidade de escoamento, entre outros. O cálculo da perda de carga na instalação foi realizado através de uma folha de cálculo, que se encontra no Anexo XVI.

No que diz respeito à perda de carga na tubagem, a mesma varia consoante os seguintes factores (ASHRAE, 2007a):

- Material da tubagem – Factor de rugosidade: Cada material tem uma rugosidade interna própria, que vai afectar o escoamento do fluido, ou seja, quanto maior o factor de rugosidade, maior será a resistência provocada ao escoamento, provocando maior perda de carga;
- Diâmetro interno da tubagem – O diâmetro da tubagem é inversamente proporcional à perda de carga que é provocada, ou seja, quanto menor o diâmetro maior será a perda de carga e o “esforço” provocado ao escoamento;
- Caudal de água – Relativamente ao caudal de um escoamento, quanto maior for o mesmo, maior será a perda de carga criada no escoamento;

$$\text{Perda de carga linear (Pa/m)} = 6,819 \times \left(\frac{v}{C}\right)^{1,852} \times \left(\frac{1}{D_i/1000}\right)^{1,167} \times \rho \times 9,8 \quad (8)$$

Onde,

- v – Velocidade do escoamento [m/s];
- C – Factor de rugosidade do material da tubagem [adimensional];
- D_i – Diâmetro interno da tubagem [m];

- ρ – Massa específica do fluido [kg/m^3];

Para além do cálculo da perda de carga linear na tubagem, é também fundamental considerar a perda de carga introduzida na instalação pelos diversos acessórios à rede hidráulica. Os coeficientes de perda de carga dos acessórios foram retirados da ASHRAE Fundamentals e dos catálogos dos próprios fabricantes dos acessórios.

4.6.1. Válvulas e acessórios

As válvulas de equilíbrio estático são acessórios de um sistema hidráulico que nos permitem efectuar o equilíbrio de uma instalação, ou seja, limitar o caudal de água que flui para cada troço da instalação, válvula ilustrada na Figura 39. Por exemplo, a bateria de arrefecimento de uma UTA tem uma capacidade correspondendo a um determinado caudal, necessitando de um componente hidráulico que limite o caudal máximo que flui para esse troço, de modo a nunca ultrapassar o valor nominal, atribuído a essa unidade. Estas válvulas são instaladas nos equipamentos terminais de uma instalação hidráulica, evitando que nas primeiras derivações do ramal o caudal seja todo consumido nas primeiras unidades terminais, ou seja, deste modo as unidades terminais são alimentadas apenas com o caudal de água definido em projecto.



Figura 39 - Válvula de equilíbrio estático (Caleffi Hydronic Solutions, 2021)

Adicionalmente, foi tido em conta a instalação de duas válvulas de macho esférico em cada equipamento terminal (entrada e saída), na óptica de futuras intervenções

preventivas ou correctivas a estes equipamentos. Na Figura 40 ilustramos um exemplo desta válvula.



Figura 40 - Válvula de seccionamento macho esférico (Genebre, 2021)

No ramal principal que tem maiores dimensões de tubagem, optou-se por válvulas de borboleta para o seccionamento antes e após as bombas circuladoras (ver Figura 41).



Figura 41 - Válvula de seccionamento tipo borboleta (Genebre, 2021)

Relativamente ao caudal de água de uma instalação hidráulica, a mesma pode ser dimensionada de duas formas (ASHRAE, 2007a):

- Caudal de água constante:
 - As bombas circuladoras de água trabalham sempre na velocidade nominal;
 - Deste modo, caso as válvulas de água dos equipamentos terminais fechem por satisfação do espaço, não pode existir estrangulamento do circuito, pelo que é recomendável a instalação de válvulas de 3 vias, de forma a criar um by-pass à circulação da água;
 - Trata-se de uma instalação pouco eficiente e de muito consumo energético, pois as bombas circuladoras estão sempre em funcionamento pleno.
- Caudal de água variável:

- As bombas circuladoras de água são controladas por um variador de velocidade, que consoante a pressão estática da instalação, modela a rotação da bomba;
- Já não existe necessidade de um bypass nos equipamentos terminais, pois o sistema de bombagem ajusta a rotação com a subida da pressão/estrangulamento;
- Trata-se de uma instalação mais eficiente, menor consumo energético e menor instalação de material e tubagem.

Por se tratar de um método mais eficiente e que garante um melhor controlo da instalação, optou-se pelo método de caudal de água variável.

As válvulas motorizadas de 2 vias (ver Figura 42) são modeladas consoante a maior ou menor necessidade de climatização do espaço, deixando desse modo passar mais ou menos caudal de água refrigerada ou aquecida.



Figura 42 - Válvula motorizada de 2 vias (Belimo, 2021)

As válvulas de retenção têm a funcionalidade de garantir apenas um sentido único para o escoamento (ver Figura 43). Este é um factor muito importante que deve ser garantida nos sistemas de bombagem, de forma a evitar retorno de caudal ou elevada pressurização nas bombas devido ao peso da água, devido à altura manométrica da instalação. Propõe-se a instalação de uma válvula de retenção à saída de cada uma das bombas circuladoras.



Figura 43 - Válvula de retenção (Genebre, 2021)

Mesmo que existam sistemas de filtração e purificação da água que é introduzida num sistema fechado de AVAC, o mesmo pode ter períodos de falha e o desgaste da tubagem pode ocorrer, originando pequenas partículas suspensas no escoamento. É aconselhável a instalação de filtros de água (ver Figura 44) à entrada de todos os equipamentos terminais, por forma a proteger as serpentinas dos mesmos, que por norma têm secções de passagem muito mais reduzidas.



Figura 44 - Filtro de água Y (Genebre, 2021)

Os sistemas de bombagem produzem bastante vibração à tubagem a que estão ligados, sendo aconselhável a instalação de juntas antivibráticas (ver Figura 45), de forma a proteger instalação hidráulica circundante. Aconselha-se a instalação de juntas antes e depois de cada elemento mecânico de bombagem.



Figura 45 - Junta antivibrática (Genebre, 2021)

4.6.2. Vaso de expansão e depósito de inércia

Os vasos de expansão, ver Figura 46, são equipamentos de extrema importância numa instalação hidráulica, apesar de por vezes serem vistos como equipamentos secundários.



Figura 46 - Vaso de expansão

Os vasos de expansão permitem a compensação da compressão/dilatação da água na instalação (ter em conta que a água é um fluido incompressível) e permitem a estabilização da pressão de funcionamento da instalação equilibrando em detrimento de subidas ou descidas repentinas da pressão hidráulica. Os vasos de expansão devem ser instalados na linha de aspiração do sistema de bombagem, controlando a pressão de aspiração nas bombas. O cálculo e ficha técnica dos vasos de expansão (circuito água

fria (AF) e quente (AQ)) estão apresentados no Anexo XVIII e no Anexo XIX, respectivamente.

O cálculo foi suportado pela explicação do fabricante *Caleffi* através da equação (9) (*Caleffi Hydronic Solutions*, 2021):

$$V_{vexp} = \frac{V_{total} \times \varepsilon}{1 - \frac{P_i}{P_f}} \quad (9)$$

Onde,

V_{exp} – Volume do vaso de expansão [L];

V_{total} – Volume total da instalação [L];

ε – Coeficiente de expansão da água, que varia consoante a temperatura da água [adimensional];

P_i – Pressão absoluta inicial [bar];

P_f – Pressão absoluta final [bar].

Indo de encontro à disponibilidade de equipamentos do fabricante, para os circuitos de AF e AQ obteve-se um volume do vaso de expansão de 12 e 8 litros, respectivamente.

Os depósitos de inércia (ver Figura 47) têm diversas funcionalidades numa instalação hidráulica. Permitem a acumulação de energia térmica (“frio” ou “calor”) criando uma bolsa de acumulação para a instalação. No entanto, a mais importante função é a de criar um ritmo de produção de energia constante para os *Chillers* e Bombas de Calor. Em situações de pico de consumo na instalação, os depósitos permitem o fornecimento de energia, sem que os equipamentos de produção tenham de responder de imediato a esta necessidade. Pelo que o método de cálculo contempla os níveis de potência de uma instalação, cálculo apresentado no Anexo XX.



Figura 47 - Depósito de Inércia

A ficha técnica dos depósitos de inércia seleccionados encontra-se no Anexo XXI, sendo que se obteve um volume de 600 e 200 litros para os circuitos de AF e AQ, respectivamente.

A quantificação dos diferentes acessórios descritos da rede hidráulica está representada na tabela do Anexo XVI.

4.6.3. Sistema de bombagem para o circuito hidráulico de AVAC

As bombas de água podem ser classificadas em função do modo de funcionamento e respectiva área de aplicação em bombas centrífugas, bombas volumétricas, bombas rotativas e bombas alternativas. O processo de selecção foi suportado pelo software da *Grundfos* (*Grundfos - Dimensionamento de Produto*, n.d.).

Para o processo de selecção das bombas de água fria (AF) e água quente (AQ), consideraram-se os seguintes parâmetros:

- Tipologia da bomba: Seguiu-se o aconselhamento da *Grundfos*;
- Caudal de água da instalação;
- Perda de carga da instalação.

O software analisa as curvas de cada bomba em catálogo, de forma a verificar qual a bomba que garante o caudal de água necessário e que consiga vencer a perda de carga

da instalação. Apresenta-se na Tabela 18 os parâmetros retirados da tabela do Anexo XVI. Os valores de caudal de água que as bombas terão de pressurizar na instalação hidráulica foram retirados do software HAP e envolve as necessidades somadas de cada UTAN, valores apresentados nas tabelas do capítulo 4.4. Os valores de perda de carga são referentes à totalidade apresentada na tabela do Anexo XVI.

Tabela 18 - Parâmetros de selecção das bombas circuladoras AVAC

	Bomba AF	Bomba AQ
Caudal de água (l/s)	1,94	0,75
Perda de carga (kPa)	192,73	81,85

Para o tipo de instalação do projecto em estudo, a *Grundfos* propõe a instalação de bomba centrífuga para o circuito de água fria e uma bomba circuladora para o cricuito de água quente, ilustradas nas Figura 48 e Figura 49, respectivamente.



Figura 48 - Bomba centrífuga para o circuito de água fria (Grundfos - Dimensionamento de Produto, n.d.)



Figura 49 - Bomba circuladora para o circuito de água quente (Grundfos - Dimensionamento de Produto, n.d.)

Após o processo de selecção das bombas, a *Grundfos* apresenta a curva de funcionamento das bombas seleccionadas (ver, Figura 50 e Figura 51).

Verifica-se que com o aumento do caudal da bomba, a altura manométrica da mesma reduz, ou seja, menor capacidade tem de vencer a perda de carga da instalação hidráulica. Valida-se que para o caudal de projecto calculado, as bombas têm altura manométrica superior à perda de carga da respectiva instalação hidráulica.

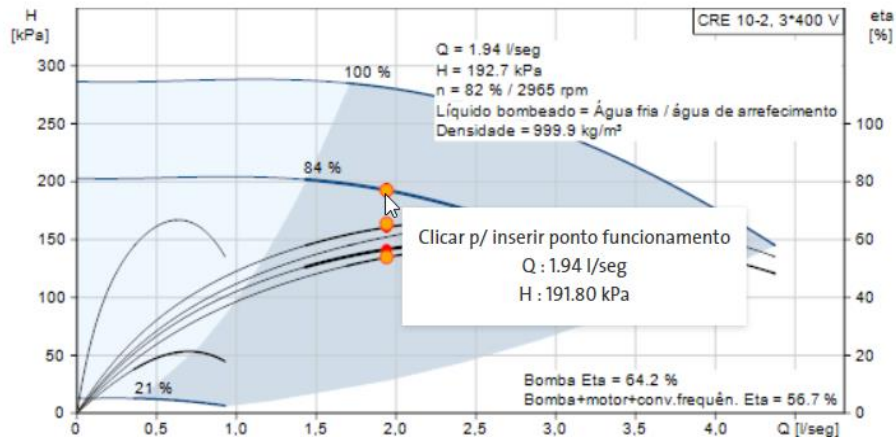


Figura 50 - Curva da bomba AF

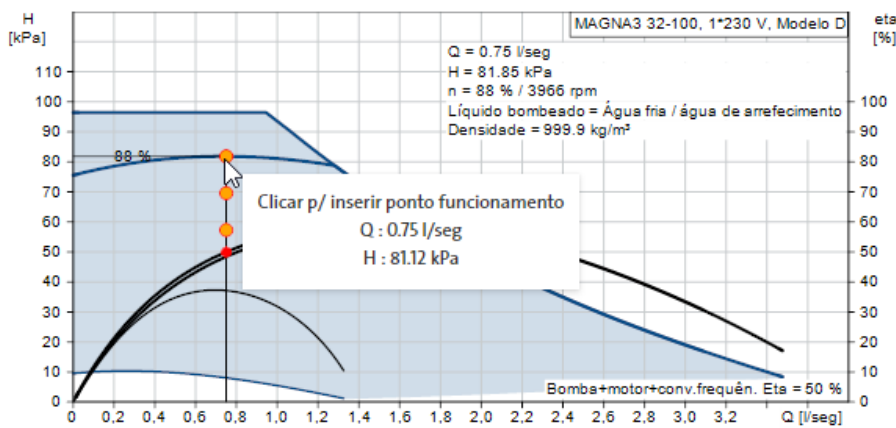


Figura 51 - Curva da bomba AQ

4.7. Chiller e Bomba de Calor

Conforme já abordado, as UTAN's são alimentadas a água refrigerada e aquecida para climatização do ar a insuflar nos respectivos espaços. É por isso necessário dimensionar os equipamentos centralizados que irão garantir a produção térmica.

Recorrendo novamente ao *software* HAP, configurou-se duas *Plants*, para arrefecimento e aquecimento, tanto uma como outra, foram incluídas as quatro UTAN's.

Exportando os respectivos relatórios de simulação das *Plants*, é possível determinar as potências de arrefecimento e aquecimento máximas da instalação. Os referidos relatórios encontram-se no Anexo XXII, *Plants Reports HAP*.

- Potência de **arrefecimento** máxima da Central Térmica – 41 kW
- Potência de **aquecimento** máxima da Central Térmica – 17,8 kW

Conforme já abordado, existirá nesta instalação constante necessidade de desumidificação do ar interior, ou seja, necessidade simultânea ao longo de todo o ano de capacidade de arrefecimento e aquecimento.

De forma a obter maior eficiência da instalação de AVAC, optou-se por realizar uma análise detalhada dos perfis de carga da instalação, de modo a perceber se de facto é ou não vantajosa o processo de recuperação de calor, explicado no capítulo 2.2.1. Para o efeito, exportou-se do *software* HAP perfis de funcionamento da instalação e analisou-se os meses de pico de Verão e Inverno. Os dados foram transpostos para gráficos de modo a facilitar a visualização e interpretação dos mesmos.

Na Figura 52 pode verificar-se que mesmo num período de Verão e de tempo quente que a instalação necessita de capacidade de aquecimento, existindo condições para a selecção de um *chiller* com recuperação de calor. De salientar que o perfil apresentado é energético, apesar de se basear nas cargas térmicas em cada hora.

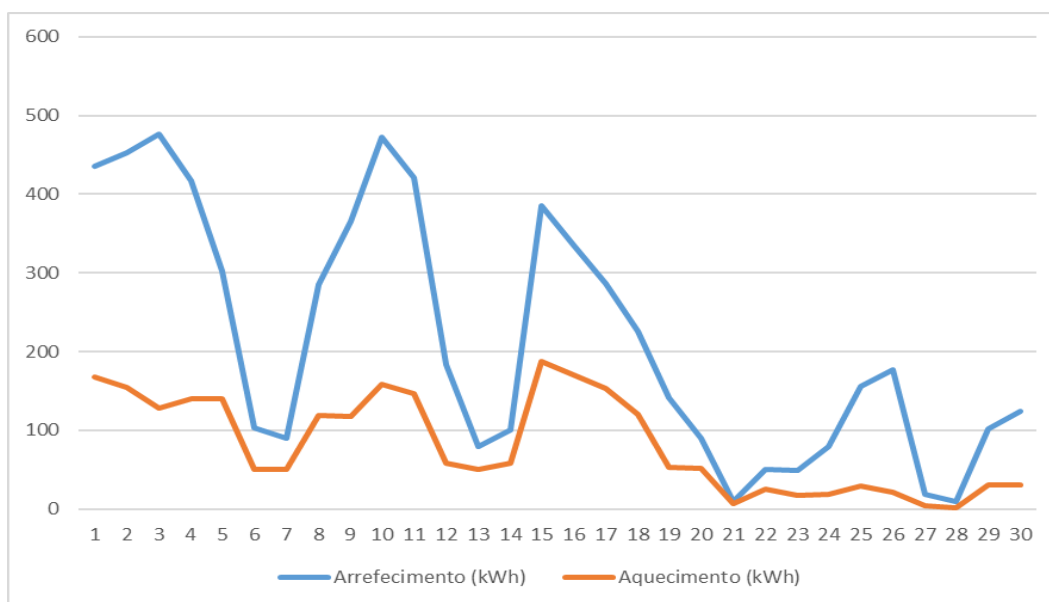


Figura 52 - Perfil de cargas no mês de Setembro

Em período de Inverno e tempo frio, verifica-se que existe a necessidade simultânea de capacidade de arrefecimento e aquecimento (ver, Figura 53).

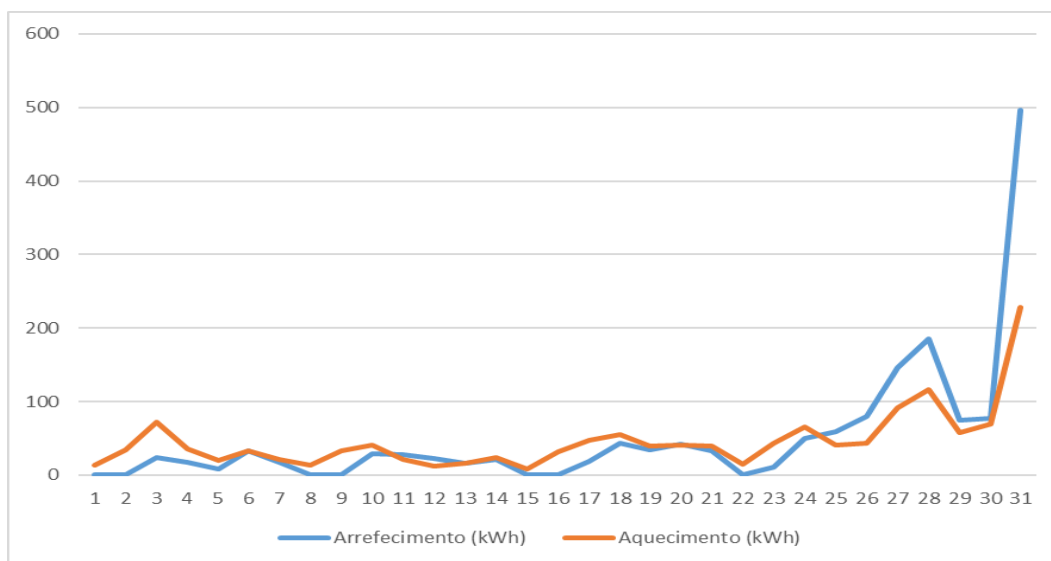


Figura 53 - Perfil de cargas no mês de Março

No entanto, após análise dos equipamentos disponíveis no mercado, não foi possível seleccionar um *chiller* com recuperação de calor com potências tão baixas. Deste modo, foram seleccionados o *chiller* e bomba de calor da marca Trane com capacidade exclusiva de arrefecimento e aquecimento, respectivamente. As fichas técnicas estão disponíveis no Anexo XXIII (*chiller*) e no Anexo XXIV (bomba de calor).

Tal como explicado no capítulo 2.2.1, o *chiller* e a bomba de calor (ver Figura 54 e Figura 56) foram seleccionados tendo em conta os parâmetros descritos e que se encontram assinalados na tabela do fabricante expressa na Figura 55 e na Figura 57, para o caso de selecção do *chiller* e bomba de calor, respectivamente.

- Potência térmica total de arrefecimento/aquecimento necessária para a instalação;
- Caudal de água arrefecida/aquecida;
- Temperatura exterior mínima e máxima.



Figura 54 – Chiller Trane CGCM (Trane, 2021)

CGCM	Unit size	012	015	016	020	025	033	035
Cooling (1)								
Cooling capacity	kW	43.50	49.70	57.10	73.30	89.20	116	130
Total power input	kW	17.60	20.40	21.70	27.60	36.20	44.50	50
EER		2.47	2.44	2.63	2.65	2.46	2.61	2.59
Number of refrigerant circuits		1	1	1	1	1	1	1
Number of compressors		2	2	2	2	2	2	2
Compressor type		Scroll						
Sound pressure level (2)	dB(A)	58	58	58	58	59	61	61
Sound power level (3)	dB(A)	90	90	90	90	91	92	92

Figura 55 - Tabela com características técnicas do Chiller Trane CGCM (Trane, 2021)



Figura 56 - Bomba de Calor Trane CGB (Trane, 2021)

CGB	Tamanho da unidade	017	020	025	028	033	036	039
Refrigeração de acordo com a EN 14511 (1)								
Capacidade total de arrefecimento	kW	16,4	19,0	24,6	28,3	32,5	35,5	38,1
Potência de entrada total	kW	5,6	6,7	7,9	9,2	11,0	12,8	14,1
EER total		2,93	2,83	3,11	3,08	2,95	2,77	2,70
Classe Eurovent		B	C	A	B	B	C	C
Caudal de água	m ³ /h	2,82	3,26	4,23	4,87	5,59	6,10	6,56
Descida de pressão da água	kPa	15,1	19,6	31,3	23,1	29,6	34,7	39,6
Eficiência sazonal, de acordo com a EN 14825 (2)								
P nominal	kW	16,4	19,0	24,6	28,3	32	35	38
% refrigeração		166%	165%	167%	168%	155%	150%	149%
SEER		4,22	4,20	4,24	4,28	3,96	3,83	3,79

Figura 57 - Tabela com características técnicas da Bomba de Calor Trane CGB (Trane, 2021)

5. Conclusões

A instalação técnica projectada vai de encontro aos objectivos definidos. Com o suporte da legislação em vigor e de diversas referências bibliográficas, consideraram-se os pressupostos necessários para a garantia do conforto térmico dos ocupantes e utilizadores do edifício da Piscina do Complexo Escolar do Colégio Pedro Arrupe.

Foi dada ênfase à particularidade do cálculo das cargas térmicas dos espaços, em particular à zona da Piscina, que produz uma elevada carga térmica latente por evaporação da água o que trouxe um cálculo mais complexo no dimensionamento da UTAN e a especificidade dos elementos de difusão e respectiva disposição da rede aerúlica. Foi necessário ir para além das funcionalidades disponíveis no software HAP para se obter um cálculo fidedigno do valor de evaporação da água da piscina.

Apenas para a carga térmica latente libertada pela evaporação da água da piscina, obteve-se um valor de 43,14 kW, um valor bem elevado, tendo em conta que a potência de arrefecimento total é de 119 kW. Verifica-se que este cálculo para uma zona de Piscina é de extrema importância por forma a garantir as condições de conforto desejadas.

Devido à elevada necessidade simultânea de capacidade de arrefecimento e aquecimento durante todo o ano, abordou-se a temática da eficiência energética com o intuito de recuperar energia térmica no ciclo frigorífico do processo de arrefecimento. Foi possível obter este resultado na UTAN da Piscina, ao escolher um equipamento desenhado especificamente para este tipo de edifícios. O equipamento seleccionado da Flaktwoods apresenta uma elevada capacidade de desumidificação e que permite o reaproveitamento da mesma para o processo de aquecimento no mesmo equipamento.

Na caracterização das restantes UTAN's dos balneários e sala de musculação, verificou-se igualmente uma necessidade constante de desumidificação, o que obriga a uma permanente simultaneidade de arrefecimento e aquecimento. Com base nesta conclusão, tentou-se abordar novamente a selecção de um equipamento de produção central com recuperação de calor, no entanto, por se tratar de valores de potência reduzidos, não foi possível encontrar no mercado um *chiller* com a funcionalidade de recuperação de

calor. Para estes sistemas de UTAN's determinou-se uma necessidade de arrefecimento e de aquecimento de 41 kW e 17,8 kW, respectivamente.

No entanto, é importante não esquecer que foi analisado apenas um edifício de um complexo escolar com um total de 9 edifícios, ou seja, poderia ter permitido a selecção de outra gama de equipamentos e obter valores de eficiência energética superiores.

Bibliografia

- Alfano, F. R. A., Bellia, L., Boerstra, A., Dijken, Van, F., Ianniello, E., Lopardo, G., Minichiello, F., Romagnoni, P., & Gameiro da Silva, M. C. (2013). *Ambiente interior e eficiência energética nas escolas* (REHVA (Ed.)).
- ASHRAE. (2007a). *ASHRAE Handbook—Fundamentals*.
- ASHRAE. (2007b). *ASHRAE Handbook HVAC Applications*.
- ASHRAE. (2008). *ASHRAE Handbook HVAC Systems and Equipment*.
- ASHRAE - American Society of Heating, R., & Engineers, and A.-C. (2007). *Ventilation for Acceptable Indoor Quality, Standard 62.1*.
- Baxter, R. C. (2012). Designing for IAQ In Natatoriums. *ASHRAE Journal*.
- Belimo. (2021). www.belimo.com, consultado em Março de 2021
- Caleffi Hydronic Solutions. (2021). <https://www.caleffi.com/portugal/pt/catalog>
- Carrier. (n.d.). *Hourly Analysis Program*.
- Carrier. (2021). <https://www.carrier.com/commercial/pt/pt/produtos/ar-condicionado/chillers-arrefecidos-a-ar/30rb--30rbp/>, consultado em Janeiro de 2021
- Central Plast. (2021). https://www.centralplast.pt/ventilacao_pp-h.html, consultado em Fevereiro 2021
- Coelho, P. (2017). *Tabelas de Termodinâmica*. LIDEL.
- Daikin. (2021). www.daikin.pt, consultado em Abril 2021
- Frade, J. (2006). *Climatização geral*.
- Genebre. (2021). www.genebre.com, consultado em Março de 2021
- Google Maps. (2021). <https://www.google.pt/maps>, consultado em Janeiro 2021
- Grondzik, W. T. (2007). Air-conditioning system design manual. *Gene*, 401.
- Grundfos - Dimensionamento de produto. (n.d.). <https://www.grundfos.com/pt>
- MENDES, J. Casimiro; GUERREIRO, M. Rita; SANTOS, Pina dos; Click para download

do currículo. PAIVA, J. V. (1995). *Temperaturas exteriores de projecto e números de graus-dias*.

Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços, Decreto Lei nº 118/2013.

Roriz, L. (2006). *Climatização, concepção, instalação e condução de sistemas* (Orion (Ed.); 2nd ed.).

Santos, C. A. P. dos, & Matias, L. (2006). *Coefficientes de transmissão térmica de elementos da envolvente dos edifícios* (L. N. de E. Civil (Ed.)).

Sodeca. (2021).

https://www.sodeca.com/repositoryComponents//documentos/07_05_PermutadoresCalor.pdf, consultado em Janeiro 2021

Trane. (2021). <https://www.trane.com/commercial/europe/portugal/pt.html>, consultado em Fevereiro 2021

TROX. (n.d.). *Easy Product Finder*.

Anexos

Anexo I

Plantas de Arquitectura

Anexo II

Tabela com valores de temperatura e humidade relativa ao longo do ano para Sacavém

Anexo III

Tabela auxiliar de cálculo dos caudais de ar novo

Anexo IV

Tabela auxiliar com caracterização iluminação e equipamentos dos espaços

Anexo V

Tabela termodinâmica – vapor de água saturado

Anexo VI

Ficha técnica do ventilador da área técnica do Piso -1

Anexo VII

Ficha técnica da UTAN da Piscina

Anexo VIII

Ficha técnica das unidades Split das salas administrativas

Anexo IX

Ficha técnica das UTAN's dos balneários e musculação e UR das salas administrativas

Anexo X

Ábaco de perda de carga para dimensionamento de condutas

Anexo XI

Planta com fugas e infiltrações de ar entre espaços

Anexo XII

Tabelas com coeficientes de perda de carga de acessórios da rede aerúlica

Anexo XIII

Ficha técnica grelhas e difusores

Anexo XIV

Tabela auxiliar para dimensionamento da rede aerúlica

Anexo XV

Traçado da rede aeráulica

Anexo XVI

Tabela auxiliar para dimensionamento da rede hidráulica

Anexo XVII

Traçado da rede hidráulica

Anexo XVIII

Tabela com cálculo dos vasos de expansão

Anexo XIX

Ficha técnica dos vasos de expansão

Anexo XX

Tabela com cálculo dos depósitos de inércia

Anexo XXI

Ficha técnica dos depósitos de inércia

Anexo XXII

Plants Reports do software HAP para o Chiller e Bomba de Calor

Anexo XXIII

Ficha técnica do *chiller*

Anexo XXIV

Ficha técnica da bomba de calor