



**ISEL**

**INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA**  
**Departamento de Engenharia Mecânica**



## **Projeto de AVAC de um Edifício com Multiutilização**

**VITOR MIGUEL COSTA GOMES**  
Licenciado em Engenharia Mecânica

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

Orientadores:

Eng.º João Cardoso

Eng.º Vinhas Frade

Júri:

Presidente: Professor Doutor Jorge Mendonça e Costa

Vogais:

Professor Doutor João Francisco dos Santos Fernandes

Professor Especialista João Antero Cardoso

**Setembro 2013**



## **Agradecimentos**

Quero agradecer ao Professor João Cardoso por ter aceitado ser meu orientador, apesar da minha situação profissional, que muitas vezes me impediu de ter um ritmo de trabalho mais regular. Conseguiu com a sua experiência e saber, guiar-me nos momentos de bloqueio, dando-me a liberdade de definir a minha abordagem ao enunciado proposto e à forma de trabalhar este projeto.

Agradeço também a todos os Professores da área de Termodinâmica do ISEL, que contribuíram para a minha formação, destacando o Professor João Frade pela forma entusiasta e apaixonada que me transmitiu os conhecimentos de base como Mecânica dos Fluidos, Climatização e Tecnologias e Equipamentos de Climatização, contagiando-me essa paixão que agora utilizo no meu dia-a-dia profissional.

Aos meus colegas e amigos da France-Air Portugal, salientando o Rui Jorge e Pedro Ribeiro pela aposta e suporte no meu desenvolvimento pessoal, profissional e partilha de Know How, sendo referências que guardarei para a vida pela dedicação, paixão e forma de acreditar.

Por fim e em especial à minha família e amigos que sempre me apoiaram e me incentivaram durante estes turbulentos meses em que o afastamento foi inevitável, destacando a Catarina, minha companheira, que foi incansável no apoio que me deu.

Sem o vosso apoio e exemplo não teria conseguido chegar a esta página. Obrigado.



## Resumo

A Engenharia dos Edifícios encontra nos tempos que correm um desafio crescente. A civilização Mundial encontra-se num crescimento exponencial, onde cada um procura encontrar o maior conforto e segurança a vários níveis como económico, social, entre outros, mas também ambiental. Aliando este facto ao estilo de vida, contemporâneo e expectável para o futuro, em que as pessoas passam cada vez mais tempo no interior de edifícios, é sem dúvida vital encontrar soluções e técnicas que satisfaçam os requisitos ambientais necessários ao conforto e segurança dos ocupantes dos edifícios, mas por outro lado, que vão ao encontro da sua sustentabilidade, de forma a diminuir o impacto que o nosso desenvolvimento introduz na viabilidade da permanência da Humidade no planeta Terra.

O trabalho apresentado aborda as temáticas chaves dos sistemas de Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado (AVAC) e retrata o desenvolvimento de uma solução para um edifício específico, que poderia ser aplicada na realidade. Procurou ir ao encontro da realidade tecnológica e normativa desta engenharia, utilizando soluções inovadoras para a redução dos consumos energéticos do edifício, sem descuidar a sua integração com a arquitetura da solução final.

A abordagem é feita através do cálculo e definição das necessidades específicas de cada espaço seguida da procura da solução que responda a estas necessidades com um menor impacto energético. Por fim, através da simulação dos consumos pretende-se quantificar os consumos energéticos da solução adotada.

Em paralelo a esta abordagem, foram desenvolvidos desenhos esquemáticos que mostram a viabilidade da aplicação das soluções propostas e a sua adaptação à arquitetura existente, sendo por vezes necessário desenvolver e definir com mais pormenor as soluções adotadas.

O resultado final é um trabalho de carácter prático com o objetivo de dimensionar e escolher os equipamentos adequados ao tratamento do ar ambiente, produção de águas quentes sanitárias, para um edifício de multiutilização (comércio, escritórios e habitação), tendo em consideração o consumo energético e os seus custos de exploração.



## **Abstract**

Nowadays the Building Engineering is facing a growing challenge. The Global civilization is growing up fast, and each one is trying to find the better comfort and safety for himself, in different levels, like economical, social and others, but also environmental. Adding to this fact, the actual and expected life style of the future, the people will stay more time inside of the buildings, and for that the building engineers have to find solutions and techniques to ensure the indoor comfort requirements and safety to its occupants. At the same time, these have to be more sustainable as possible, in order to reduce the impact of our development and to ensure the sustainable presence of the Humanity on the planet Earth.

The present work makes an approach to the key thematic of Heating, Ventilation and Air Conditioning (HVAC) systems. It presents the development of a solution for a specific building, which could be applied in the real world. The solutions are supported by the technological and standardization actuality, using the last state of art solutions in order to reduce the energetic consumption of the building, and its integration in the architecture.

An approach is made by the computational calculation and definition of the specific needs for each space and then the demand of the best low consumption solution to answer to those requirements. After the analysis of the simulation results, the consumption reduction was calculated to the applied solution.

At the same time, the solution has been schematically drawn to verify its integration feasibility on the architecture and also to define its details. The more complex solutions were defined with more detail on the produced drawings.

The final result is a practical work with the objective of dimensioning and selecting the adequate equipments to make the air treatments, production of hot water to human consumption, of a building with different type of occupation by level (0 floor – Shopping, 1<sup>st</sup> and 2<sup>nd</sup> – Offices, 3<sup>rd</sup> and 4<sup>th</sup> – Residential apartments), considering the energetic consumption and its exploration costs.



## Conteúdo

---

<b>1. Introdução</b> .....	<b>1</b>
<b>2. Metodologia:</b> .....	<b>2</b>
<b>3. Descrição do Edifício:</b> .....	<b>4</b>
3.1. Caracterização .....	4
3.2. Localização .....	7
3.3. Condições Interiores.....	8
3.4. Elementos Construtivos.....	9
3.5. Fachadas Ventiladas .....	12
3.6. Cargas Internas .....	14
3.7. Balanço Térmico.....	17
3.7.1. Cálculo Potência de Arrefecimento .....	17
3.7.2. Cálculo Potência de Aquecimento .....	19
<b>4. Solução Base</b> .....	<b>20</b>
4.1. Modelo da Solução Base:.....	20
4.2. Sistemas de Produção Térmica:.....	21
4.3. Sistemas de Distribuição de Ar:.....	22
4.4. Consumidores Térmicos:.....	23
4.5. Análise dos Resultados .....	24
4.5.1 Análise Custo Energético de Exploração .....	25
4.6. Análise Fachadas Ventiladas.....	26
4.7. Propostas de Melhoria à Solução Base: .....	29
4.7.1. Análise do Impacto das Melhorias à Solução Base:.....	30
<b>5. Solução Adotada:</b> .....	<b>32</b>
5.1. Descrição .....	32
5.2. Produção Térmica Primária .....	34
5.3. Águas Quentes Sanitárias - AQS.....	36
5.4. Produção térmica solar.....	39
5.5. Ventilação.....	40
5.6. Climatização .....	44
5.7. Ventilação Parques de Estacionamento .....	44

**Trabalho Final de Mestrado**  
**Projeto de AVAC de um Edifício com Multiutilização**

<b>6.</b>	<b>Equipamentos.....</b>	<b>47</b>
6.1.	Chiller 1.....	47
6.2.	Chiller 2.....	48
6.3.	Caldeira.....	49
6.4.	Painéis Solares.....	50
6.5.	Depósitos.....	51
6.6.	Bombas.....	52
6.7.	Vasos de Expansão.....	52
6.8.	Rede distribuição água.....	53
6.9.	Unidades de recuperação de calor.....	54
6.10.	Ventiladores.....	55
6.11.	Ventilo-convetores.....	56
6.12.	Difusão.....	57
6.13.	Rede de Distribuição de Ar.....	58
<b>7.</b>	<b>Simulação da Solução Adotada.....</b>	<b>59</b>
7.1.	Análise Energética da Solução Adotada.....	63
<b>8.</b>	<b>Comentários Finais.....</b>	<b>65</b>
<b>9.</b>	<b>Bibliografia.....</b>	<b>66</b>

## **1. Introdução**

---

O grande objetivo deste projeto é criar um sistema que responda às necessidades de conforto segurança e qualidade do ar para os seus ocupantes, recorrendo a técnicas e equipamentos que permitam reduzir os consumos energéticos inerentes à manutenção destas condições ambientais.

O objeto de estudo foi a arquitetura, fornecida no âmbito deste trabalho, de um edifício de multiutilização que se pretende edificar em Cascais.

Com base nas necessidades calculadas durante este trabalho, procurou-se encontrar a solução com menor consumo energético, o que traz vantagens do ponto de vista ecológico e de custo de exploração, procurando-se justificar as escolhas e decisões tomadas ao longo do seu desenvolvimento.

As ferramentas utilizadas durante a realização deste trabalho, para além do Microsoft Office Excel e Word foram o Design Builder, o Solterm, o Autocad e ferramentas de seleção de alguns equipamentos que foram aplicados.

Recorreu-se a bibliografia informativa e normativa de forma a encontrar os valores e práticas recomendadas, de forma a sustentar todo o trabalho realizado.

Ainda assim, dado que um projeto implica um processo de criação, houve decisões e momentos de escolhas que tiveram de ser feitas por sensibilidade após uma avaliação de risco, pois estamos a abordar vários temas que só por si poderiam ser alvo de estudo aprofundado, como é o caso das combinações possíveis das variáveis inerentes das fachadas ventiladas ou de outras soluções que poderiam ser mais eficientes do que a solução encontrada. Este tipo de questões têm sido objeto de estudo e discussão por diversos especialistas de todo o Mundo, não existindo um consenso quanto à melhor solução a aplicar aos edifícios, sendo que o facto de todos os edifícios e climas terem características particulares não facilitar.

Os objetivos práticos deste trabalho podem ser resumidos à determinação das cargas térmicas, dimensionamento e definição de soluções energeticamente eficientes, estimando a redução dos custos energéticos e de exploração relativamente a soluções mais usuais.

## **2. Metodologia:**

---

Este trabalho foi dividido em 4 grandes fases.

A primeira fase foi a análise e criação do modelo, transpondo as plantas do edifício para um ficheiro gráfico construído de raiz em 3D, utilizando o software Design Builder. Após o modelo físico estar criado, começou-se a caracterizar cada espaço calculando e definindo todas as variáveis, como a construção da envolvente, ocupação, cargas internas, caudais de ar novo mínimo entre outros, que serão posteriormente referidos.

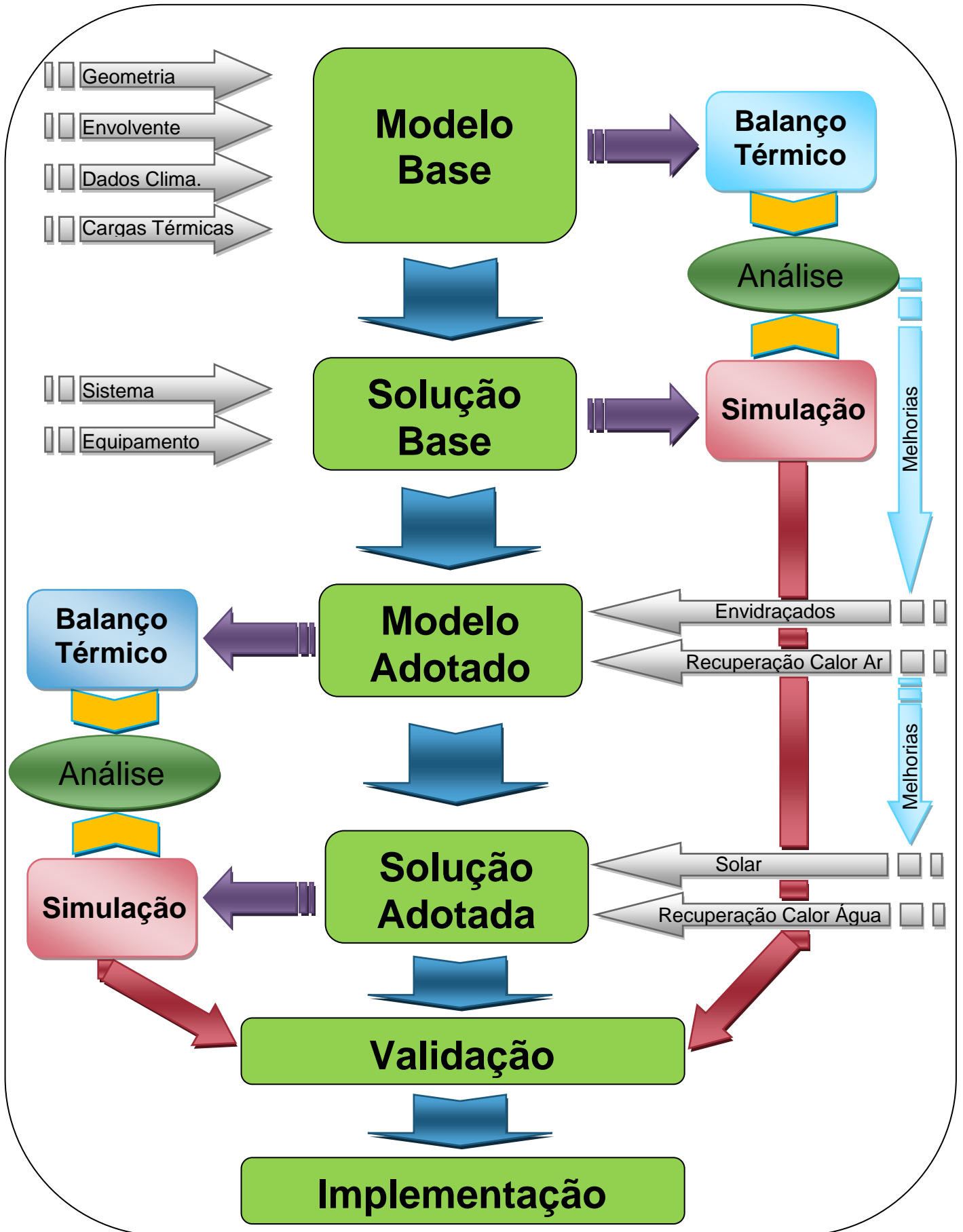
Numa segunda fase foi criado um modelo da solução base de climatização e ventilação, com o objetivo de servir de referência aos outros modelos desenvolvidos posteriormente, sustentando as soluções adotadas. Este modelo base foi alvo de várias simulações e estudos por forma a se perceber o comportamento verificado das grandezas em jogo. Com base nesta análise iniciou-se o desenvolvimento da solução que seria aplicada.

A terceira fase consistiu na verificação da viabilidade da aplicação da solução adoptada, passando-se à implementação em desenho das soluções. Durante este processo houve a necessidade de dimensionar os equipamentos e componentes do sistema. Foram encontrados variados obstáculos, tendo de se adaptar as soluções utilizadas de modo a tornar possível aplicação de uma solução energeticamente eficiente.

A última fase foi a afinação do modelo e verificação dos balanços energéticos relativamente à solução base.

Independentemente da repartição deste trabalho, na realidade as últimas três fases descritas estiveram muito interligadas, sendo trabalhadas em simultâneo através de diversas experiências e tentativas que foram sendo feitas até se obter o resultado final dentro do pretendido.

Durante o desenvolvimento deste projeto foram utilizados valores de referência normativos do RCESE e RCCTE para sustentar os valores utilizados, embora não se pretenda fazer a sua verificação.



Fluxograma 1 – Metodologia adotada no desenvolvimento deste projeto

### 3. Descrição do Edifício:

---

#### 3.1. Caracterização

---

O objeto de estudo trata-se de um edifício multiutilização com oito pisos, a construir, composto por:

- Três pisos de estacionamento subterrâneos,
- Um piso de lojas de pequeno comércio, ao nível da rua,
- Dois pisos de escritórios,
- Dois pisos de habitação.

Das características do edifício destacam-se os grandes vãos envidraçados, existentes em praticamente toda a fachada do edifício, existindo ainda cinco zonas de fachadas ventiladas ao nível do primeiro e segundo piso, que serão abordadas posteriormente.

A área bruta de implementação do edifício ronda os 1980m<sup>2</sup>, erguendo-se acima do nível de rua em cerca de 24m, sendo a profundidade do parque 8m, o que totaliza 32m de altura bruta do edifício. A área total útil do edifício é de 5406m<sup>2</sup>, dos quais 4821m<sup>2</sup> se pretende climatizar.

Os 3 níveis de parques têm a capacidade para 174 viaturas.

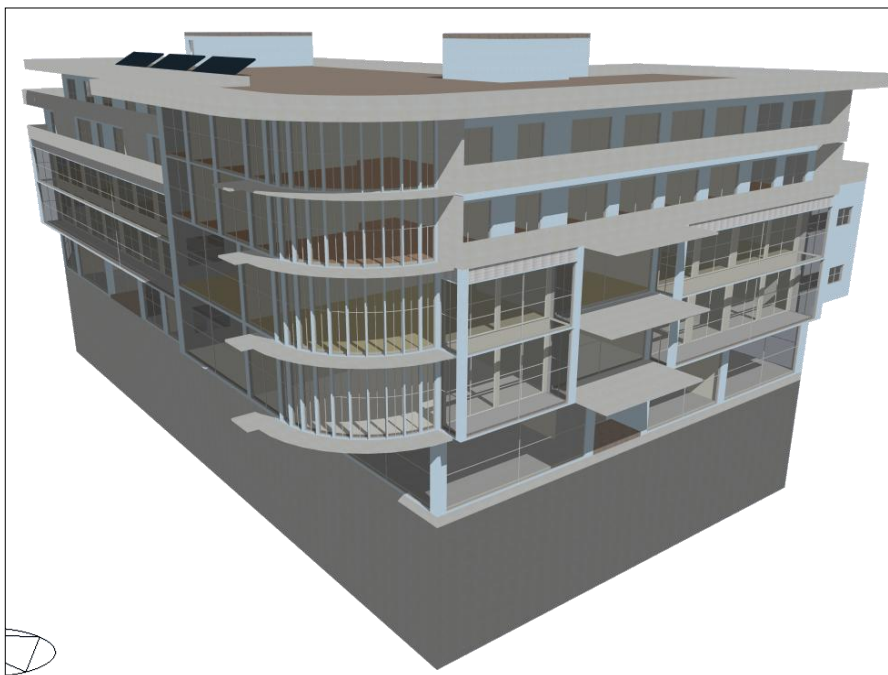


Figura 1 - Render do modelo construído no Design Builder, da fachada Sul e Este do edifício

Trabalho Final de Mestrado  
Projeto de AVAC de um Edifício com Multiutilização

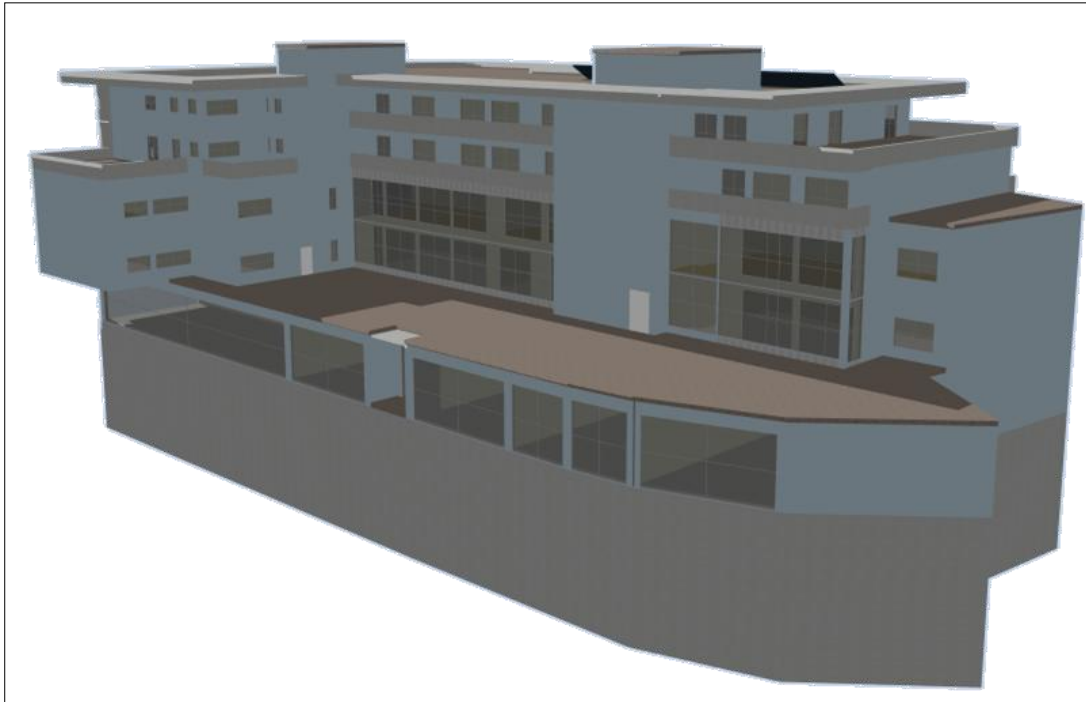


Figura 2 - Render do modelo, fachada Norte e Oeste.

O Piso 0 é composto por 14 lojas de pequeno comércio, existindo ainda uma via de circulação de acesso às lojas interiores, bem como átrios de acesso aos pisos superiores e inferiores. É pretendido climatizar e ventilar as lojas, circulações e átrios.

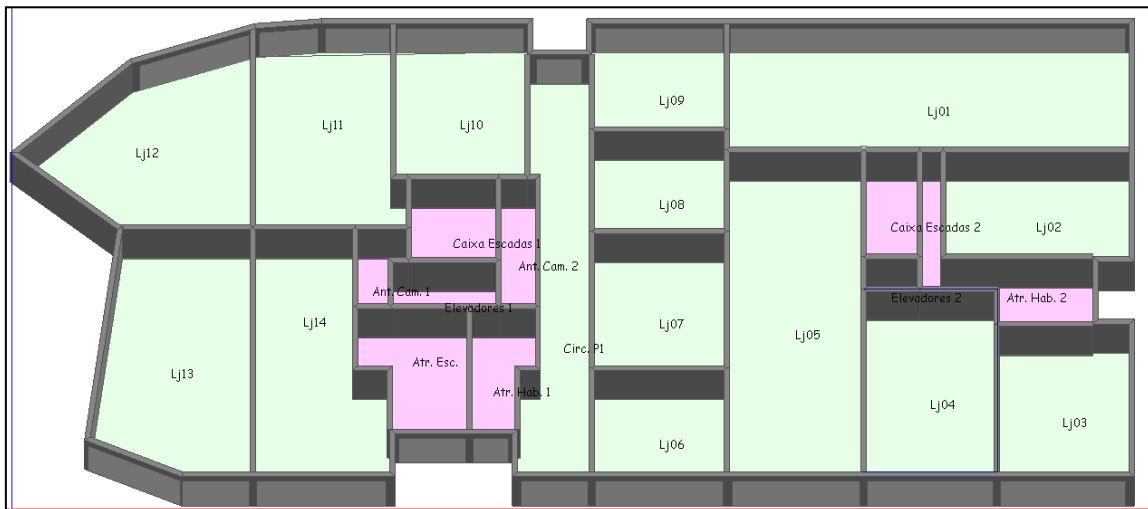
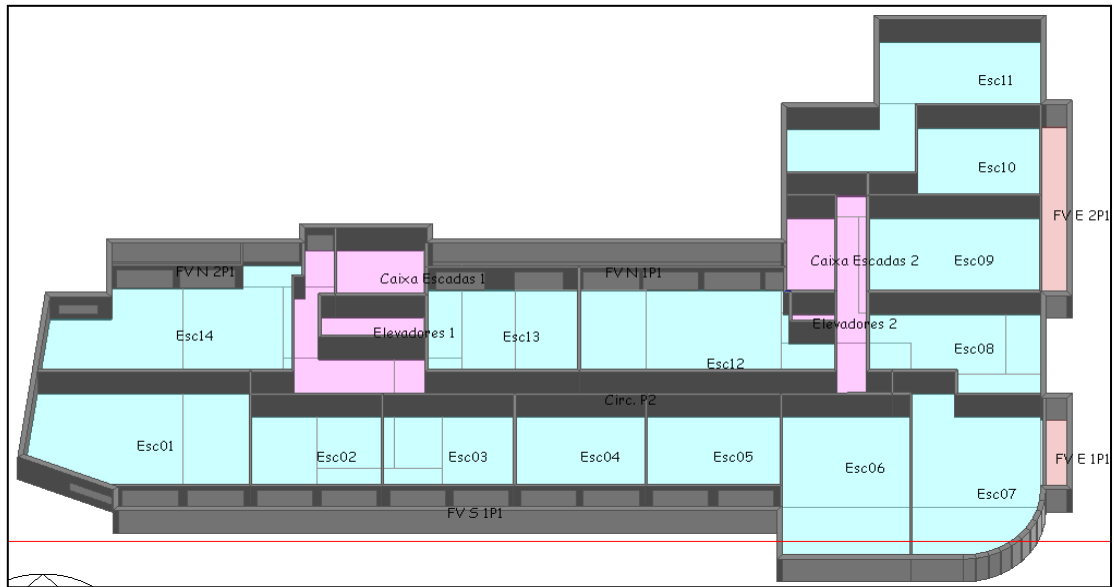


Figura 3 - Planta do Piso 0

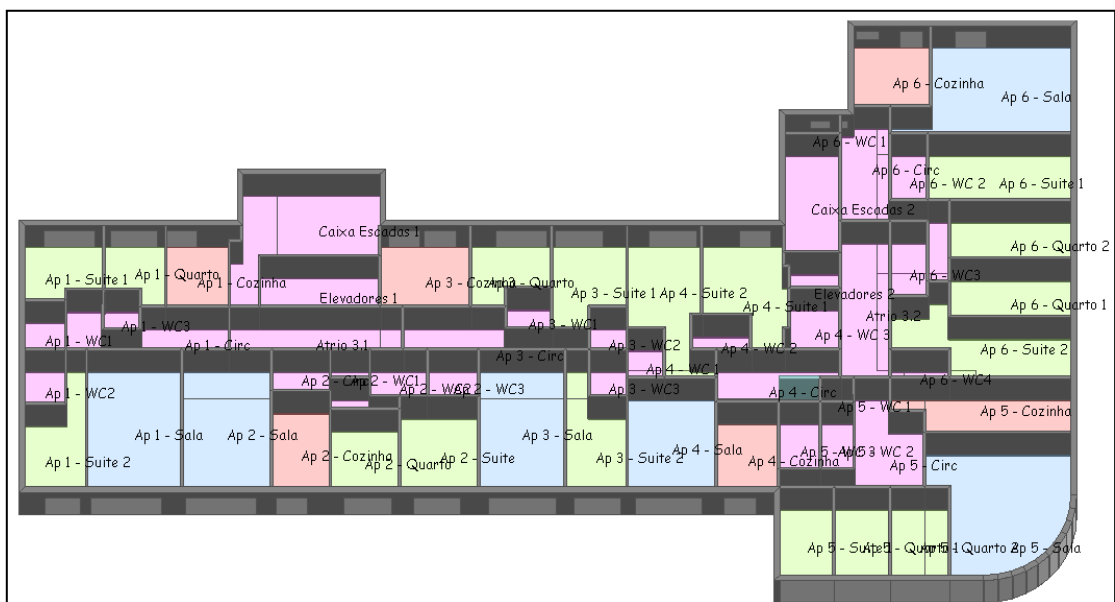
**Trabalho Final de Mestrado**  
**Projeto de AVAC de um Edifício com Multiutilização**

Os Pisos 1 e 2 têm a mesma arquitectura, sendo ambos compostos por 14 escritórios, vias de circulação e átrios de acesso aos pisos superiores e inferiores. Ambos os pisos são dotados de 5 fachadas ventiladas, uma a Sul, duas a Este e duas a Norte, como se pode verificar na Figura 4.



**Figura 4 - Planta do Piso 1 & 2.**

O piso 3 e 4 são constituídos por um total de 10 apartamentos, 6 no piso 3 e os restantes 4 apartamentos no piso 4.



**Figura 5 - Planta do Piso 3.**

### 3.2. Localização

O edifício localiza-se no centro de Cascais - Portugal, no cruzamento entre a Rua Doutora Iracy Doyle e a Rua Sebastião José de Carvalho e Melo.

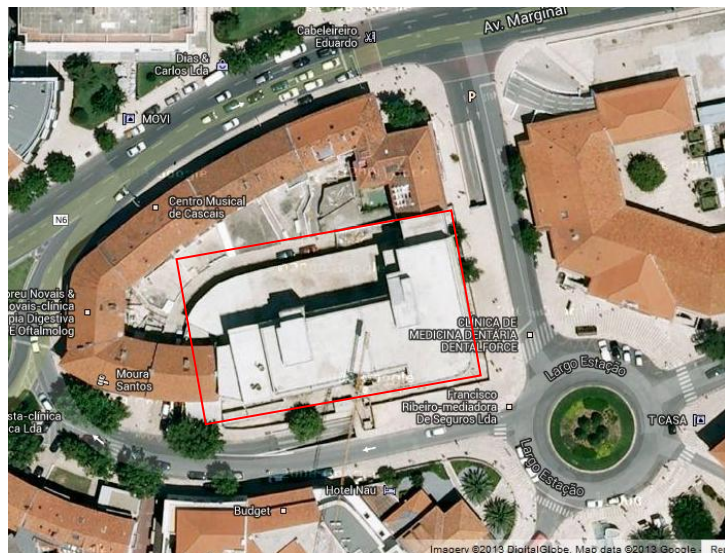


Figura 6 - Visualização de satélite da localização do edifício.

A distância do edifício ao mar é de apenas 150m, o que obriga ao cuidado na selecção dos materiais e equipamentos. Segundo o Laboratório Nacional de Engenharia Civil, a zona em estudo de classificação C3/4 (ISO 9223), pelo que todos os equipamentos e materiais deverão estar preparados para resistirem a condições agressivas.

Durante o estudo térmico do edifício utilizaram-se os dados climáticos de Cascais, fornecidos pela **Laboratório Nacional de Energia e Geologia (LNEG)**, existentes na base de dados do software Solterm.

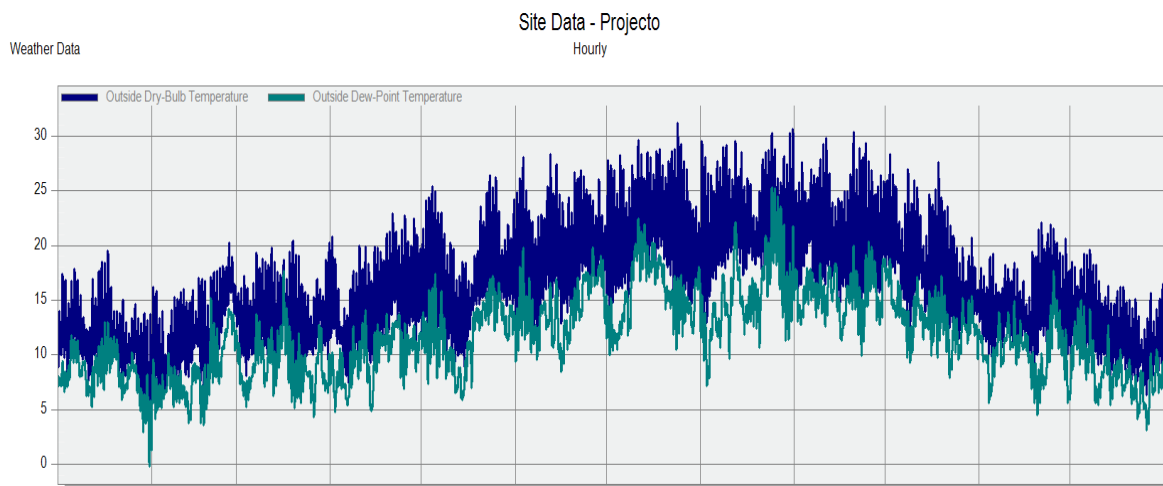


Figura 7 - Evolução da temperatura de bolbo seco e húmido ao longo do ano em Cascais.

Para termos uma perceção do ponto de vista climático, esta zona é caracterizada por temperaturas amenas, sem grandes amplitudes térmicas. De acordo com o DL 80/2006 (RCCTE), é caracterizado pelos seguintes valores regulamentares.

Localização	Zona Climática Inverno	Número de graus-dias (GD) (°C.dias)	Duração da estação de aquecimento (meses)	Zona climática Verão	Temperatura externa do projecto (°C)	Amplitude Térmica (°C)
Cascais	I2	1230	6	V1	29	8

**Tabela 1 - Valores característicos das condições exteriores em Cascais conforme DL 80/2006.**

### **3.3. Condições Interiores**

---

Um dos principais objetivos deste projeto é garantir um ambiente de elevado conforto para os seus ocupantes.

As condições interiores de projeto consideradas foram as seguintes:

Espaço	Inverno		Verão	
	Temperatura	Humidade	Temperatura	Humidade
Lojas	20°C	N.C.	24°C	N.C.
Escritórios	22°C	N.C.	23°C	N.C.
Habitação	23°C	N.C.	23°C	N.C.

**Tabela 2 - Condições interiores pretendidas para o edifício.**

Embora os valores de regulamentares de referência para verificação regulamentar sejam 20°C no Inverno e 25°C no Verão, Os valores adotados foram baseados no nível de conforto de acordo com o tipo de utilização, sendo utilizados os valores da ASHRAE Standard 55, em que as condições interiores de conforto são ajustadas de acordo com o tipo de atividade e vestuário.

### 3.4. Elementos Construtivos

---

#### *Paredes Exteriores*

---

As paredes exteriores foram definidas pela arquitetura, com 40cm de espessura, constituídas por 7 camadas, ordenadas do exterior para o interior da seguinte forma:

- 1 – Revestimento exterior em placas de mármore com 2,5cm de espessura,
- 2 – Lâmina de ar com 2,5cm de espessura,
- 3 – Tijolo com 15cm de espessura
- 4 – Lâmina de ar com 1cm de espessura
- 5 – Isolamento de 4cm de placas de cortiça
- 6 – Tijolo com 15cm de espessura
- 7 – Reboco de 1cm de espessura.

As pontes térmicas são corrigidas por intermédio de placas de poliestireno extrudido, com uma espessura de 9 cm.

Para esta solução considerou-se um coeficiente global de transmissão térmica U de  $0,429\text{W/m}^2.\text{K}$

#### *Paredes Interiores*

---

As paredes interiores têm 15cm de espessura, sendo constituídas por 3 camadas, ordenadas do exterior para o interior da seguinte forma:

- 1 – Reboco de 2cm de espessura.
- 2 – Tijolo com 11cm de espessura
- 3 – Reboco de 2cm de espessura.

O coeficiente global de transmissão térmica U, para esta solução é de  $2,135\text{W/m}^2.\text{K}$

### *Lajes intermédias*

---

As lajes intermédias, são dotadas de uma solução de 4 camadas, totalizando uma espessura de 35cm. A ordem das camadas é do piso inferior para o superior a seguinte:

- 1 – Reboco de 1,5cm de espessura.
- 2 – Placas de isolamento térmico e acústico EPS com 15kg/m<sup>3</sup> de densidade, com uma espessura de 10cm
- 3 – Betão armado com 21,5cm de espessura
- 4 – Acabamento com 2cm de espessura, mosaico nos pisos de lojas. Nos escritórios alcatifa. Na habitação, a solução adotada foi madeira nas salas, quartos e circulações e mosaico nas cozinhas e WC's.

Embora existam ligeiras diferenças entre lajes, o coeficiente global de transmissão térmica U considerado para ambas as situações foi de 0,315W/m<sup>2</sup>.K

### *Laje da cobertura*

---

As lajes da cobertura, são dotadas de uma solução de 4 camadas, totalizando uma espessura de 40cm. A ordem das camadas é do piso inferior para o superior a seguinte:

- 1 – Reboco de 1,5cm de espessura.
- 2 – Placas de isolamento térmico EPS com 15kg/m<sup>3</sup> de densidade, com uma espessura de 18,5cm
- 3 – Betão armado com 20cm de espessura
- 4 – Acabamento exterior com 10cm seixo rolado.

O coeficiente global de transmissão térmica U, para esta solução é de 0,175W/m<sup>2</sup>.K

### *Vãos envidraçados exteriores*

---

A solução aplicada nas janelas exteriores, foi vidro duplo de 6mm de espessura, com caixa-de-ar de 13mm, com um Coeficiente global de transmissão térmica incluindo caixilharia –  $U=1,772 \text{ W/m}^2.\text{K}$  e um Fator Solar (g) – 0,37%.

### *Vãos envidraçados fachadas ventiladas*

---

A solução definida para o revestimento exterior das fachadas ventiladas foi um vidro simples de 6mm de espessura, com um Coeficiente global de transmissão térmica –  $U=4,233 \text{ W/m}^2.\text{K}$  e um Fator Solar (g) – 0,71%.

### 3.5. Fachadas Ventiladas

A utilização destas soluções arquitetónicas tem como objetivo permitir o recurso a grandes vãos envidraçados, reduzindo o impacto térmico que estes introduzem no edifício, pela sua seletividade à radiação direta solar.

Os fenómenos térmicos que se verificam neste tipo de solução, são bastante complexos envolvendo fenómenos de radiação direta e difusa, convecção, condução e radiação por onda larga, mas de uma forma sumária permitem reduzir o impacto da radiação direta solar, através do aumento da seletividade do tipo de onda, filtrando a radiação de onda curta mas permitindo a entrada de radiação de onda-larga, que não introduz uma carga térmica considerável e fornece iluminação natural aos espaços do edifício, diminuindo a necessidade de iluminação artificial dos mesmos.

Esta solução pode ser combinada com sombreamentos locais e com registos de entrada de ar do exterior para a caixa-de-ar e da caixa dar para o interior, permitindo assim utilizar o ar do interior da caixa-de-ar para aquecimento do edifício.

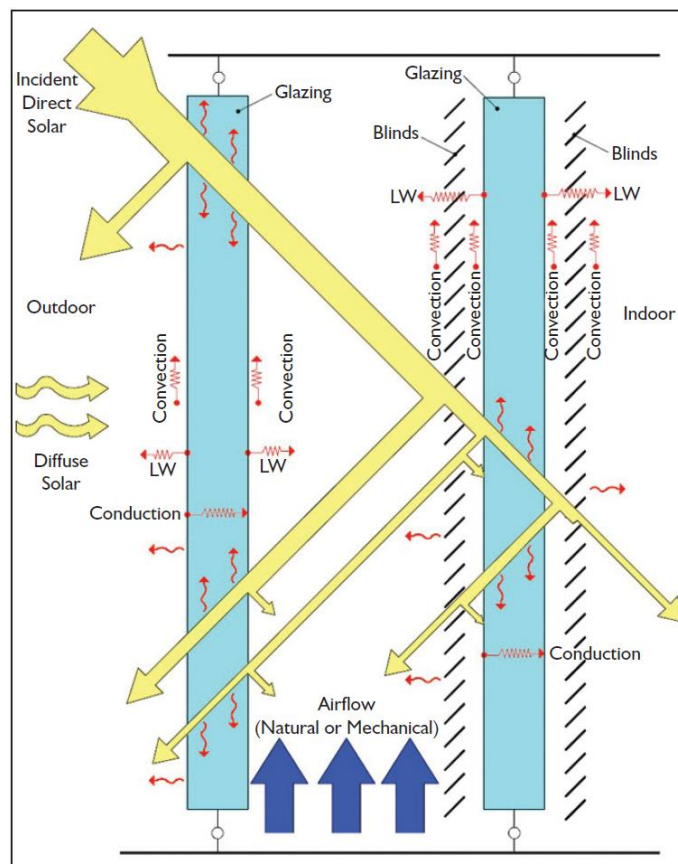
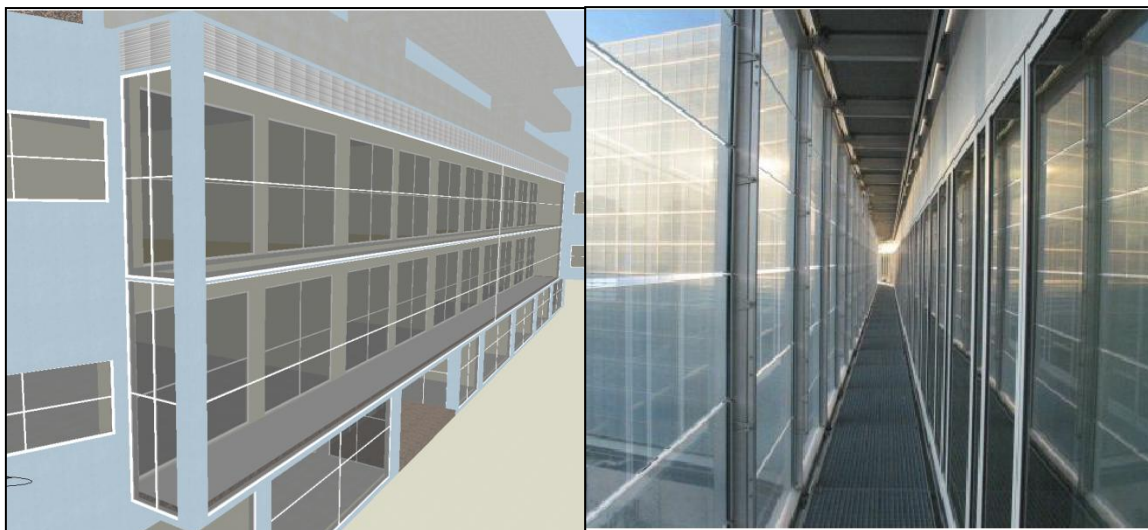


Figura 8 - Ilustração dos fenómenos que se verificam no interior das fachadas ventiladas (Fonte: Ray S. (Abril 2009). Ventilating Façades. ASHRAE Journal, Pagina 16 a 27)

Existem vários tipos de fachadas ventiladas, com diversas filosofias de utilização. A solução ótima varia de edifício para edifício, sendo necessário uma análise detalhada para a determinar, que embora seja bastante interessante, sai fora do âmbito deste trabalho.

De forma a contornar este facto sem cometer erros significativos, foi utilizado o Design Builder, que permite a simulação deste tipo de soluções, através dos algoritmos de convecção exterior DOE-2 e interior TARP, sendo posteriormente validados.

No modelo em estudo a ventilação no interior da fachada é natural sendo apenas controlada através de uma grelha motorizada na admissão de ar, localizada na base da fachada, que se considerou fechada nos períodos de aquecimento e aberta nos períodos de arrefecimento. No topo das fachadas existe uma grelha que estará sempre aberta.



**Figura 9 - À esquerda o modelo das fachadas ventiladas utilizado para o cálculo. À direita uma fotografia do interior de uma fachada ventilada.**

### 3.6. Cargas Internas

---

#### *Ocupação*

---

Tratando-se de um edifício de multiutilização, em que os espaços poderão ter uma utilização variável para a mesma tipologia, adotou-se como referência de ocupação os valores do Decreto-Lei n.º 79/2006 de 5m<sup>2</sup>/ocupante para as lojas e de 15m<sup>2</sup>/ocupante para os escritórios. Relativamente aos horários de ocupação de referência, foram também utilizados os valores referidos neste Decreto-Lei.

Para as áreas climatizadas dos apartamentos, considerou-se um ocupante por quarto e dois por suite, sendo o somatório de ambos, a ocupação da sala de estar de cada apartamento. Na cozinha foram consideradas duas pessoas. Relativamente aos perfis de utilização considerou-se como referência para cada espaço distinto os utilizados pela “National Calculation Method” (UK NCM), existentes na biblioteca do Design Builder.

O valor de carga térmica total libertada por cada ocupante variou consoante o espaço e o tipo de atividade associada, sendo considerado:

- Lojas - Atividade caminhar – 180W/ocupante (referência ASHRAE)
- Escritórios – Atividade de Escritório – 120W/ocupante – (referência CIBSE)
- Salas – Atividade sentado/caminhar – 140W/ocupante - (referência ASHRAE)
- Quartos – Atividade Descansar/Dormir – 90W/ocupante - (referência CIBSE)

A título indicativo, somando a ocupação máxima de cada espaço do edifício, o valor obtido é de 421 ocupantes.

#### *Equipamento*

---

Para as cargas térmicas associadas aos equipamentos dos diversos espaços, foram considerados para o cálculo térmico os valores indicados no Decreto-Lei n.º 79/2006, de 5W/m<sup>2</sup> para as lojas e de 15W/m<sup>2</sup> para os escritórios, assim como os respetivos perfis de utilização ao longo do dia.

Relativamente aos apartamentos, foram consideradas como cargas totais de equipamentos 200W nas Cozinhas, 100W nas Salas e 50W nos Quartos, sendo utilizados os perfis de distribuição ao longo do dia os indicados pela UK NCM.

### *Iluminação*

---

O sistema de iluminação previsto para este edifício foi do tipo adaptativo, variando em função dos valores de luminosidade pretendidos para os espaços principais.

O sistema selecionado permite adaptar a potência de iluminação em função das necessidades reais de cada espaço.

Os valores de luminosidade adotados foram de 350lux para as lojas, de 500lux para os escritórios e de 100lux para zonas de passagem, de acordo com as recomendações da EN 12464-1. Para a habitação considerou-se 200lux nos espaços principais e de 100lux nos restantes espaços.

Os perfis de utilização da iluminação foram adotados com base no D.L. n.º 79/2006 para os escritórios e lojas e com base nos perfis da UK NCM para os diversos espaços das habitações.

Os consumos utilizados foram de 3,75W/m<sup>2</sup>.100lux para os escritórios e lojas e de 5W/m<sup>2</sup>.100lux para os restantes espaços.

### *Caudais de Ar Novo Mínimos*

---

Para os escritórios e apartamentos foram adotados os valores do D.L. n.º 79/2006, cruzados com os valores indicados na EN15251: 2007, sendo selecionados os valores mais altos entre essas duas fontes. No caso das lojas adotaram-se os valores indicados na EN15251: 2007 (considerando-se uma percentagem de insatisfeitos inferior a 20%, e baixas emissões do edifício), e no caso dos escritórios adotaram-se os valores indicados no D.L. n.º 79/2006.

Para as habitações, os caudais de ar novo mínimo adotados para as zonas de ocupação alargada (salas, quartos e cozinhas) foram baseados no ASHRAE Fundamentals, capítulo 16, tabela 13.

Resumindo os valores utilizados:

- Escritórios: 7l/s.ocupante+ 0,7l/s.m<sup>2</sup>

- Lojas: 1,39 l/s.m<sup>2</sup>
- Habitação: 3,5l/s.ocupante
- Cozinhas: 20l/s

Estes valores foram majorados por um fator de eficiência de ventilação de 80%, de acordo com a EN 13779 2007, considerando uma difusão de ar com uma elevada taxa de indução.

O caudal de ar novo mínimo calculado para todo o edifício ronda os 28244m<sup>3</sup>/h.

### *Infiltrações*

---

As infiltrações, são todas as entradas de ar novo que são admitidas de forma não controlada, ou seja abertura de portas, frinchas, entre outras e são responsáveis por trocas térmicas do edifício, sendo por isso necessário ter em consideração este fator. Este depende diretamente do tipo e qualidade de construção, não sendo viável o cálculo manual destes valores, foi considerado o conteúdo do documento L1A da National House-Building Council (NHBC) que recomenda um valor médio de 6,4m<sup>3</sup>/h.m<sup>2</sup> de fachada, para um diferencial de pressão de 50Pa, sendo este o valor utilizado no modelo em análise.

### **3.7. Balanço Térmico**

---

Após a definição do modelo com os dados anteriormente referidos, procedeu-se ao cálculo térmico do edifício no módulo “Design” do Design Builder, com o objetivo de encontrar os valores base para o dimensionamento do sistema de climatização do mesmo.

#### **3.7.1. Cálculo Potência de Arrefecimento**

---

O cálculo das necessidades de arrefecimento permite conhecer o valor das cargas térmicas específicas do edifício, resultantes do diferencial de temperatura entre o edifício e o ar exterior e das suas cargas internas, conforme visto anteriormente. Este balanço permite determinar a potência térmica necessária para neutralizar estas cargas térmicas, mantendo assim os espaços às temperaturas pretendidas, conforme o definido nas condições interiores. Desta forma é possível definir qual a potência dos equipamentos de arrefecimento a prever para responder às condições climáticas mais desfavoráveis para o local de estudo. Nos locais não dotados deste tipo de equipamentos, como as circulações verticais e antecâmeras, o cálculo apenas considera os efeitos de ventilação mecânica e natural, conforme definido.

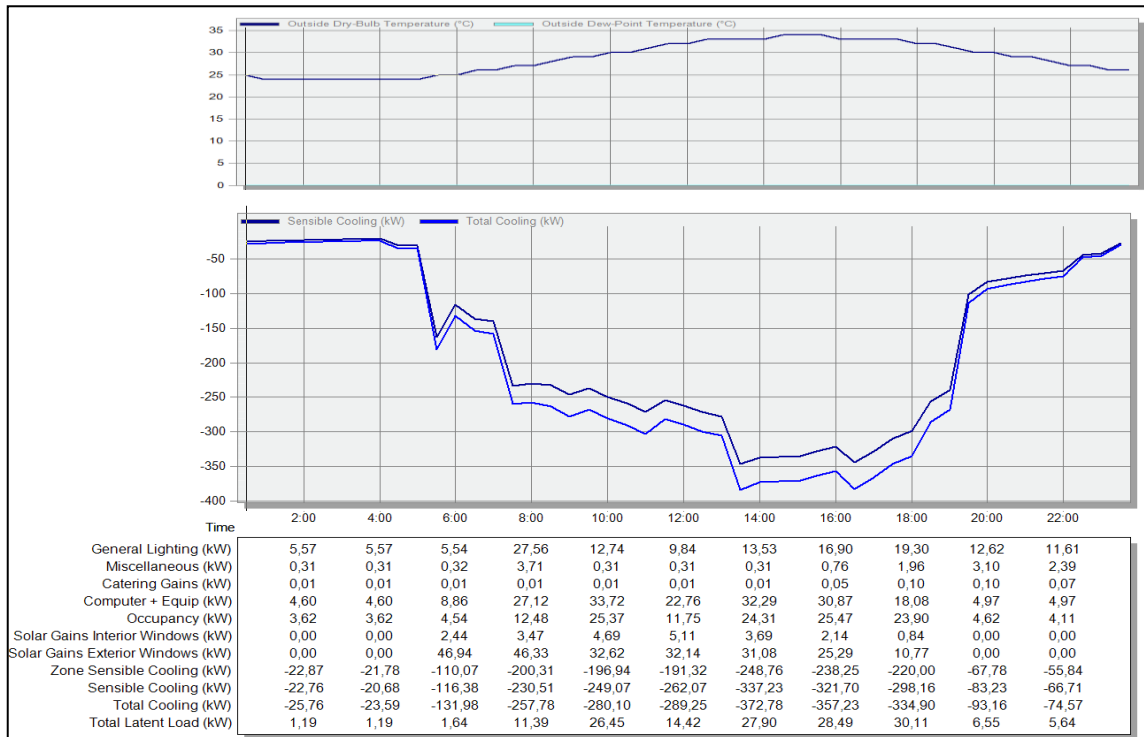
Estes cálculos são realizados utilizando o método de estado estacionário, com base na admissibilidade e fator de resposta, fornecidos neste caso pelo algoritmo do EnergyPlus. Resumindo as características deste cálculo:

- Estado estacionário periódico,
- Dia 15 de Julho,
- Sem vento,
- Considera os ganhos solares através das janelas e ventilação mecânica e natural controlada,
- Considera cargas térmicas dos ocupantes, iluminação e outros equipamentos,
- Considera condução térmica e convecção entre zonas com diferentes temperaturas,

As condições de projeto utilizadas para o dia de Verão, variaram ao longo do dia entre os 24°C e os 34°C, registando-se um valor máximo entre as 14:30 e 15:30.

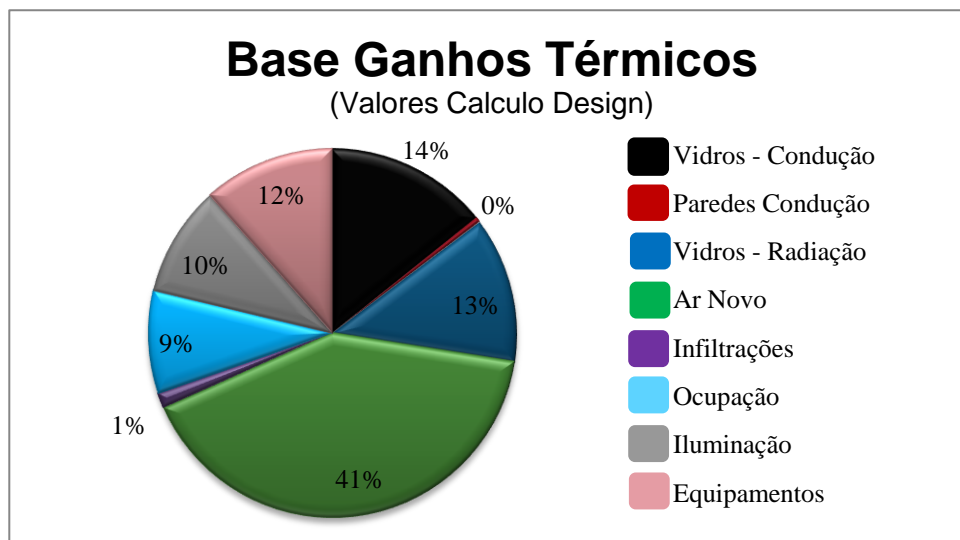
**Trabalho Final de Mestrado**  
**Projeto de AVAC de um Edifício com Multiutilização**

Para as condições definidas a variação da potência necessária no sistema de arrefecimento variou conforme a Figura 10, atingindo um pico instantâneo de 383,5kW às 13:30.



**Figura 10- Output do Design Builder, onde se mostra em cima a evolução da temperatura exterior no dia do Design e em baixo a variação da potência de arrefecimento solicitada ao sistema.**

Analisando agora os valores das diferentes cargas térmicas obtidos no cálculo efetuado, verifica-se que o ar novo é o principal responsável representando cerca de 41% dos ganhos térmicos, sendo num segundo nível a condução pelos envidraçados, a radiação, os equipamentos e a ocupação. Esta distribuição encontra-se refletida no Gráfico 1.



**Gráfico 1 – Contribuição dos diferentes ganhos térmicos para o valor de carga térmica total.**

### 3.7.2. Cálculo Potência de Aquecimento

O cálculo das necessidades de aquecimento foi feito com o módulo “Heating Design” do Design Builder, que tem como base o algoritmo do EnergyPlus.

O cálculo é feito com as seguintes características:

- Temperatura exterior de 4°C,
- Estado estacionário,
- Considera a velocidade e direção do vento,
- Não considera os ganhos por radiação,
- Não considera as cargas internas (equipamento, iluminação, ocupação...),
- Considera condução e convecção entre espaços a diferentes temperaturas,
- Utiliza um método de aquecimento convectivo até atingir a temperatura pretendida.

Para as condições definidas a energia necessária para manter as condições interiores pretendidas foi de 322kW.

A introdução de ar novo no edifício representa, mais uma vez, a maior carga térmica para o sistema atingindo um valor de 81% das perdas energéticas do edifício. A condução através dos envidraçados aparece no segundo nível com um valor de 13%, conforme o apresentado no Gráfico 2.

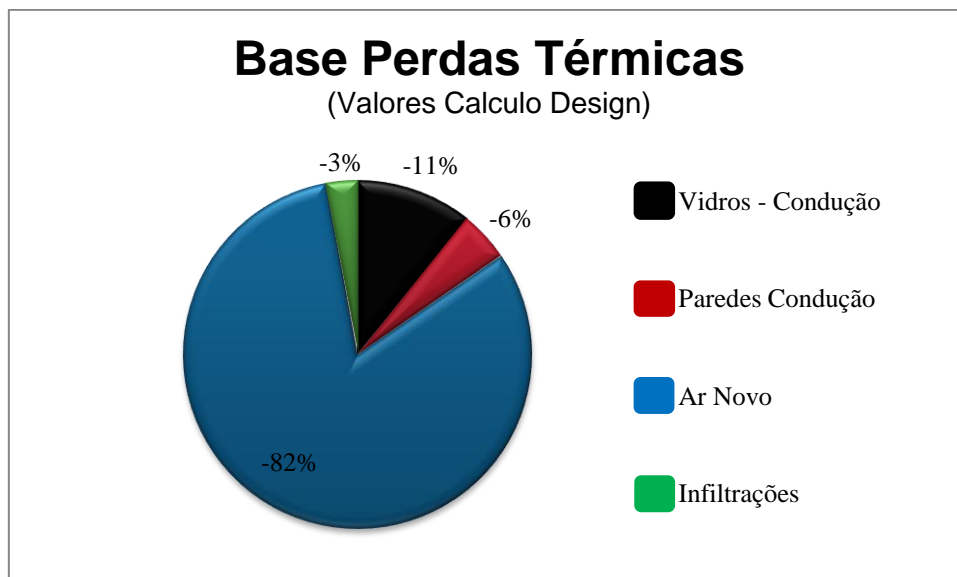


Gráfico 2 - Contribuição das diferentes perdas térmicas para o valor de carga térmica de aquecimento total.

## 4. Solução Base

---

A solução base foi criada por forma a ser utilizada como uma referência para outras possíveis soluções, permitindo análises fundamentadas que serão efetuadas posteriormente, justificando assim as soluções adotadas.

### 4.1. Modelo da Solução Base:

---

Para esta fase do estudo, a simulação realizada no Design Builder foi simplificada, utilizando-se o dimensionamento automático dos equipamentos, à exceção dos ventiladores. O modo de cálculo utilizado foi o Detailed Calculation, que permite desenvolver um esquema de princípio do sistema de acordo com o pretendido, sendo a simulação feita para o sistema definido. Esta nova ferramenta do Design Builder, lançada com a versão 3, veio permitir uma maior flexibilidade na escolha dos sistemas que se pretendem simular, permitindo ao mesmo tempo uma visualização simplificada, que ajuda na perceção do modelo, ajudando a reduzir possíveis erros de introdução de dados.

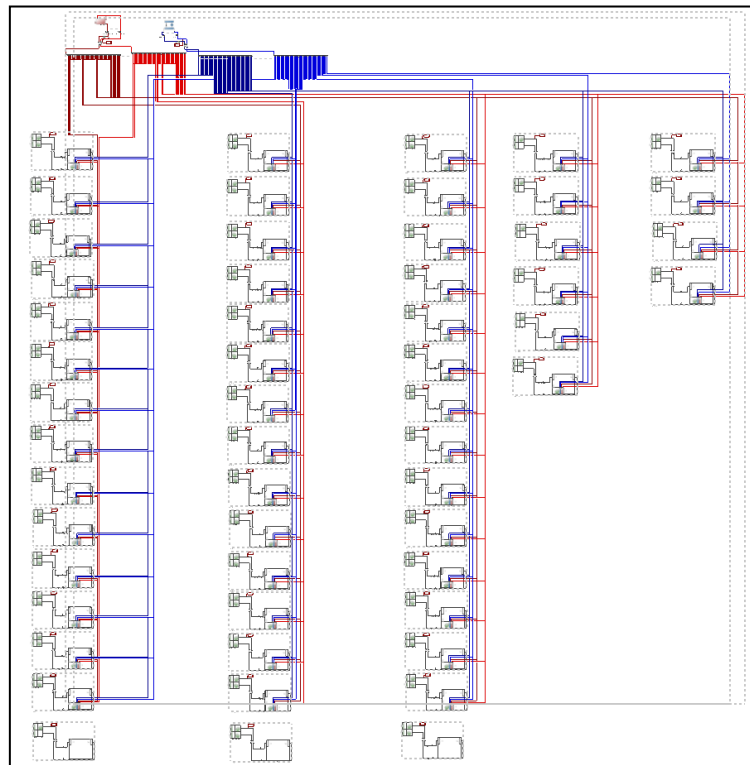


Figura 11 – Diagrama funcional desenvolvido no módulo Detailed HVAC do Design Builder de forma a definir a solução base.

## **4.2. Sistemas de Produção Térmica:**

---

Para este tipo de edifícios de multiutilização, a discussão entre a aplicação de soluções individuais ou soluções coletivas é grande. De forma a objetivar a discussão, foram definidos 4 parâmetros chave, fundamentais para a escolha do sistema:

- Flexibilidade
- Consumidor-Pagador
- Eficiência Energética
- Implicações Arquitetónicas

As soluções individuais, ou seja cada utilizador ter o seu sistema de climatização e ventilação independente, tem como principal vantagem a flexibilidade, a fácil definição de consumidor-pagador, mas por outro lado tem como desvantagem as implicações do ponto de vista energético, cujo consumo poderá ser agravado, bem como eventuais perturbações ao nível da arquitetura, dado existirem 46 espaços diferentes no edifício, o que implicaria a instalação da mesma quantidade de equipamentos de produção térmica no exterior.

Por outro lado as soluções coletivas apresentam vantagens e desvantagens simétricas relativamente aos sistemas individuais.

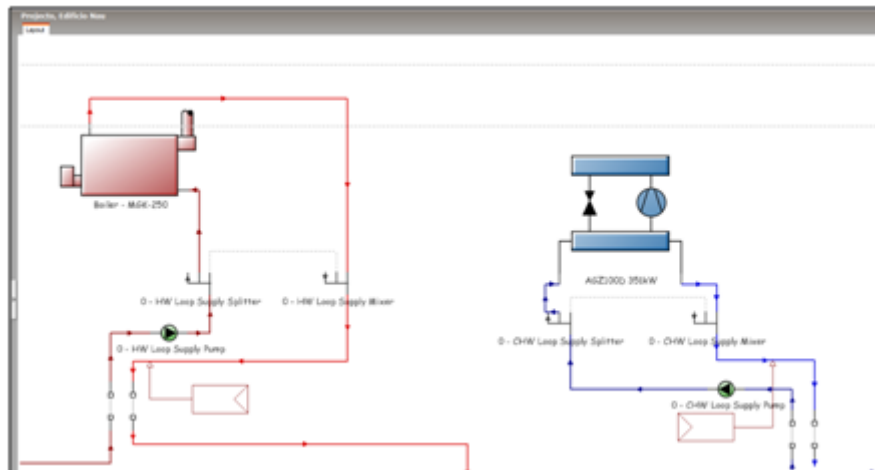
Tratando-se de um trabalho académico a decisão recai sobre a solução que apresente à partida a melhor eficiência energética, neste caso o sistema coletivo, procurando adaptar esta solução de modo a minimizar as suas desvantagens.

A segunda grande decisão foi a escolha do fluido de trabalho, frigorigeno ou água. Dados os sistemas avançados que existem no mercado, ambos os sistemas estão muito equivalentes do ponto de vista energético. A solução recaiu sobre a utilização de água sendo justificada pela maior flexibilidade que estes sistemas permitem.

A terceira decisão foi entre o sistema a quatro ou dois tubos, tendo sido adoptada uma instalação a quatro tubos, mais uma vez pelo fator flexibilidade.

Para a solução base recorreu-se a um sistema tradicional, com uma caldeira para produção de água aquecida para aquecimento e um chiller só frio arrefecido a ar para o arrefecimento.

O chiller de referência utilizado nesta seleção foi da marca McQWAY, modelo AGZ100D, tamanho 351. A caldeira de referência selecionada é do tipo de condensação, da marca WOLF, modelo MGK, tamanho 250.



**Figura 12 – Pormenor dos diagramas funcionais dos equipamentos produtores, definido no módulo Detailed HVAC do Design Builder**

### **4.3. Sistemas de Distribuição de Ar:**

Os fatores críticos utilizados na seleção do sistema de distribuição de ar são idênticos aos abordados anteriormente para a produção térmica.

O sistema adotado foi o de distribuição individual, com os principais argumentos da flexibilidade, consumidor pagador e menores implicações arquitetónicas interiores, sendo também mais vantajosa do ponto de vista energético, pela redução de perdas de carga no ar através da possibilidade de utilização de ramais mais curtos e diretos.

As admissões e exaustões de ar serão feitas na fachada do edifício em grelhas técnicas disfarçadas pela arquitetura, respeitando uma distância de mínima de 5 metros entre elas.

As extrações dos WC's, dado o seu pequeno caudal, serão coletivas nas lojas e escritórios e conduzidas para a cobertura, sendo o seu custo energético partilhado

pelo condomínio. Esta solução tem ainda a vantagem de proporcionar uma ventilação mínima nestes espaços, mesmo em períodos de não ocupação, de forma a diminuir a probabilidade da ocorrência de problemas de humidade que poderão afetar espaços circundantes.

A ventilação dos espaços comuns como as circulações, antecâmeras e parques de estacionamento ficam também a cargo do condomínio,

Para a solução base foram adotados ventiladores de insuflação e extração independentes, sem recuperação de calor entre eles, para cada espaço a tratar.

No caso dos apartamentos, o sistema adotado baseia-se num VMC (Ventilação Mecânica Controlada) de simples fluxo, sendo a admissão de ar feita através de entradas de ar autorreguladas, aplicadas nas fachadas dos espaços de grande ocupação, e a extração feita mecanicamente a partir dos WC's e cozinhas.

Quanto aos perfis de utilização do sistema de ventilação, considerou-se os indicados para a ocupação no D.L. n.º 79/2006, para os escritórios e lojas e perfil constante para a habitação, extração de WC's, átrios e antecâmeras.

Os consumos dos ventiladores, foram definidos através da seleção com base em software de um fabricante, tendo sido considerada uma caixa de ventilação com filtro F7 na insuflação e um ventilador de extração. A turbina dos ventiladores considerados para este estudo é do tipo centrífugo à reação, com motor do tipo EC de baixo consumo.

A ventilação do parque foi excluída desta fase do estudo.

#### **4.4. Consumidores Térmicos:**

---

Na solução base utilizaram-se ventilo-convetores a quatro tubos nos espaços principais do edifício, nomeadamente lojas, escritórios, salas, quartos e cozinhas.

Os perfis de utilização do sistema de climatização foram os indicados no D.L. n.º 79/2006 para os escritórios e pequenas lojas, e perfil constante para a habitação, extração de WC's, átrios e antecâmeras.

#### 4.5. Análise dos Resultados

Nesta secção pretende-se apresentar e criticar os valores obtidos da simulação realizada.

De forma a termos uma perceção do contributo dos diferentes tipos de cargas térmicas fez-se o somatório do valor em módulo verificado a cada hora, para as diferentes cargas, que não pode ser interpretado como a carga térmica introduzida ao longo do ano, mas sim como um valor indicativo calculado de modo a percebermos o seu peso negativo. Apresenta-se assim a distribuição dos valores obtidos no Gráfico 3.

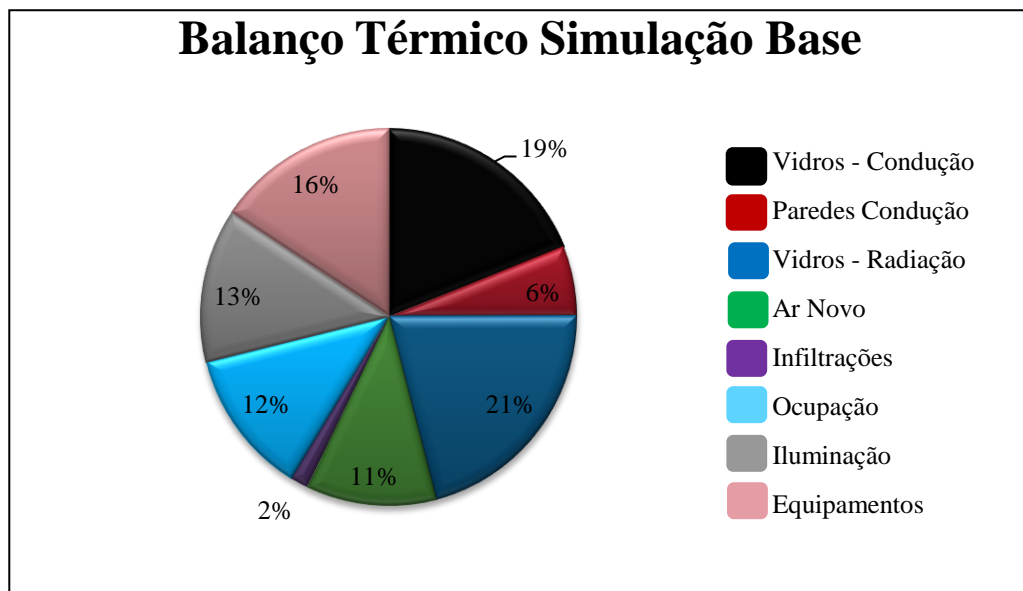


Gráfico 3 - Distribuição das cargas térmicas com base nos valores obtidos da simulação feita para a solução base.

Os vidros continuam a ser o grande ponto crítico deste balanço, com um peso total de 40% das perdas/ganhos ao longo do ano sendo 21% resultantes dos ganhos térmicos por radiação e 19% por condução. Como era de esperar o valor da carga térmica introduzida pelo ar novo reduz bastante o seu peso, quando comparado com os resultados obtidos no cálculo das necessidades de aquecimento e arrefecimento.

Perante estes resultados, podemos agora definir estratégias mais concretas para melhorar a eficiência energética do edifício. Analisando os principais pontos críticos que poderão ser alterados, pois não dependem da utilização do edifício, serão propostas possíveis melhorias nos envidraçados, ar novo.

#### 4.5.1 Análise Custo Energético de Exploração

Através dos resultados obtidos da simulação, consegue-se estimar os custos energéticos associados à operação dos diversos elementos do sistema AVAC do edifício. Para a solução base, os consumos obtidos foram de 210.1MW.h/ano de gás natural e de 166,7MW.h/ano de energia para o sistema de climatização. De forma a termos uma ideia da grandeza de valores do custo de exploração expectável para este sistema, estimou-se um custo anual em energia de 29700€ (considerando as taxas de 0,12€/kWh e de 0,046€/kWh, para a eletricidade e para o gás, respetivamente). Os pesos dos custos de cada elemento do sistema de AVAC são apresentados no Gráfico 4, sendo possível comparar os equipamentos a gás e elétricos.

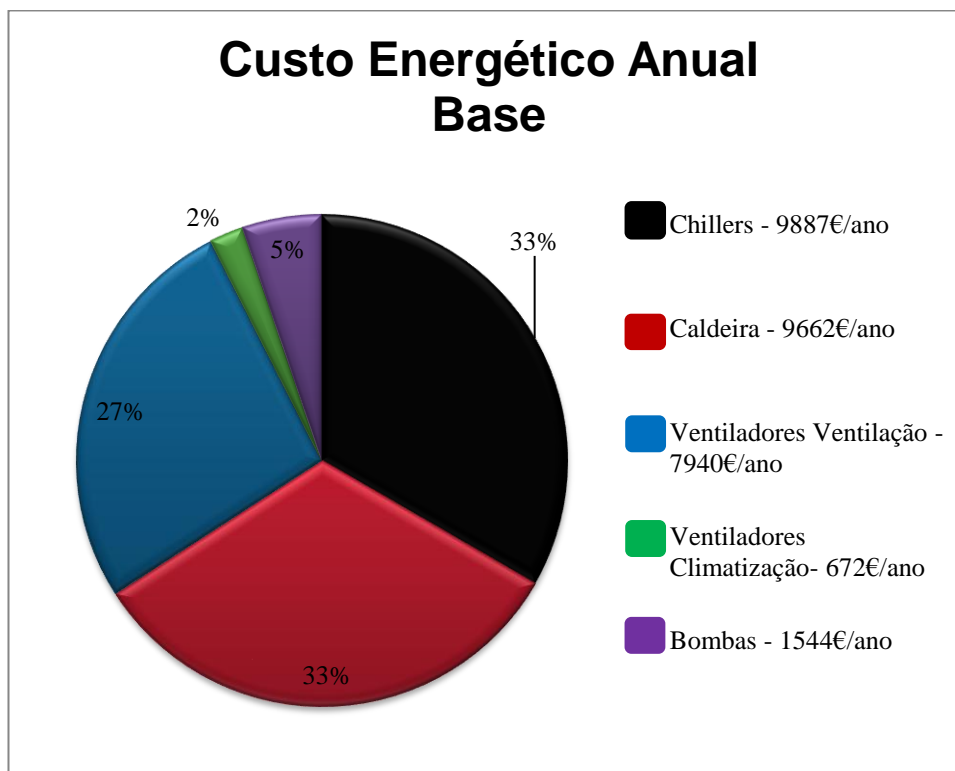


Gráfico 4 - Distribuição dos custos em energia anuais, para os diferentes componentes do sistema de AVAC.

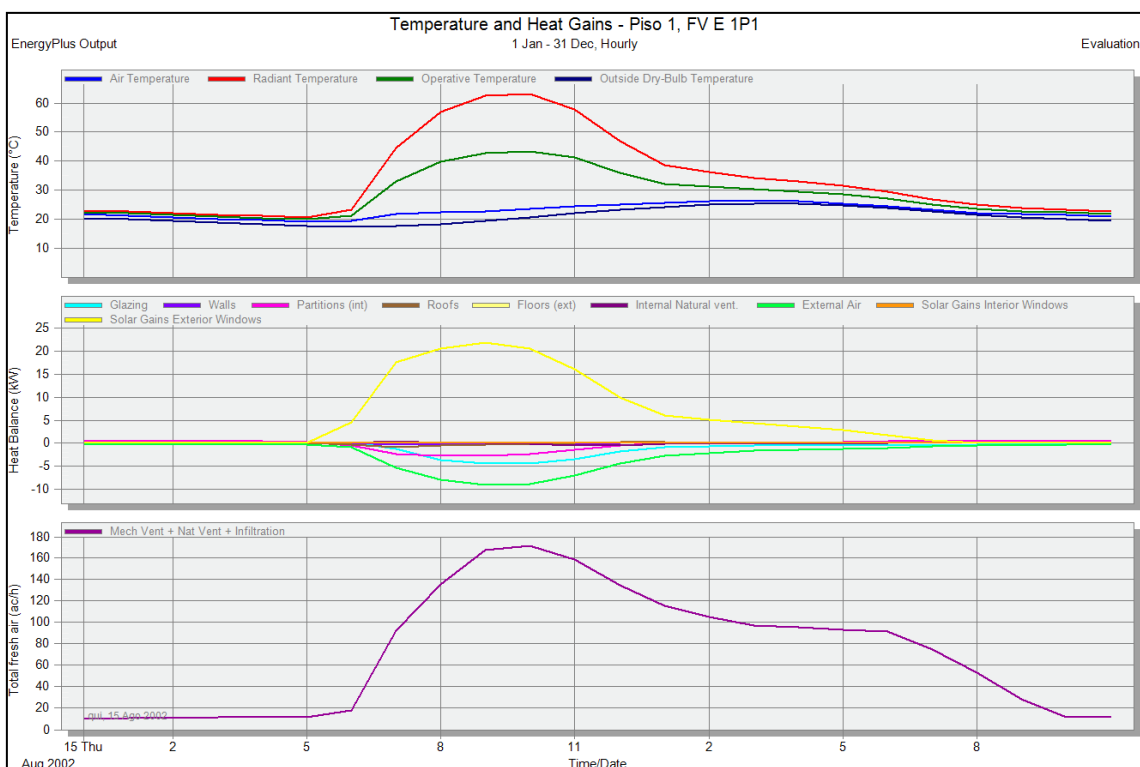
Analisando estes resultados verifica-se que o peso do chiller e da caldeira apresentam valores muito semelhantes, embora do ponto de vista de potência térmica produzida o chiller tenha uma produção 23% superior ao valor da caldeira.

#### 4.6. Análise Fachadas Ventiladas

Conforme já abordado, uma das razões para a realização destes estudos no Design Builder deveu-se à capacidade que este software tem de calcular e simular os fenómenos que se verificam no interior das fachadas, como a convecção e radiação.

Após a realização da simulação, pretende-se agora analisar os resultados nestes espaços de forma a confirmar que sua modelação foi feita de forma correta.

Analisando os gráficos retirados do software presentes na Figura 13, relativo à fachada ventilada Este 1 do edifício, verificamos a evolução das variáveis chave ao longo de um dia típico de Verão.



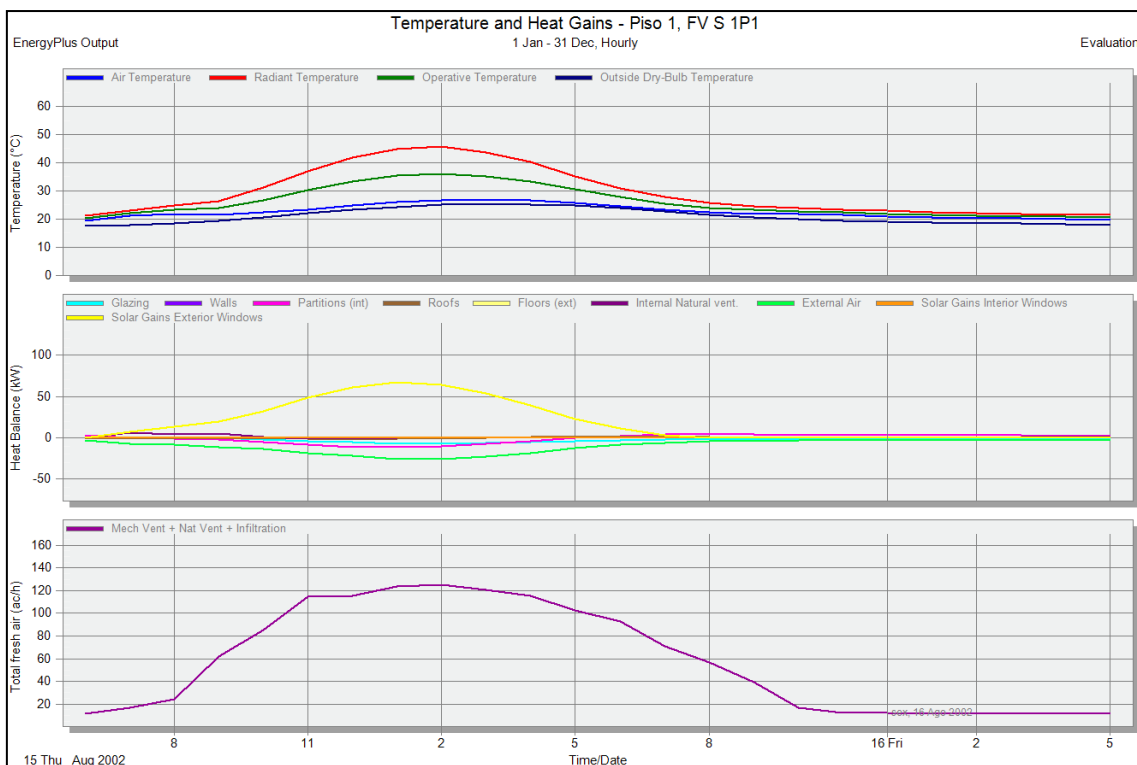
**Figura 13 - Variação da temperatura, cargas térmicas e caudal de ar verificado ao longo de um dia típico de Verão, na fachada ventilada Este 1.**

No primeiro gráfico, onde estão representadas as temperaturas em jogo, verifica-se a evolução da temperatura radiante, resultante da radiação direta solar e da radiação libertada pelos elementos da envolvente do espaço, registando valores de pico a rondar os 60°C. Por outro lado a temperatura do ar permanece ligeiramente acima da temperatura exterior, graças à ventilação natural (perceptível no 3º gráfico) resultante dos fenómenos de convecção e efeito chaminé, que promove a movimentação de grandes caudais de ar dentro destas estruturas. A temperatura

operativa será a temperatura média entre a temperatura radiante e a do ar, que pode ser traduzida na temperatura que seria percebida por um ocupante sujeito a estas condições. A diferença entre a temperatura radiante e temperatura do ar é diretamente proporcional a sensação de desconforto, ou seja quanto maior esta amplitude maior o desconforto do ocupante.

Ainda pela análise da figura anterior, verifica-se que o pico de radiação e ventilação natural ocorre entre as 8h e as 11h como seria de prever dado esta fachada estar virada a nascente. No 2º gráfico onde estão representadas as variações das cargas térmicas em jogo, destaca-se pelo interesse a carga térmica (a verde) introduzida pelo ar exterior que promove o arrefecimento da fachada e a forma como varia simetricamente com as cargas por radiação.

Na Figura 5, verificamos uma evolução da fachada Sul muito semelhante à da fachada Este.



**Figura 14 - Variação da temperatura, cargas térmicas e caudal de ar verificado ao longo de um dia típico de Verão, na fachada ventilada Sul 2.**

Verifica-se que a Sul o pico não é tão localizado mas confirma-se o seu atrasado, conforme o que seria de esperar, ocorrendo por volta das 14:00.

Analisando agora a diferença entre os ganhos solares com e sem este tipo de estrutura, vamos utilizar como base de estudo os Escritórios 8 e 9 do Piso 1.

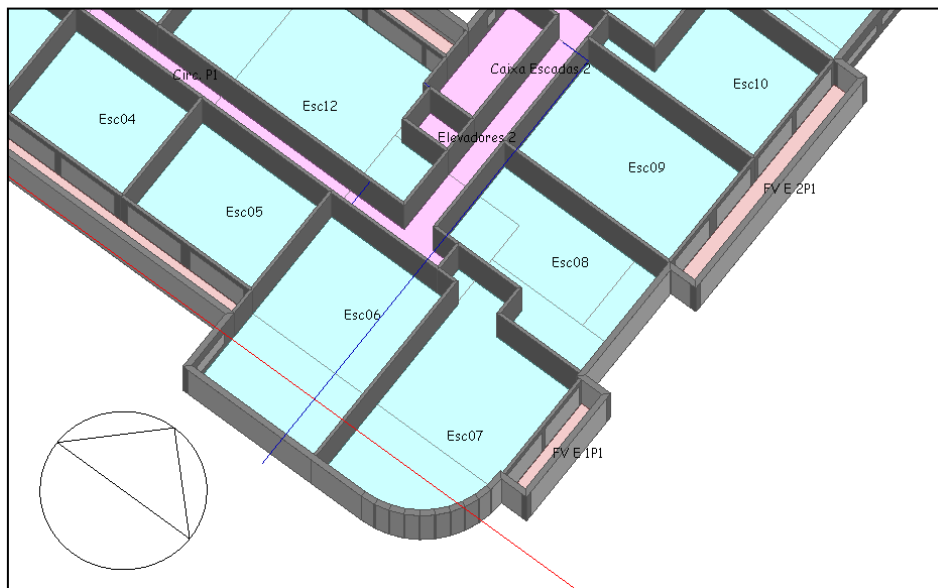


Figura 15 - Pormenor dos Escritórios 8 e 9 do piso 1. O Escritório 9 é dotado de fachada ventilada enquanto o Escritório 8 não.

Ambos os escritórios têm áreas muito semelhantes, o Escritório 8 com  $59,9\text{m}^2$  e o escritório 9 com  $63,7\text{m}^2$ .

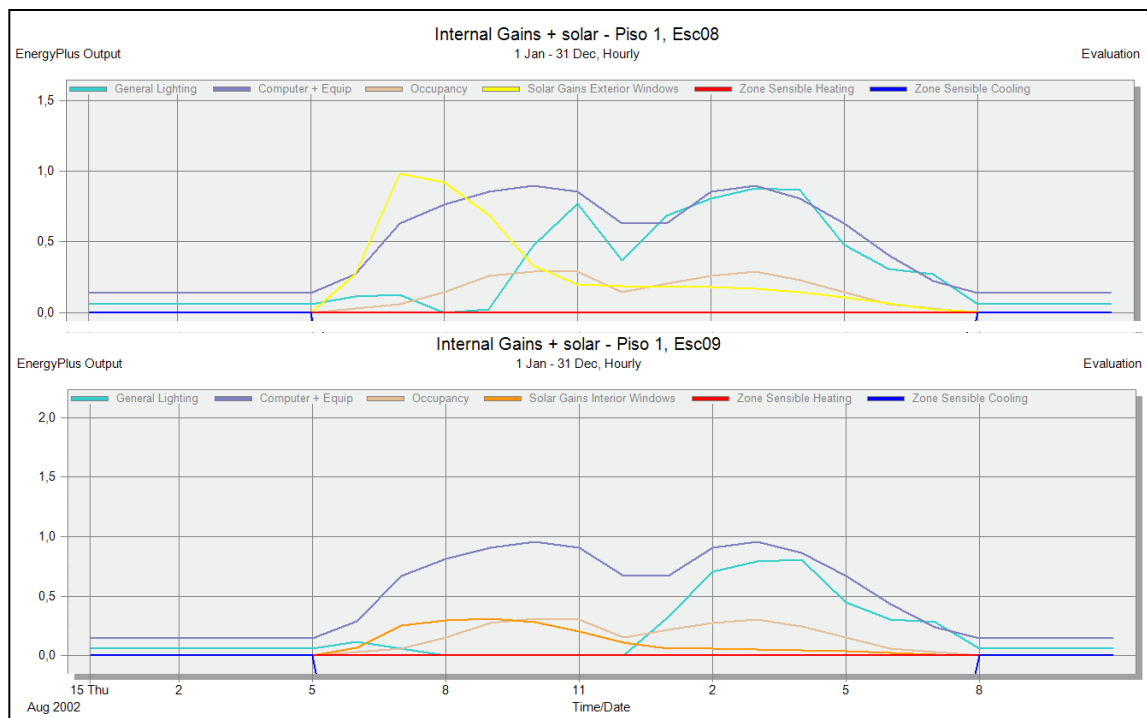


Figura 16 - Comparativo entre os ganhos térmicos do Escritório 8 e Escritório 9 do Piso 1.

Comparando os dois gráficos da Figura 16, verificam-se diferenças muito significativas, ficando claro a vantagem da aplicação das fachadas ventiladas com o objetivo de reduzir os ganhos térmicos associados aos vãos envidraçados por radiação. Analisando os valores, verifica-se que o Escritório 8 atinge um pico de 0,98kW às 7:00, enquanto o Escritório 9 apresenta um pico muito mais plano e com um valor na ordem dos 0,3kW.

Perante esta análise, os valores foram considerados corretos e validados confirmando-se que não introduzem erro significativo nos cálculos efetuados para o edifício.

#### **4.7. Propostas de Melhoria à Solução Base:**

---

##### *Recuperação de calor no ar*

---

Como foi verificado nos resultados do cálculo das necessidades de arrefecimento e aquecimento e nos resultados da simulação, o ar novo introduz a maior perda/ganho térmico do edifício. Por essa razão e existindo a obrigação regulamentar da sua aplicação, será necessário recorrer a sistemas de recuperação de calor entre a extração e a insuflação.

Para este fim recorreu-se a permutadores de placas de contra fluxos que apresentam eficiências de recuperação a rondar o 80% e apresentam como vantagem relativamente aos recuperadores rotativos, uma menor manutenção dado serem equipamentos estáticos (à exceção do “by-pass” para “free cooling”) e a distância entre placas ser bastante superior à distância das alhetas de um recuperador rotativo, o que torna as operações de limpeza do recuperador, mais fáceis.

Para a introdução dos rendimentos térmicos dos recuperadores, que variam consoante os caudais, foi utilizado um software de um fabricante para a selecionar os 42 recuperadores existentes, sendo os valores de recuperação introduzidos no software antes da simulação.

### *Envidraçados mais eficientes*

---

Outro dos fatores críticos detetados durante a simulação e cálculo das capacidades de arrefecimento e aquecimento do edifício, foi a parcela relativa aos vãos envidraçados.

Recordando as características dos envidraçados utilizados anteriormente na solução base, foi utilizado um vidro duplo de 6mm com caixa-de-ar de 13mm, com um Coeficiente global de transmissão térmica –  $U=1,772 \text{ W/m}^2.\text{K}$  e um Fator Solar (g) – 0,37%. Analisando a base de dados do Software Design Builder, optou-se pela aplicação de um vidro duplo de 13mm escurecido, com caixa-de-árgon de 13mm, com um Coeficiente global de transmissão térmica –  $U=1,493 \text{ W/m}^2.\text{K}$  e um Fator Solar (g) – 0,14%. Ou seja reduziu-se consideravelmente o valor de transmissão térmica e em simultâneo o fator solar.

#### **4.7.1. Análise do Impacto das Melhorias à Solução Base:**

---

Após introduzidas estas alterações, procedeu-se ao cálculo das potências de aquecimento e arrefecimento do novo modelo de forma a analisar o impacto das mesmas.

Balanço Térmico (Pico)	Arrefecimento [kW]		Aquecimento [kW]	
	Base	Solução	Base	Solução
Vidros – Condução	40,3	37,9	-32,1	-28,8
Paredes Condução	1,3	1,3	-13,8	-13,8
Vidros – Radiação	36,0	14,1	-	-
Ar Novo	115,4	115,4	-242,6	-242,6
Infiltrações	3,9	3,9	-8,6	-8,6
Ocupação	25,3	25,31	-	-
Iluminação	27,4	27,4	-	-
Equipamentos	32,6	32,6	-	-

**Tabela 3 -Comparação entre os valores das necessidades de arrefecimento e aquecimento da solução base e a solução adotada.**

Como é possível constatar, os valores permanecem praticamente constantes à exceção dos valores da carga térmica de radiação e condução através dos vidros, nos quais existe uma redução de 24,2kW para a situação de Verão e uma redução das perdas térmicas de 3,2kW, fundamentando assim a escolha.

**Trabalho Final de Mestrado**  
**Projeto de AVAC de um Edifício com Multiutilização**

Relativamente ao ar-novo, e dado o módulo de cálculo ser o “Design”, a recuperação de calor não é considerada, tendo de se águardar pelos resultados da simulação para fazer essa análise.

## **5. Solução Adotada:**

---

### **5.1. Descrição**

---

Sendo este projeto um trabalho académico, o fator principal para a escolha do sistema adotado foi a eficiência energética do sistema de AVAC e da produção de águas quentes sanitárias.

Nesse sentido procurou-se uma solução eficiente e segura do ponto de vista de fiabilidade, com a possibilidade ser intervencionada para manutenções sem haver a necessidade de parar a distribuição de energia ao edifício, garantindo assim um elevado nível de conforto. O investimento inicial não foi alvo de grande preocupação e análise profunda.

A filosofia do sistema foi adotada com base na análise dos valores resultantes das simulações efetuadas previamente, onde se verificava a necessidade de arrefecimento das lojas durante praticamente todo o ano. Nos escritórios, verifica-se também a necessidade de arrefecimento desde Março a Novembro.

A potência térmica a instalar para produção de água arrefecida e água aquecida foi calculada com base nos valores obtidos no módulo Design do Design Builder. O valor adotado foi obtido com base na potência de arrefecimento máxima de cada espaço, considerando-se que esta se verifica em simultâneo, obtendo-se assim um valor de 541kW. Este sobredimensionamento consciente foi feito de forma a garantir o máximo conforto dos ocupantes, aumentando assim a capacidade de resposta do sistema nos dias mais extremos com temperaturas e durações superiores ao valor considerado durante o cálculo, que se verificam esporadicamente no território Nacional. Desta forma garante-se a possibilidade da produção térmica instantânea muito aproximada da potência dos equipamentos de climatização instalados. Outra das razões deve-se ao facto de algum dos espaços poderem vir a ter maior necessidade de potência do que a prevista devido ao tipo de atividade que virão a ser desenvolvidas nos espaços, que se desconhece ao certo.

Relativamente à potência instalada para a produção de água aquecida, adotou-se os valores diretos obtidos do cálculo Design (299kW – Sem contabilizar AQS), dado o desfasamento entre este valor máximo e o verificado na simulação, que revelam um sobredimensionamento bastante considerável.

Pelas razões descritas anteriormente, decidiu-se utilizar dois grupos principais de geradores térmicos, o que permitirá parar um deles para intervenções de manutenção, preferencialmente nas épocas de meia estação.

O Chiller 1, será um chiller só frio com recuperação, o que permite recuperar energia para o sistema de aquecimento do edifício em vez de a dissipar no ar. O Chiller 2 por sua vez será reversível, ou seja, poderá funcionar para a produção de água aquecida quando a potência recuperada no Chiller 1 não for suficiente ou para a produção de água arrefecida quando a potência do Chiller 1 não for suficiente. A prioridade de funcionamento será sempre do Chiller 1.

A central técnica será dotada de 3 depósitos principais, depósito de água arrefecida, água aquecida e depósito de águas quentes sanitárias.

O depósito de água aquecida estará interligado ao permutador de recuperação do Chiller 1 e ao permutador principal do Chiller 2. O depósito de água arrefecida estará também ele interligado a ambos os chillers. A comutação entre a linha de fornecimento do Chiller 2 aos depósitos de água arrefecida e aquecida será feita através de um jogo de válvulas, acionadas por atuadores de duas posições.

O depósito de águas quentes sanitárias (AQS), estará interligado através de um permutador interno ao depósito de água aquecida, que será responsável por pré-aquecer este depósito até aos 45°C, permitindo assim aproveitar também o potencial de recuperação do Chiller 1 para a preparação das AQS. A restante potência necessária para elevar a temperatura até aos 60°C, temperatura de acumulação e distribuição deste sistema, será proveniente do sistema de produção térmica solar que será aplicado nesta solução. Sempre que a produção solar não seja suficiente, será ativada uma pequena caldeira auxiliar.

A aplicação desta pequena caldeira foi uma solução de recurso, pois era pretendido utilizar uma bomba de calor água-água, que funcionaria com um regime de temperaturas de condensação de 65°C 60°C para aquecimento do depósito AQS e com um regime de evaporação de 50°C e 45°C interligado ao depósito de água aquecida, o que permitiria atingir eficiências energéticas ainda mais elevadas e abolir a utilização de gás no edifício. Foram contactados 3 fornecedores deste tipo de soluções e realizada uma pesquisa profunda na WEB, sendo a resposta obtida de ambos, do ponto de vista de ciclo seria possível e viável, mas como não existe um requisito no mercado para o funcionamento nesta gama de temperaturas de

evaporação, não existindo uma solução standard para os requisitos pretendidos, abandonando-se assim esta possível solução.

As linhas de distribuição de potência térmica pelo edifício, será feita com caudal variável em função dos consumos.

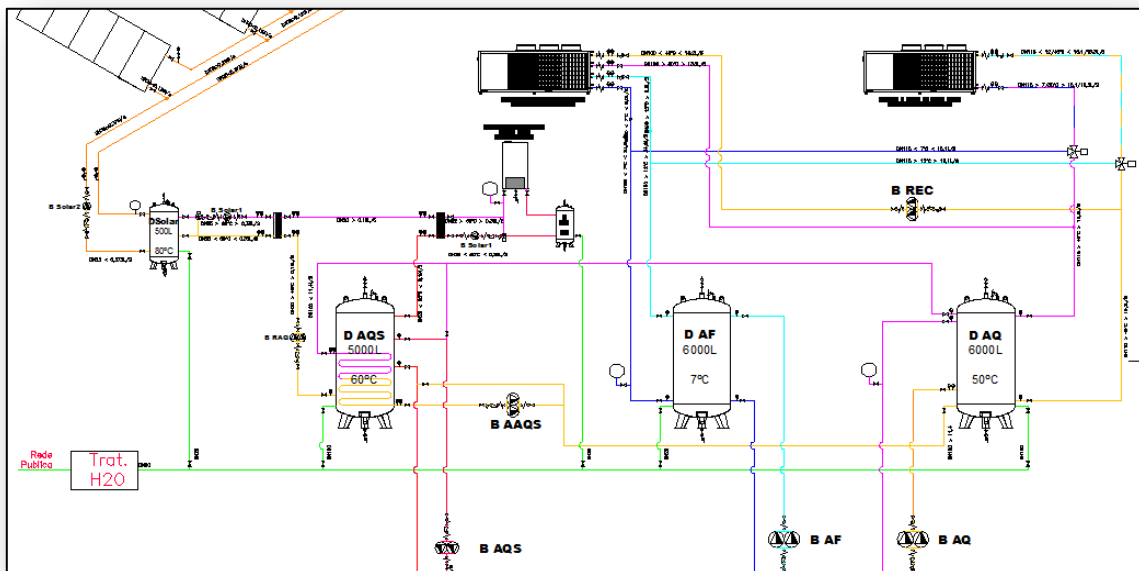


Figura 17 - Esquema de princípio da produção térmica do edifício.

## 5.2. Produção Térmica Primária

A produção de água arrefecida para o sistema de climatização do edifício será produzida prioritariamente pelo Chiller 1 e quando necessário pelo Chiller 2, ambos em simultâneo, quando a carga assim se justificar.

A divisão de potência entre os chillers, teve como base a potência de aquecimento necessária para o edifício, que será produzida pelo Chiller 2 em funcionamento como bomba de calor. A potência necessária será a dedicada ao aquecimento do edifício 299kW, mais a potência necessária para a pré-preparação das AQS 34kW (ver capítulo Águas Quentes Sanitárias – AQS), ou seja um total de 333kW.

Através do software do fabricante do chillers selecionou-se o Chiller 2.

Ref:	Potência Nominal	Potência Arrefecimento*	Potência Aquecimento*
Chiller 2	350kW	338,2kW	349,8kW
* Para as condições exteriores e regimes de água de projeto.			

O Chiller 1, foi selecionado para o diferencial entre a potência de arrefecimento total e a potência do de arrefecimento do Chiller 2 ou seja, a capacidade mínima será de 202,7kW.

Através do software do fabricante do chillers selecionou-se o Chiller 1.

Ref:	Potência Nominal	Potência Arrefecimento*	Potência Aquecimento*
Chiller 1	200kW	202,5kW	266,7kW
* Para as condições exteriores e regimes de água de projeto.			

O depósito de inércia do sistema de arrefecimento foi calculado, com base na referência de uma recomendação técnica do fabricante Grundfos, que define o cálculo do depósito de acordo com o perfil de carga do sistema e no perfil de funcionamento do chiller.

$$Volume\ depositos\ [m^3] = \frac{Q_{Pmin} - Q_{Smin}}{\frac{60}{T}}$$

Através desta formula, em que  $Q_{Pmin}$  é o caudal mínimo do primário em  $m^3/h$ , neste caso seria o caudal do Chiller 1 de 34,9  $m^3/h$ ,  $Q_{Smin}$  o caudal mínimo do secundário em  $m^3/h$  correspondente ao caudal mínimo de funcionamento da bomba B AF, calculado através da relação entre a rotação de funcionamento da bomba para o ponto de funcionamento pretendido e a sua rotação mínima, o que dá um valor de aproximadamente 15% o que resulta num valor de 12,6 $m^3/h$ .

O valor T será o tempo mínimo de funcionamento dos chillers em minutos. De forma a evitar arranque e paragens sucessivas definiu-se como período mínimo de funcionamento de 10 minutos.

Para estas condições o volume mínimo calculado foi de 3,7m<sup>3</sup>, optando-se por um depósito de 4m<sup>3</sup> correspondente a períodos de funcionamento mínimos de 16 minutos.

Verificando estes valores com os valores mínimos recomendados pelo fabricante do chiller, neste caso 4L/kW, confirmando-se que este valor de acumulação supera bastante este valor mínimo, pelo que está garantido o correto funcionamento dos chillers.

Relativamente ao depósito de acumulação de aquecimento, pretende-se que este tenha grande capacidade de forma a permitir acumular a potência recuperada do Chiller 1, minimizando assim os custos de operação da instalação e por outro lado garantir a acumulação de energia suficiente para responder aos picos do sistema de AQS. Assim e de acordo com o tempo mínimo de funcionamento do Chiller 1, definido anteriormente de 10 minutos, definiu-se o valor de acumulação considerando o funcionamento do chiller neste período num regime de 75% do valor da sua potência total, obtendo-se um volume necessário para acumular a energia resultante de 5940L de água a 50°C, adotando-se assim um depósito de 6m<sup>3</sup>.

### **5.3. Águas Quentes Sanitárias - AQS**

---

No âmbito deste projeto pretende-se dimensionar o sistema de produção do sistema de Águas Quentes Sanitárias (AQS) para os apartamentos do piso 3 e 4.

O dimensionamento deste tipo de sistema requer uma análise e previsão fundamentada do tipo de utilização esperada, de forma a encontrar um equilíbrio entre dimensão e custo do sistema, e o tempo de resposta do mesmo. A probabilidade de todas as torneiras de água quente abrirem no seu caudal máximo, é muito reduzida. De forma a dimensionar um sistema eficaz e eficiente, calculou-se os principais valores característicos do consumo.

O cálculo do Caudal Máximo AQS foi feito com base nos valores de caudal instantâneo por equipamento, apresentados no Decreto Regulamentar n.º 23/95, anexo IV. Para todo o edifício o valor resultante foi de 14,25l/s.

Como a solução adotada foi um sistema de acumulação de água a 60°C e considerando que a temperatura de consumo de água quente não ultrapasse os 50°C,

o valor do Caudal Máximo AQS tem de ser afetados por um coeficiente resultante da relação entre o diferencial de temperatura. Considerando a água da rede a 15°C o coeficiente resultante foi de 0,8, ou seja, o Caudal de Máximo de AQS será de 11,4l/s de água a 60°C.

Como já referido, a situação do Caudal Máximo de AQS é uma situação teórica, que a probabilidade de se verificar é praticamente nula. Recorrendo ao Decreto Regulamentar n.º 23/95, anexo V, optou-se por um coeficiente de simultaneidade de 30% para o cálculo do Caudal de Pico, +50% do valor mínimo regulamentar de 20%.

O valor obtido para o Caudal de Ponta foi de 3,42L/s.

A situação extrema considerada para garantir o conforto dos residentes, considera que o sistema teria de estar apto para responder a esta situação durante 10 minutos, duas vezes consecutivas, dado que as banheiras estão associadas a quartos duplos. Como o valor de potência durante o caudal de ponta é muito elevada 570kW, recorreu-se a um depósito de acumulação que permitisse responder a esta situação que requer um volume de 4025L. O volume do depósito selecionado foi de 5000L que tem aproximadamente 25% de reserva, permitindo responder às solicitações mais exigentes.

Este sobredimensionamento consciente, dá garantias de conforto aos ocupantes e por outro lado aumenta o potencial de recuperação do chiller e do sistema solar na produção das AQS, assim como a criação de uma estratificação mais estável dentro do depósito derivado da sua grande dimensão.

Este depósito estará equipado com um permutador tubular mergulhado no seu interior, interligado ao sistema de aquecimento do edifício, de forma a utilizar a recuperação do chiller e assim tornar todo o sistema mais eficiente.

O permutador selecionado permite garantir, quando necessário, uma potência de 128kW, para um regime 50°C 45°C, o que resulta num caudal de 6,2L/s proveniente do depósito do sistema de aquecimento do edifício. Este caudal será variável em função da temperatura do depósito e da disponibilidade de potência a ser recuperada e da produção solar.

O sistema de produção solar e o respetivo apoio serão responsáveis por elevar a temperatura dos 45°C para a temperatura de acumulação de 60°C, permitindo

ultrapassar este valor até aos 65°C de forma a compensar possíveis perdas do depósito e garantindo a não proliferação de legionela.

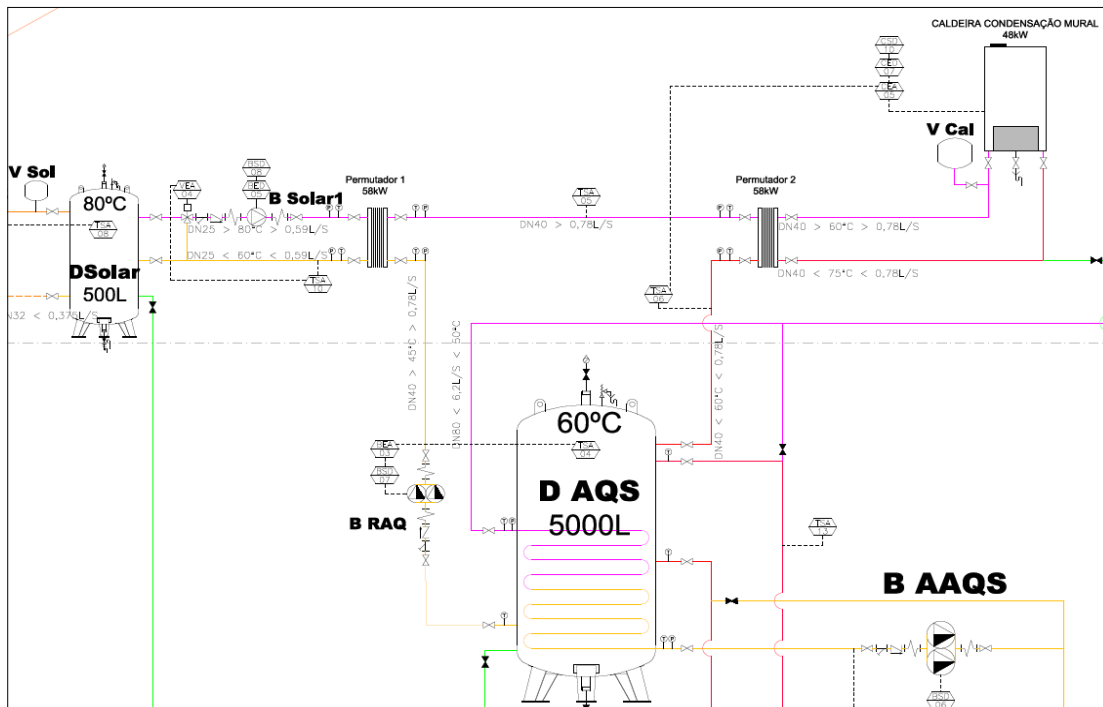


Figura 18 - Esquema de princípio da solução adotada para a preparação de AQS.

O apoio foi dimensionado para a situação menos favorável, num dia sem produção solar e sem recuperação, onde é necessário repor toda a água do depósito. Para este caso o apoio deverá garantir uma produção noturna (período de 6 horas – 24:00 às 6:00) igual ao volume do depósito, ou seja, um caudal de 0,23L/s o que corresponde a uma potência de 48kW. Para dar resposta a esta necessidade, aplicou-se uma caldeira de 48kW com um regime de funcionamento 75°C de saída e 60°C de retorno, de forma a trabalhar num ponto de elevada eficiência. Em funcionamento normal, a caldeira será utilizada para elevar a temperatura de 45°C para uma temperatura ligeiramente superior a 60°C, de forma a manter a temperatura no depósito de 60°C, dimensionando-se a bomba e a tubagem do circuito entre o depósito e o permutador da caldeira, de forma a permitir utilizar toda a potência disponibilizada pela mesma, ou seja o caudal deste circuito será de 0,78L/s.

A potência adicional requerida ao Chiller 2 para a produção de AQS foi calculada da mesma forma, ou seja a bomba de calor terá a capacidade de aquecer o depósito AQS durante o período noturno até aos 45°C, ou seja uma potência de 34kW.

Os picos serão cobertos pelo depósito de acumulação.

#### 5.4. Produção térmica solar

Dado existir recuperação do chiller para a produção de água aquecida e de AQS, pretende-se ter um sistema de produção solar ajustado à potência necessária para aquecer a água do depósito de 45°C para 65°C, reduzindo ou mesmo evitando assim o funcionamento da caldeira. Por outro lado pretende-se garantir que não existem desperdícios nos dias mais quentes, quando a recuperação chiller estiver a funcionar em pleno.

Para este dimensionamento recorreu-se ao SolTerm 5.0, onde foram definidos os painéis e depósitos e o perfil de cargas. Segundo os valores do RCCTE, o consumo médio diário de AQS para o edifício em estudo é de 1640L, calculado de acordo com o valor recomendado em função da tipologia.

Foram realizadas várias experiências de forma a encontrar o número ótimo de painéis, sendo o valor de 15 painéis de 2 m<sup>2</sup>, o que se mostrou o mais apropriado. Para este cálculo considerou-se a temperatura de entrada no permutador dos painéis de 45°C e de saída 65°C, ou seja água à temperatura após pré-aquecimento no depósito penalizada em 5°C devido à reposição de água arrefecida no depósito, e temperatura de saída do depósito igual à temperatura do depósito acrescida de 5°C, de forma a compensar a reposição de água arrefecida no depósito e perdas térmicas pela envolvente do depósito.

A inclinação otimizada dos painéis foi de 54° com um Azimute a 0°. Os resultados obtidos mostram que esta solução está muito próxima da solução teoricamente ótima.

Balanco energético mensal e anual						
	Rad.Horiz. kWh/m <sup>2</sup>	Rad.Inclin. kWh/m <sup>2</sup>	Desperdiçado kWh	Fornecido kWh	Carga kWh	Apoio kWh
Janeiro	63	109	,	775	1182	408
Fevereiro	79	119	,	976	1068	92
Março	118	145	,	1029	1182	153
Abril	156	151	,	1066	1144	78
Maio	197	168	,	1182	1182	0
Junho	198	155	,	1143	1144	1
Julho	217	176	1,	1180	1182	2
Agosto	201	185	3,	1182	1182	0
Setembro	147	165	2,	1144	1144	0
Outubro	107	148	,	1165	1182	17
Novembro	72	124	,	993	1144	151
Dezembro	60	110	,	904	1182	278
Anual	1613	1756	7,	12740	13921	1181
Fracção solar:	91,5%					
Produtividade:	425 kWh/[m <sup>2</sup> colector]					

**Figura 19 - Relatório da eficiência do sistema solar, obtido da simulação feita no Solterm.**

A integração deste sistema na produção térmica foi pensada de forma a flexibilizar este sistema relativamente à entrega de potência ao depósito de AQS, adicionando para isso a este sistema, um depósito de inércia de 2000L, permitindo fazer alguma acumulação de energia e diminuindo assim possíveis desperdícios devido à ausência de consumo.

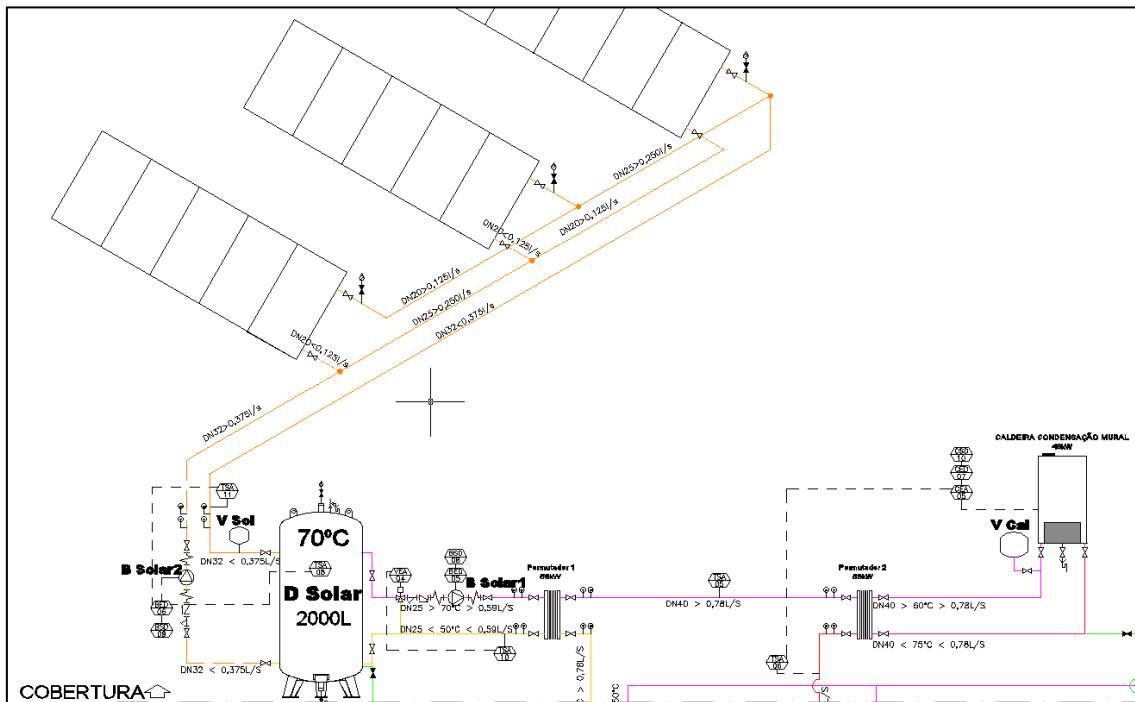


Figura 20 - Pormenor do esquema de princípio, da solução de produção solar térmica.

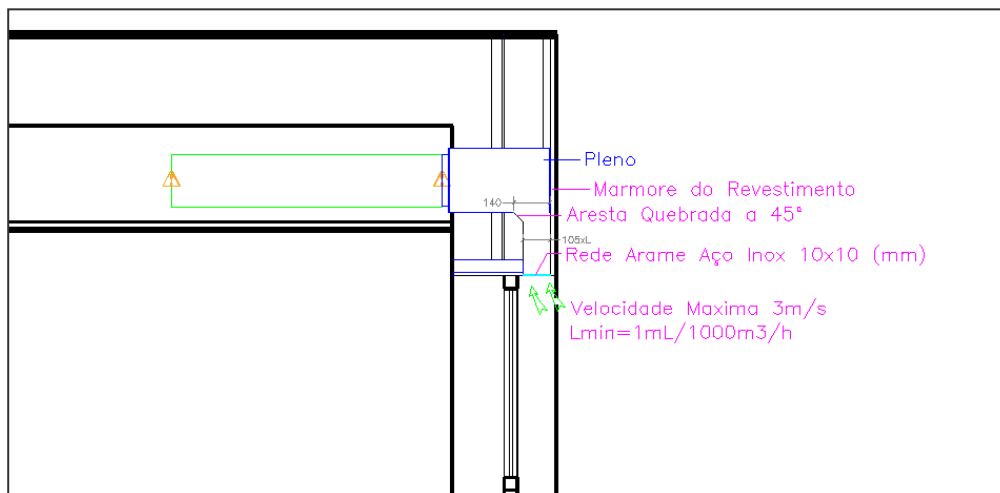
## 5.5. Ventilação

Foram aplicados dois tipos de soluções de ventilação neste projeto: A ventilação dos escritórios e lojas e a ventilação das habitações.

A solução aplicada nas lojas e escritórios é totalmente mecânica com aplicação de unidades com recuperadores individuais (por espaço) do tipo de contra fluxos para aplicação no teto falso, com elevada eficiência sensível de recuperação, de forma a minimizar as perdas térmicas respetivas à introdução de ar novo nos espaços, conforme o abordado anteriormente.

A admissão e rejeição de ar dos recuperadores serão feitas através de uma solução adaptada para este edifício. Analisaram-se várias possibilidades, como

centralização de condutas de ar novo, mas a solução que apresentou mais vantagens foi a admissão e rejeição direta nas fachadas, com menores perdas de carga, menos condutas e menor implicação com a arquitetura interior. Assim procurou-se uma solução para tornar esta solução possível sem grandes implicações para a arquitetura exterior do edifício. Assim desenvolveu-se uma forma de mascarar estas entradas e saídas, através da criação de plenos de admissão integrados na parede exterior do edifício, com entradas no parapeito superior dos envidraçados, conforme a Figura 21, onde é perceptível a ligação das condutas ao pleno por cima do teto falso e a ranhura necessária para admissão/descarga de ar.



**Figura 21 – Corte, com pormenor da solução das admissões e rejeições de ar integradas na fachada.**

Nas habitações a solução foi a de um sistema de Ventilação Mecânica Controlada (VMC) de simples fluxo. Esta técnica utiliza entradas de ar naturais autorreguladas e extração mecânica. Na prática consiste na aplicação de um equipamento de entrada de ar dotado de uma lâmina que permite a entrada de um determinado caudal sempre que acha um diferencial de pressão, neste caso provocado pelos ventiladores de extração. A característica principal destes dispositivos é a lâmina, que é calibrada para um determinado caudal, limitando o mesmo através do aumento de perda de carga quando se verificam pressões diferenciais superior, por exemplo causadas pelo vento.

A aplicação destas entradas de ar autorreguladas, com caudal constante será feita na caixilharia dos envidraçados para admitir os caudais de ar novo nos espaços de ocupação prolongada, como salas, quartos, cozinhas, sendo a extração feita nos lavabos e nas instalações sanitárias, por sua vez através de válvulas de extração autorreguladas, de forma a equilibrarem toda a instalação. Na Figura 22, correspondente a uma suite tipo, aplicam-se estas entradas do lado direito, sendo o caudal extraído nas instalações sanitários do lado esquerdo.

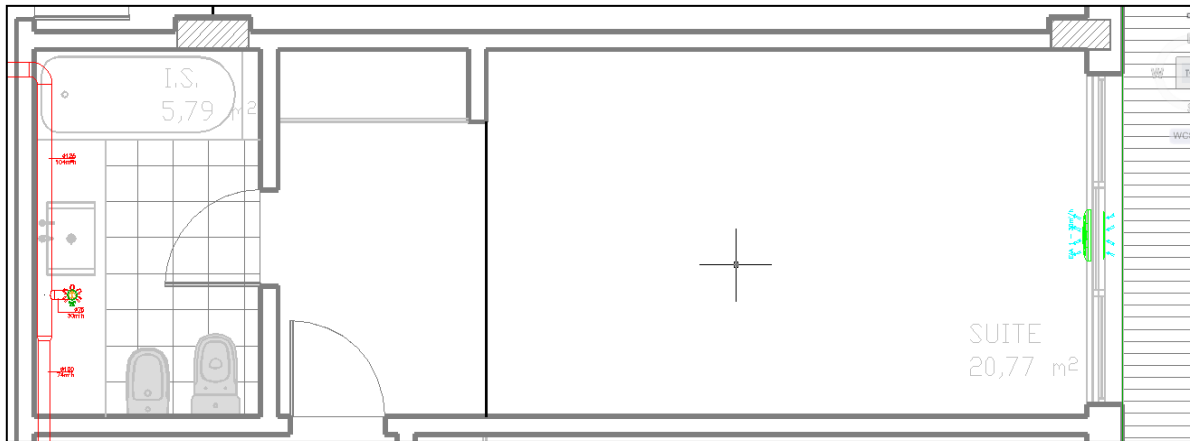


Figura 22 - Solução de ventilação tipo de uma suite

Relativamente às cozinhas, a solução adotada foi a aplicação de um exaustor de recirculação com um caudal mínimo constante de extração. Este sistema permite ter uma ventilação constante da cozinha com admissão nas entradas de ar autorreguladas aplicadas nos envidraçados destes espaços, à semelhança dos restantes espaços de ocupação prolongada. Os exaustores estão equipados com ventiladores de velocidade variável de forma a permitir a adaptação do caudal de recirculação durante os tempos de confeção, conforme a necessidade. Esta solução permite manter os gradientes de pressão no interior das habitações e por outro lado reduzir a entrada excessiva de ar novo durante a confeção que contribui negativamente para eficiência energética dos apartamentos.

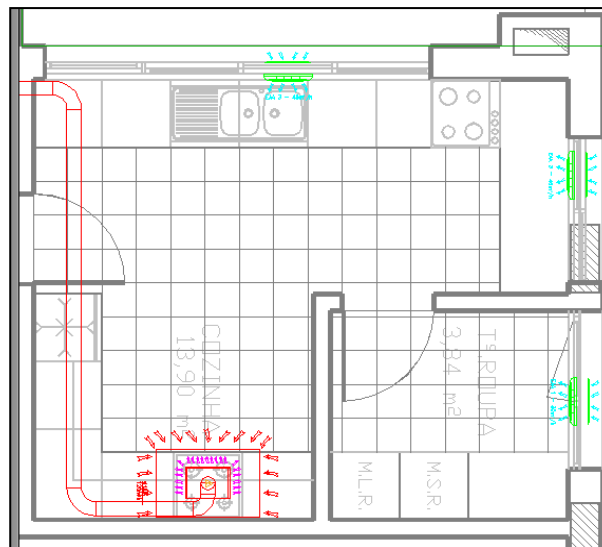


Figura 23 - Representação da solução de ventilação das cozinhas.

O caudal de ar em recirculação é devidamente filtrado no filtro do exaustor, com características opacimétricas e moleculares, através de um filtro F7 e um filtro de carvão ativo (destinado a eliminar odores).

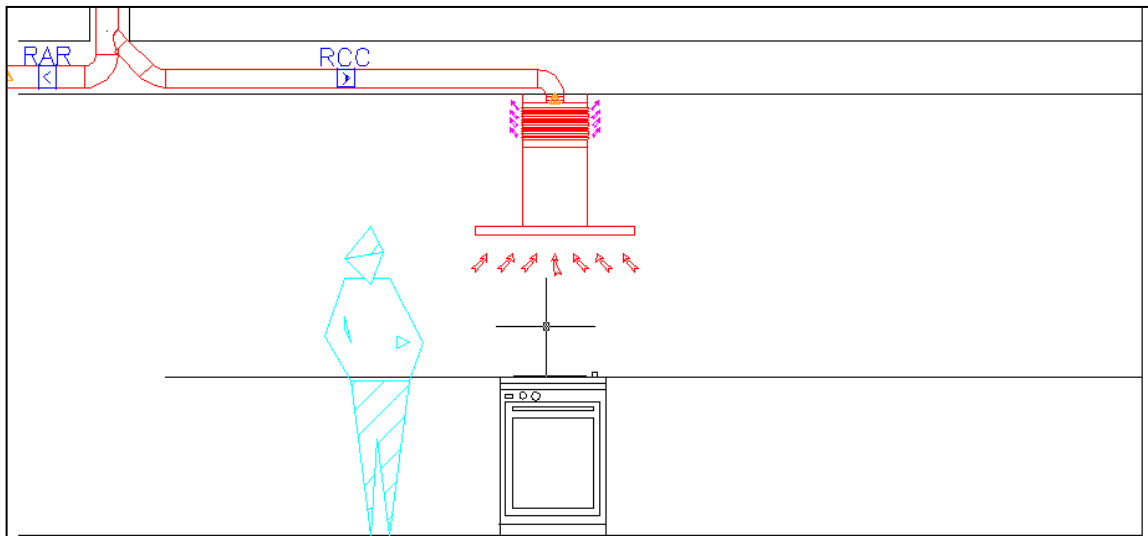


Figura 24 - Pormenor em corte da solução de extração na cozinha.

A aplicação desta solução foi pensada para a possibilidade do exaustor ser ou não encastrado. A solução não encastrada será a aplicação direta da solução do fabricante deste equipamento, e a solução encastrada será uma adaptação feita através da criação de um pleno a criar na parte superior do armário localizado por cima do fogão. O pleno será construído em aço inox e será dotado de uma grelha de descarga frontal. O ventilador do exaustor irá descarregar o seu fluxo no interior do pleno e por sua vez a picagem de extração será ligada também ao pleno.

A picagem de extração será equipada com um registo de caudal constante de forma a garantir que o caudal de ar extraído e por consequência admitido na cozinha é o pretendido.

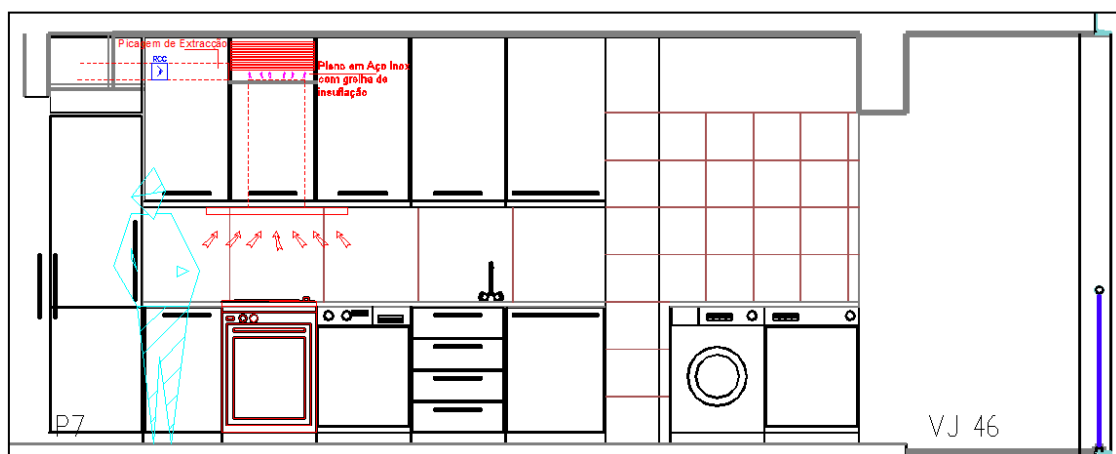


Figura 25 - Pormenor em corte da solução encastrada de extração na cozinha.

## **5.6. Climatização**

---

A solução para a climatização dos espaços é semelhante em todo o edifício, com a aplicação de ventiloconvetores nos espaços a tratar, à exceção dos espaços comuns.

Nos espaços comuns, como os átrios e corredores, as unidades de recuperação serão também responsáveis pela correção de temperatura de forma direta, ou seja, as unidades estarão equipadas com baterias de aquecimento, onde se pretende insuflar a uma temperatura de 22°C ao longo de todo o ano, não garantindo um set-point específico, com o objetivo de apenas minimizar as diferenças de temperatura entre os espaços climatizados e estes locais. As unidades associadas a estes espaços foram designadas por UTAN 1 e UTAN 2.

Nos restantes espaços, a definição destes equipamentos será adaptada ao tipo de utilização final pretendida, daí estes não estarem representados nas peças desenhadas. Contudo apresenta-se um desenho esquemático da implementação dos equipamentos, a título de exemplo para a Loja 01, Escritório 01 e Apartamento 01.

O consumo de cada utilizador será monitorizado por um contador de entalpia aplicado na tubagem de entrada de cada espaço, de forma a contabilizar o gasto energético individual de um modo claro e justo, sendo cobrado o valor desse consumo a cada consumidor.

## **5.7. Ventilação Parques de Estacionamento**

---

Um dos sistemas de ventilação mais importantes deste edifício é o dos parques de estacionamento. Nestes locais a ventilação revela-se imprescindível para garantir a qualidade de ar interior, dado existirem elevadas libertações de dióxido de carbono, monóxido de carbono e outros poluentes, resultantes queima de combustível dos automóveis. Por outro lado, a ventilação é também imprescindível para garantir a segurança dos ocupantes em caso de incêndio, através da desenfumagem ou controlo do fumo nos espaços, permitindo a fuga.

Em Portugal estes espaços são regulados através da Portaria n.º 1532/2008 do Ministério da Administração Interna, sendo obrigados a uma série de requisitos de forma a serem considerados seguros para utilização.

Relativamente à ventilação, esta portaria obriga a aplicação de dispositivos de desenfumagem que garantam um caudal de extração mínimo de  $600\text{m}^3/\text{h}$  por veículo em caso de incêndio, ou se as concentrações de monóxido de carbono forem superiores a 100PPM. Devem também possibilitar o funcionamento com um caudal de extração mínimo de  $300\text{m}^3/\text{h}$  por veículo, sempre que as concentrações de monóxido de carbono ultrapassem as 50PPM.

De forma a responder a estas exigências, foram utilizados ventiladores axiais para a extração com um caudal de  $37200\text{m}^3/\text{h}$  na velocidade máxima e  $18600\text{m}^3/\text{h}$  na primeira velocidade, e para a compensação ventiladores axiais com um caudal igual a 60% do caudal do ventilador de extração, conforme o indicado na Portaria Técnica. A cada piso foi aplicado um conjunto.

A filosofia de ventilação do parque consistiu em criar uma conduta de insuflação na zona central do parque e outra de extração na periferia do mesmo, criando assim um efeito de varrimento, das zonas de fugas para a periferia, colocando-se os pontos de insuflação nas entradas das vias de evacuação.

Dado os elevados caudais, a implementação desta solução foi complexa devido à dimensão das condutas necessárias para transportar o ar e ao ruído elevado gerado pelos ventiladores no transporte destes caudais, sendo necessário a aplicação de atenuadores acústicos, entre o ventilador e o exterior do parque.

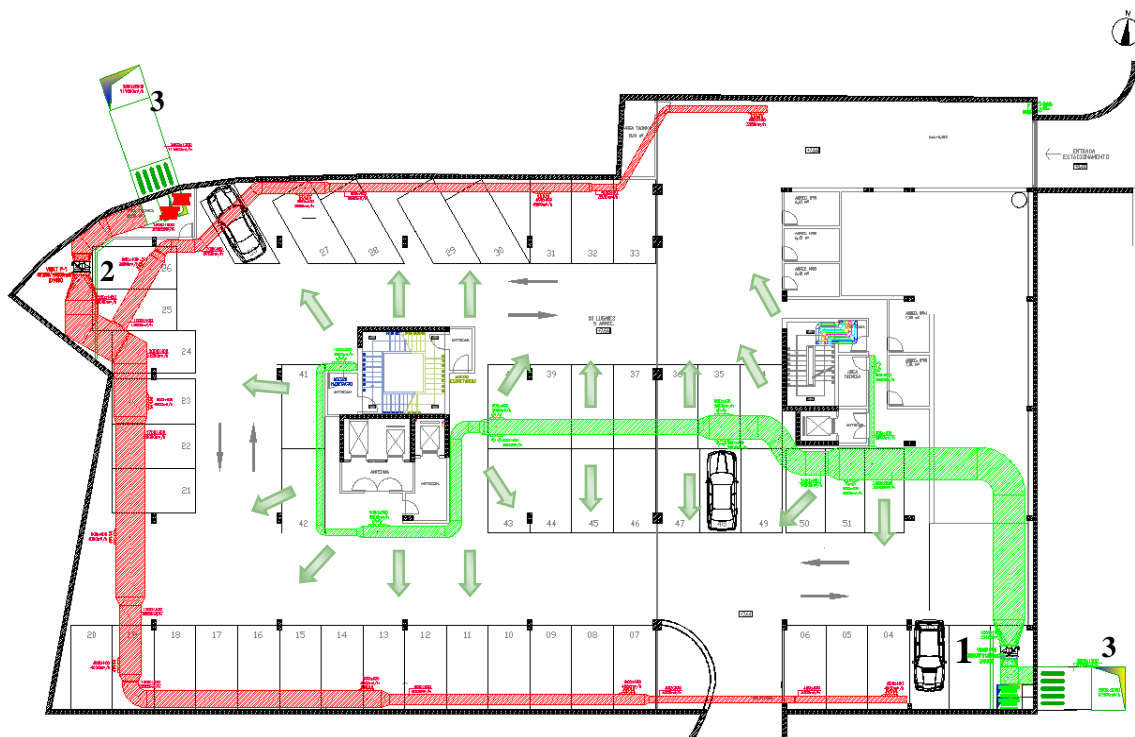


Figura 26 - Implementação da solução do parque de estacionamento.

Analisando a Figura 26, localizamos no ponto 1 a implementação do ventilador de insuflação e no ponto 2 o ventilador de extração, ambos ligados às respectivas condutas. A exaustão e admissão de ar dos ventiladores são realizadas através de um poço horizontal que encaminha o ar a baixa velocidade até uma abertura horizontal grelhada localizada na via.

O comando dos ventiladores será feito em função do tipo de cenário que se verifique no futuro. De seguida apresenta-se uma possível resposta do sistema de ventilação do parque aos cenários propostos.

Cenário 1: Sonda de monóxido de carbono deteta uma concentração superior a 50PPM, arranque dos ventiladores de insuflação, extração na primeira velocidade.

Cenário 2: Sonda de monóxido de carbono deteta uma concentração superior a 100PPM, arranque dos ventiladores de insuflação e extração na segunda velocidade.

Cenário 3: Em caso de incêndio, o ventilador de extração do piso sinistrado arranca na sua velocidade máxima, o respetivo ventilador de insuflação é desligado. Os pisos adjacentes param os ventiladores de extração e arrancam na primeira ou na segunda velocidade (dependendo da localização) os ventiladores de insuflação, de forma a mantarem a sobrepressão evitando assim a entrada de fumo.

Estes são possíveis respostas aos diferentes cenários. Seria necessário fazer uma simulação CFD ou um ensaio real de forma a afinar e validar esta resposta, mas a filosofia do sistema seria esta.

## 6. Equipamentos

Nesta secção pretende-se definir as características principais dos equipamentos previstos na solução de AVAC adotada para o edifício.

### 6.1. Chiller 1

O Chiller 1 será dotado das seguintes características principais:

- Versão só frio com recuperação total de calor, execução silenciosa,
- Fluido frigorígeno R410A,
- Construção a partir de uma estrutura e painéis em aço galvanizado Termo lacados,
- Painéis de revestimento da secção dos compressores, dotados de isolamento acústico,
- Serpentina dos condensadores em alumínio com tratamento anticorrosivo,
- Tubagem frigorífica em cobre e válvula de expansão eletrónica
- 4 Compressores do tipo Scroll, com proteção térmica e resistência elétrica no cárter,
- 2 Circuitos,
- 4 Escalões de rendimento,
- Permutadores para água em aço inox AISI316, devidamente isolado,
- Ventiladores de condensação de velocidade variável e baixo consumo,
- Pressostatos diferenciais no circuito de água,
- Quadro de potência e comando integrado e de acordo com as normas IEC,
- Bomba dupla, vaso de expansão e válvula de purga, integrados
- Certificação Eurovent

Ref:	Pot. Arref.	Pot. Abs. Total**	ESEER	ESEER c/REC	Q Agua Fria	$\Delta P$ Agua Fria	Pot. Rec.	Q Agua Rec.	$\Delta P$ Agua Rec.	Lw Max
Chiller 1	202,5 kW	76,7 kW	3,94	6,12	34,7 m3/h	141 kPa	266,7 kW	47,4 m3/h	98 kPa	86 dB(A)

\* Eficiência para temperatura exterior de 34,1°C, regime de água arrefecida 7/12°C, regime água de recuperação 50/45°C.

\*\* Potência total incluído bomba e ventiladores.

Será necessário prever a instalação da bomba de água de recuperação, à parte. Essa bomba será de caudal variável em função da temperatura da água à saída do permutador de forma a manter a temperatura de água.

## 6.2. Chiller 2

O Chiller 2 será dotado das seguintes características principais:

- Versão reversível/ bomba de calor, execução silenciosa,
- Fluido refrigerante R410A,
- Construção a partir de uma estrutura e painéis em aço galvanizado Termo lacados,
- Painéis de revestimento da secção dos compressores, dotados de isolamento acústico,
- Serpentina dos condensadores em alumínio com tratamento anticorrosivo,
- Tubagem frigorífica em cobre, Válvula de expansão electrónica,
- 4 Compressores do tipo Scroll, com protecção térmica e resistência eléctrica no cárter,
- 2 Circuitos,
- 4 Escalões de rendimento,
- Permutador para água em aço inox duplo, devidamente isolado,
- Ventiladores de condensação de velocidade variável e baixo consumo,
- Pressostatos diferenciais no circuito de água,
- Quadro de potência e comando integrado e de acordo com as normas IEC,
- Bomba dupla, vaso de expansão e válvula de purga, integrados
- Certificação Eurovent

Ref:	Pot. Arref.	Pot. Abs. Total**	ESEER	Q Agua Fria	$\Delta P$ Agua Fria	Pot. Aquec.	Q Agua Aquec.	$\Delta P$ Agua Aquec.	Lw Max
Chiller 2	338,2 kW	131 kW	3,94	58 m3/h	100 kPa	349,8 kW	62,2 m3/h	92 kPa	90 dB(A)

\* Eficiência para temperatura exteriores de 34,1°C e de 4°C com uma HR de 90% no inverno, regime de água arrefecida 7/12°C, regime água aquecida 50/45°C.

\*\* Potência total incluído bomba e ventiladores.

### 6.3. Caldeira

---

A caldeira de apoio ao sistema de produção de AQS seria dotada das seguintes características principais:

- Estrutura e painéis em aço galvanizado Termo lacado
- Caldeira mural a gás natural
- Caldeira de condensação com rendimentos até 110%
- Permutador em Aço Inox 316
- Câmara de combustão estanque
- Modulação progressiva do queimador, bomba e ventilador de 24% a 100%,
- Componentes totalmente integrados, câmara, queimador, bomba, ventilador,
- Ventilador de velocidade variável,
- Câmara de combustão basculante para operações de limpeza,
- Equipamento elétrico de potência e controlo incorporados,
- Ligações circulares para conduta de aspiração de ar e rejeição do escape,
- Teste de segurança de funcionamento segundo uma entidade oficial.

Ref:	Pot. Aquec.	Consumo Gás Nat.	Rend.	Q Agua Quente*	PED Agua Quente*	Pressão Gás Nat.	Consumo
Caldeira	46	5,5	106/96	2687	106	20	190
	kW	m <sup>3</sup> /h	PCI/S %	L/h	kPa	mbar	W

\* Caudal máximo de água e pressão disponível na bomba para esse caudal.

#### 6.4. Painéis Solares

Os painéis solares a aplicar no sistema de produção AQS será do tipo coletor solar de placa plana, com as seguintes características principais:

- Construção da carcaça em alumínio anodizado, em forma de banheira,
- Resistente a ambiente marítimos,
- Vidro de 3,2mm, com resistência a granizo segundo a EN 12975,
- União entre a carcaça e o vidro com compensador de temperatura,
- Bancada de suporte em alumínio anodizado ajustável ao ângulo de incidência pretendido,
- Serão instalados segundo o Azimute de 0° e com uma inclinação de 54°,
- Fornecido com kit de controlo da bomba de circulação nos painéis.

Ref:	Quant.	Área Útil	Potência Nominal	Rend. Ótico	A1	A2	Caudal Agua	PdC / colec
Paineis	3 x 5	2	3 x 5 x 1,4	0,767	3,669	0,018	3 x 5 x	8
		m <sup>2</sup>	kW		W/m <sup>2</sup> /K	W/m <sup>2</sup> /K <sup>2</sup>		

## 6.5. Depósitos

Neste projeto existem 4 depósitos, Depósito de Água Aquecida, Depósito de Água Arrefecida, Depósito AQS e Depósito do Sistema Solar, com as seguintes características:

- Depósitos verticais de estratificação,
- Pressão de serviço 8 bar, pressão de ensaio 12bar,
- Isolamento térmico de lã de rocha com 80mm de espessura,
- Revestimento em folha de alumínio de 0,8mm de espessura
- Construção em chapa de aço carbono com tratamento por galvanização, à exceção do depósito AQS totalmente construído em aço inox AISI316L,
- Proteção catódica, por ânodos de sacrifício,
- O depósito de AQS estará equipado no seu interior com um permutador tubular interligado ao sistema de aquecimento do edifício
- Equipados com ligações roscadas ou flangeadas
- Porta de inspeção à exceção do depósito solar.

Ref:	Volume	Diâmetro	Altura	Permutador	Potência Permutador	Caudal Agua	PdC Permut.
Depósito Agua Fria	4000 L	1500 mm	3410 mm	Não	-	-	-
Depósito Água	6000 L	1500 mm	3910 mm	Não	-	-	-
Depósito AQS	5000 L	1910 mm	2673 mm	Sim	128 kW	6,2 L/s	41 kPa
Depósito Solar	2000 L	1080 mm	2500 mm	Não	-	-	-

## 6.6. Bombas

As bombas consideradas apresentam as seguintes características:

- Do tipo In-Line com motor diretamente acoplado ao impulsor,
- As bombas com variação de caudal serão dotadas com os equipamentos de campo e controlador PI para regulação, integrados
- Nas linhas de distribuição de água arrefecida e água aquecida, as válvulas de regulação dinâmica de fim de linha serão dimensionadas de forma a perfazerem um caudal total igual ao caudal mínimo da bomba.

CIRCUITOS	Ref.	Caudal	PdC	Consumo		Potência	Tipo	Caudal
		m3/h	m.c.a	kW	kW	kW		
Chiller 1	-	34,92	17,5	Integrado no Chiller			Dupla	Constante
Chiller 1 Recuperação	B REC	47,52	16,8	3,72		4	Dupla	Variável Temperatura
Chiller 2	-	62,28	17,9	Integrado no Chiller			Dupla	Constante
Total AF	B AF	85,32	15,0	5,34		7,5	Dupla	Variável Pressão Const.
Total AQ	B AQ	44,64	16,6	3,38		4	Dupla	Variável Pressão Const.
Pre aq AQS	B AAQS	22,32	5,6	0,48		1,1	Dupla	Variável Temperatura
Reaq AQS	B RAC	4,03	11,2	0,33		0,61	Dupla	Variável Temperatura
Caldeira	-	2,02	17,1	Integrado na Caldeira			Simples	Variável Temperatura
Solar 1	-	1,35	5,6	Integrado no Kit			Simples	Constante
Solar 2	-	0,94	5,8	Integrado no Kit			Simples	Constante

## 6.7. Vasos de Expansão

Os vasos de expansão fechados de membrana foram dimensionados de forma a compensarem o aumento de volume da água existente nos circuitos de aquecimento fechados, mantendo sempre uma pressão mínima superior à pressão atmosférica em todos os locais. O seu dimensionamento foi feito com base nas recomendações do fabricante. Apresentam as principais características:

Vasos de Expansão	Volume Circuito [L]	PI [Bar]	PF [Bar]	Volume Vaso [L]	Volume Seleção [L]
V A.G.	10955	4,3	6	466,7	500L
V CAL	13	1,5	6	0,3	2L
V SOL	2044	1,5	6	53,9	50L

## 6.8. Rede distribuição água

Na execução das redes de água arrefecida e água aquecida para climatização considerou-se tubo de ferro preto soldável, com costura, qualidade ST00, de parede espessa, segundo DIN 1629 e DIN2440, com acessórios da mesma qualidade;

Tubagem isolada termicamente atendendo à temperatura do fluido em causa e à sua localização de acordo com o Decreto - Lei n.º 79/2006. As tubagens seriam revestidas através da aplicação de um isolamento do tipo “célula fechada”. O isolamento deve possuir proteção mecânica exterior em chapa metálica de alumínio, de 0,7 mm de espessura, nos troços à vista.

Espessura do Isolamento a Aplicar na Tubagem (0,037W/(m.K))				
Diâmetro Exterior Tubagem	Temperatura Fluido Quente °C		Temperatura Fluido Frio °C	
	Espessura do Isolamento (mm)		Espessura do Isolamento (mm)	
	40°C a 65°C	66°C a 100°C	0,1 a 10°C	>10°C
≤35	20mm	30mm	20mm	20mm
35 < D ≤ 60	20mm	30mm	30mm	20mm
60 < D ≤ 90	30mm	30mm	30mm	30mm
90 < D ≤ 140	30mm	40mm	40mm	30mm
140 < D	30mm	40mm	40mm	30mm

Na execução das redes de AQS considera-se tubo de aço inox AISI316.

A tubagem foi dimensionada de forma à velocidade de escoamento não ultrapasse 1,5 m/s nos ramais principais e 0,5m/s nos ramais secundários, e a perda de carga não ultrapasse 150Pa por metro linear.

A filosofia de distribuição de água baseia-se em sistemas de caudal variável, de forma a manter uma pressão diferencial constante e com isso variar o caudal de acordo com o consumo. À entrada de cada fração seriam colocados válvulas de regulação dinâmica dimensionadas para o caudal máximo do respetivo espaço. Sempre que exista tendência deste caudal ser ultrapassado estas válvulas aumento exponencialmente a sua perda de carga de forma a limitar o caudal máximo. No fim de cada linha de distribuição, seria aplicado uma válvula de regulação dinâmica, sendo que o somatório do caudal nominal destas em somatório seria igual ao caudal mínimo da bomba associada a esse sistema, verificando-se um valor de 13% e 16% respetivamente para a água aquecida e arrefecida, relativamente ao seu caudal de projeto.

## 6.9. Unidades de recuperação de calor

Estas unidades terão como função ventilar os escritórios, lojas, átrios e corredores, recuperando a energia disponível no ar extraído, dotadas das seguintes características principais:

- Unidade para instalação em teto falso, com painel duplo acústico de 50mm,
- Recuperador de placas do tipo contra fluxo de elevada eficiência,
- Ventiladores de acoplamento direto com motores do tipo ECM, de baixo consumo,
- Variação de velocidade com sinal de 0-10V,
- Possibilidade de adaptação de sensor de CO<sub>2</sub>,
- Equipamento de campo e controlo integrado com gestão de free-cooling,
- Comutação de modo de funcionamento por contacto externo,

Ref:	Quant.	Q Min [m <sup>3</sup> /h]	Q Nom. [m <sup>3</sup> /h]	PdC Nom. [Pa]	Rec Nominal [%]	Consumo Nom [kW]	Potência [kW]	Filtros	Tins
REC T1	16	290	400	150	86%	0,16 / 0,14	0,15/0,15	F7/F5	NC
REC T2	7	440	520	150	87%	0,18/0,16	0,15/0,15	F7/F5	NC
REC T3	16	540	1010	150	80%	0,19 / 0,19	0,72 / 0,72	F7/F5	NC
REC T4	2	1100	1420	150	81%	0,33/0,34	0,72 / 0,72	F7/F5	NC
REC T5	1	-	1620	150	80%	0,39/0,41	0,72 / 0,72	F7/F5	NC
UTAN 1	1	-	950/680	250/200	68%	0,32/0,18	0,75 / 0,75	F7/F5	22°C
UTAN 2	1	-	1710/1760	300/250	61%	0,63+0,42	1,0/1,0	F5+F7/F5	22°C

Os valores apresentados nesta tabela são os nominais. Em obra a velocidade das unidades seria ajustada ao ponto de funcionamento específico de cada espaço.

A UTAN 1 e UTAN 2 para além da recuperação de calor seriam equipadas com baterias de arrefecimento e aquecimento, interligadas a rede de distribuição térmica do edifício, controlando as válvulas de água de forma a manterem uma temperatura de insuflação de 22°C.

A UTAN 2 seria também horizontal mas preparada para a instalação à intempérie, protegida por um telhado saliente a todo o perímetro, bico de pato. Dados os valores de perda de carga desta unidade, seria equipada com atenuadores acústicos.

## 6.10. Ventiladores

Os ventiladores considerados no dimensionamento foram de dois tipos: Caixas de ventilação de extração das habitações e instalações sanitárias e os ventiladores do parque VID, VED e VIMP 1&2.

As principais características dos ventiladores CEX IS, T1 & T2:

- Caixa de ventilação, equipada com ventilador centrífugo para instalação exterior equipado com um atenuador a montante
- Ventiladores diretamente acoplados a motores ECM, de forma a permitir ser regulados de forma a equilibrar a instalação,
- Funcionamento em contínuo.

As principais características do VID, VED e VIMP

- Ventiladores axiais resistentes a altas temperaturas F400,
- Equipados de atenuadores acústicos na admissão e extração, nos VIR e VED aplicado na conduta e nos VIMP aplicados diretamente no ventilador,
- Comando pela central de deteção de Monóxido de Carbono e pela Central de Deteção de Incêndios.

Ref:	Quant.	Q Nom. [m3/h]	PdC Nom. [Pa]	Consumo Nom [kW]	Potência [kW]	Velocidade
VEX IS	1	2100	200	0,59	0,7	Constante
VEX T1	9	315	100	0,13	0,17	Constante
VEX T2	1	390	100	0,10	0,19	Constante
VAN AT	1	1650	150	0,30	0,32	Constante
VID	3	22600	590	9,56	12,7	2 velocidades
VED	3	37200	650	14,1	19,6	2 Velocidades
Vimp 1	15	21N	-	0,75	1,1	2 velocidades
Vimp 2	2	21N	-	0,75	1,1	2 velocidades reversivel

### 6.11. Ventilador-convetores

As unidades de climatização dos espaços consideradas neste estudo foram unidades para instalação em teto falso, associadas a difusores de insuflação e grelhas de retorno. Estas unidades apresentam as seguintes características principais:

- Ventiladores do tipo ECM de baixo consumo, com velocidade variável em função da potência necessária,
- Baterias em cobre e alhetas em alumínio,
- Equipados com kit hidráulico constituído por ligações flexíveis, válvula de controlo independente da pressão diferencial (função de variação do caudal proporcionalmente, limite dinâmico e controlo da pressão diferencial) e válvulas de seccionamento de forma a isolar o equipamento em caso de avaria.
- A rede de condutas associadas aos VC's não deverá ter uma perda de carga superior a 30Pa nas lojas e escritórios e de 20Pa nas habitações.
- Cada ventilador-convetor será comandado pelo controlador do termostato mural, que fará a variação de velocidade e do caudal de água em função do set-point,
- Plenos revestidos acusticamente.

Tipo	Condição Entrada Bateria Arref.	Condição Entrada Bateria Aquec.	Pot. Arref.	Pot. Arref. Sens.	PdC Bat. Arref.	Pot. Aquec.	PdC Bat. Aquec.	Caudal Ar m3/h	Nivel Ruído (Lw) [dB(A)]	Potência Absorvida W
			[W]	[W]	kPa	[W]	kPa			
VC T1	25°C 50%	20°C	5106	4162	11,3	3155	14,3	1058	63	86
	23°C 50%	22°C	3733	3596	6,5	2910	12,3	1058	63	86
	23°C 50%	23°C	3972	3861	7,3	2252	6,7	1154	63	86
VC T2	25°C 50%	20°C	3917	3093	25,4	2358	7,3	736	57	57
	23°C 50%	22°C	2920	2684	15,2	2166	6,3	736	57	57
	23°C 50%	23°C	3211	2985	17,9	2252	6,7	834	58	57
VC T3	23°C 50%	23°C	2519	2309	3,3	1987	6,3	680	55	41

## 6.12. Difusão

Os elementos terminais de ar serão de 5 tipos, Difusores aplicados nas insuflações, Grelhas nas extrações e retorno, Grelhas Exteriores para admissões e extrações de ar, Válvulas de extração e de Entradas de Ar Auto Reguláveis, sendo consideradas as seguintes características principais:

- Os difusores são de alta indução, do tipo rotacional para as lojas, escritórios e zonas comuns e tipo linear de slots, para as habitações,
- As grelhas na de insuflação e retorno são do tipo de reticula,
- As grelhas de exterior serão com perfil anti chuva para aplicação nas admissões e exaustões do piso 0,
- As válvulas de extração são aplicadas nas instalações sanitárias, sendo dotadas de um dispositivo auto reguláveis que mantém o caudal de extração constante com o valor do caudal pretendido,
- As entradas de ar autorreguláveis permitem a admissão controlada de ar novo dos espaços tratados nas habitações. São equipadas de uma lâmina sensível à pressão e aumenta ou diminui a sua perda de carga em função da pressão diferencial entre o interior e o exterior, mantendo assim o caudal de ar pretendido.

Ref.	Dimensão	Caudal Max.	PdC	LW	Tipo
	[mm]	[m <sup>3</sup> /h]	[Pa]	[dB[A]]	
Gext 1	DN 75	60	var	var	Valvula Auto Regulável
Gext 2	DN 100	100	var	var	Valvula Auto Regulável
Gext 3	DN 125	120	var	var	Valvula Auto Regulável
Gext 4	200 x 100	230	30	32	Grelha de Reticula
Gext 5	300 x 150	365	19	30	Grelha de Reticula
Gext 6	500 x 150	504	26	33	Grelha de Reticula
G R 1	1200 x 300	1154	5	20	Grelha de Reticula
G R 2	1000 x 300	834	5	20	Grelha de Reticula
G R 3	850 x 200	680	5	20	Grelha de Reticula
Dif 1	D400	250	12	29	Difusor Rotacional
Dif 2	D600	600	13	30	Difusor Rotacional
Dif 3	1050 x 84	340	17	28	Linear de Slots
Dif 4	1050 x 112	390	21	30	Linear de Slots
G Fach	L x 400	2000 m <sup>3</sup> /(hxm)	26	34	Grelha de Fachada Anti-Chuva
EA 1	276x15	22	var	var	Entrada de Ar Auto Regulável
EA 2	372x15	30	var	var	Entrada de Ar Auto Regulável
EA 3	372x15	45	vat	var	Entrada de Ar Auto Regulável

### 6.13. Rede de Distribuição de Ar

---

As condutas a aplicar serão construídas em aço galvanizado, com uma concentração de zinco não inferior a 275g/m<sup>2</sup> de zinco, respeitando as normas SMACMA que definem os aspetos construtivos fundamentais que devem obedecer.

Preferencialmente foram utilizadas condutas circulares que apresentam uma melhor distribuição do fluxo de ar no seu interior.

Serão dotadas de portas de inspeção para operações de manutenção conforme o definido na norma EN 12097:2006.

O método utilizado no dimensionamento das condutas foi o de perda de carga constante. Este método consiste em eleger a velocidade inicial do 1º troço da conduta, ou seja definir a perda de carga linear, mantendo-a aproximadamente igual em toda a rede de forma a promover o autoequilíbrio dos diferentes ramais. A velocidade na rede de condutas deve ser equacionada com base nas variáveis ruído, perda de carga, energia e viabilidade de integração na arquitetura. De uma forma geral foi definido uma velocidade máxima nas condutas de insuflação de 5m/s e nas de extração e retorno 7m/s. No caso das condutas associadas à extração e insuflação do parque, a velocidade máxima utilizada foi de 10m/s para a velocidade máxima.

O raio de curvatura das curvas deverá ter um raio superior a 150% do diâmetro da conduta. Para as condutas retangulares o raio de curvatura deverá ser no mínimo igual a 125% do valor da largura das condutas.

As condutas de retorno e insuflação deverão ser revestidas com um isolamento térmico flexível de estrutura celular fechada, com uma condutividade térmica máxima de 0,037W/(m.K.), com uma espessura de 20mm. Nas condutas exteriores ou à vista o revestimento será protegido com forra mecânica de alumínio.

Nos parques de estacionamento as condutas associadas aos ventiladores de desenfumagem serão revestidas com revestimento corta-fogo de forma a garantirem uma resistência EI 120.

Sempre que a rede de condutas não seja autorregulável, ou seja se as linhas terminais não dispõem de registos ou válvulas autorreguláveis serão instalados registos manuais de regulação de caudal.

## 7. Simulação da Solução Adotada

Após definidos os equipamentos principais do sistema de AVAC, procedeu-se a Simulação do sistema adotado para o edifício.

Recapitulando as principais diferenças entre a solução de base para a solução adotada, a Tabela 4 resume as mesmas de forma simplificada.

Variáveis	Solução Base	Solução Adotada
Envidraçados	Base	Alta Performance
Recuperação Ar Novo	Sem recuperação	Com Recuperação
Ventiladores de Baixo Consumo	Sim, EC Fan	Sim, EC Fan
Produção Solar	Não	Sim, 15 painéis 2m <sup>2</sup>
Produção Água Arrefecida	Chiller Só Frio	Chiller 1 Só Frio com Recuperação Chiller 2 Reversível
Produção de Água Aquecida	Caldeira Condensação	Recuperação Chiller 1 + Chiller 2

Tabela 4 - Resumo das diferenças entre a solução base e solução adotada.

O sistema adotado tem uma complexidade que não possível simular a 100% no Design Builder, pelo que tiveram de ser feitas algumas considerações e cálculos de forma a encontrar os valores mais próximos da realidade.

A primeira limitação detetada foi ao nível dos equipamentos disponíveis. Não estando disponíveis chillers com recuperação, chillers reversíveis e a aplicação de depósitos, o sistema acabou por não ser configurado completamente conforme o pretendido.

A segunda limitação, que introduziu um erro significativo no modelo, foi o facto de não ser possível gerir o funcionamento dos recuperadores em simultâneo com as unidades de climatização. Pela análise dos resultados obtidos e da documentação do software, conclui-se que por exemplo numa loja num dia de Inverno, em que num determinado momento os ganhos térmicos internos ultrapassam as perdas térmicas e o ventilador-convetor começa a arrefecer o espaço, a unidade de recuperação continua a recuperar passando no limite a contribuir como um ganho térmico em vez de entrar em funcionamento de “free-cooling” o que permitiria ajudar a arrefecer o espaço. Esta limitação fez com que os resultados obtidos apresentem valores da produção térmica do chiller superiores aos valores da solução base nos meses de Inverno onde se verifica esta situação. Nos meses de Verão em que esta situação não se verifica com tanta frequência, a produção de água arrefecida é inferior, como seria de esperar. Esta

limitação introduziu uma dificuldade que foi alvo de bastante análise sendo estudadas várias soluções para ultrapassar esta dificuldade, como a modelação e simulação de um novo modelo com unidades de tratamento de ar com recirculação, mas os resultados obtidos foram os mesmos, ou seja o algoritmo utilizado pelo fabricante do software para a modelação do funcionamento dos recuperadores é definido em função do diferencial de temperatura entre o ar interior e exterior, não tendo sido possível ultrapassar esta contrariedade.

Em obra esta dificuldade seria facilmente contornada através da aplicação de um controlador único por espaço, programado de forma a alterar o modo de funcionamento do recuperador em função do modo de funcionamento das unidades de climatização, permitindo que este entre em free-cooling independentemente das temperaturas interiores e exteriores.

Analisando os resultados obtidos, a distribuição das cargas térmicas calculada da mesma forma que anteriormente na solução base e afetando a potência de ar novo com um coeficiente de 0,45, ou seja considerando-se uma recuperação de 55% obtêm-se uma distribuição de cargas térmicas, conforme o gráfico 5.

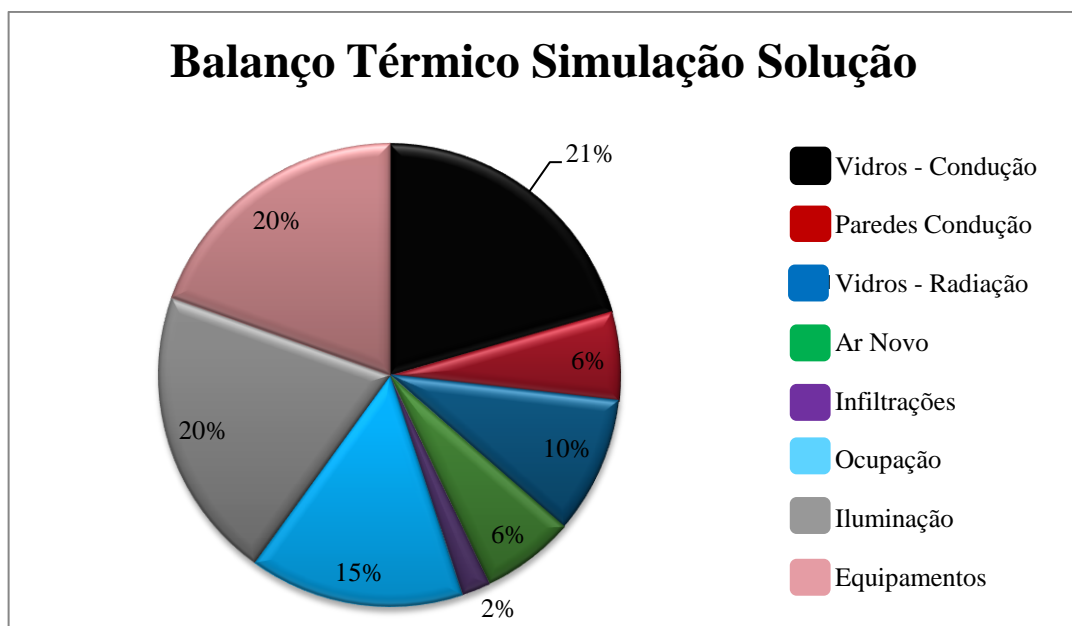
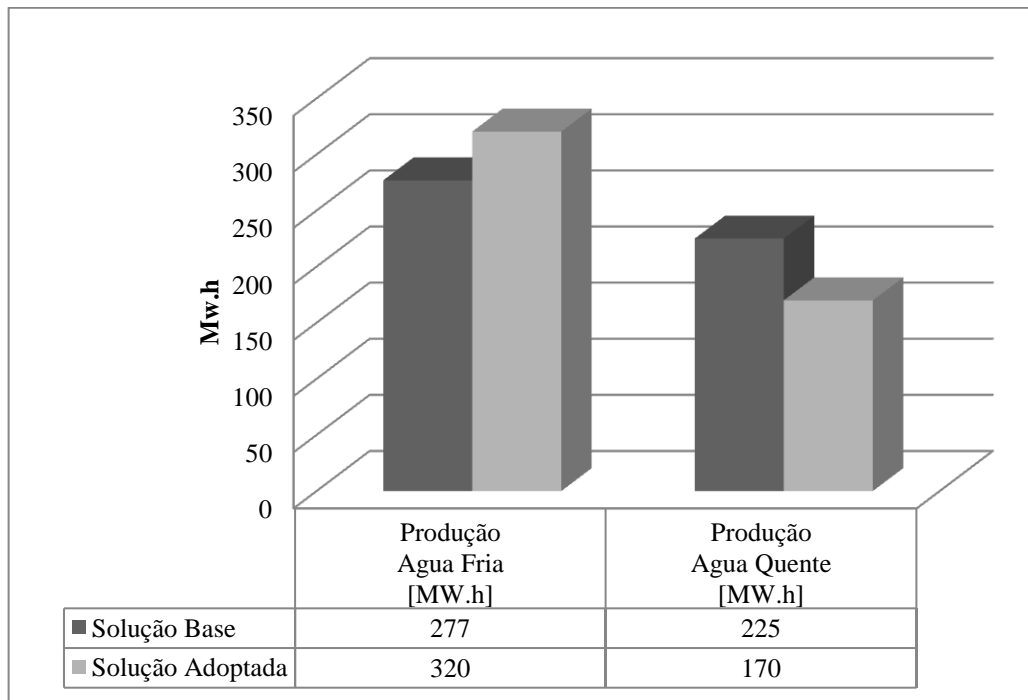


Gráfico 5 - Distribuição das cargas térmicas interna, da solução adotada.

Como é perceptível pela análise do gráfico 5, o peso das cargas térmicas relativas aos envidraçados manteve-se sem grande alteração, mas por outro lado as cargas

térmicas pela iluminação aumentaram como seria de esperar. O valor do somatório das cargas térmicas foi inferior em 19,9%, relativamente à solução base.

Referenciando os valores da potência térmica produzida ao longo de um ano, para ambas as soluções, apresenta-se no gráfico 6os resultados obtidos das simulações efetuadas.



**Gráfico 6 - Comparativo entre os valores de produção térmica de climatização anual para a solução base e adotada,**

No que diz respeito à produção de água aquecida, os valores variaram dentro do esperado, com uma redução de 24,5% relativamente aos consumos da solução base. Quanto à produção de água arrefecida, verifica-se um consumo superior em 15,7%, quando se previa o contrário, pela razão discutida anteriormente.

Analisando agora os consumos dos equipamentos produtores, teremos de fazer uma correção na potência de aquecimento produzida pelo Chiller 2, de forma a contabilizar a recuperação do Chiller 1 e da potência proveniente do sistema de captação solar. Para este cálculo foi criada a Tabela 4, em que se subtrai a energia recuperada à potência de aquecimento necessária. De forma a minimizar o impacto que o erro neste cálculo já explicado anteriormente, utilizaram-se os valores da condensação do chiller da solução base, dado os valores da solução adotada serem exagerados, principalmente na situação de Inverno, mais relevante para este estudo.

**Trabalho Final de Mestrado**  
**Projeto de AVAC de um Edifício com Multiutilização**

<b>CALCULO DE CORREÇÃO - PRODUÇÃO AGUA QUENTE</b>						
<b>Mês</b>	<b>Consumo Agua Quente [kW.h]**</b>	<b>Consumo AQS [Kw.h] *</b>	<b>Consumo Total Agua Quente [Kw.h]</b>	<b>Potência Recuperada [kW.h]**</b>	<b>Potência Solar [kW.h]*</b>	<b>Produção Agua Quente Chiller 2 [kW.h]</b>
Janeiro	27825	1182	29007	2502	775	25730
Fevereiro	23104	1068	24172	3147	976	20049
Março	22411	1182	23593	5737	1029	16827
Abril	17645	1144	18789	9373	1066	8350
Maio	11734	1182	12916	11734	1182	0
Junho	5547	1144	6691	5548	1143	0
Julho	2780	1182	3962	2782	1180	0
Agosto	2350	1182	3532	2350	1182	0
Setembro	3251	1144	4395	3251	1144	0
Outubro	9193	1182	10375	9210	1165	0
Novembro	18672	1144	19816	9135	993	9687
Dezembro	25452	1182	26634	4199	904	21530
<b>Total [MW.h]/ano</b>	<b>170,0</b>	<b>13,9</b>	<b>183,9</b>	<b>69,0</b>	<b>12,7</b>	<b>102,2</b>
* Valores Solterm	** Valores Simulação Design Builder					
			Poupança térmica	-81,7	[MW.h]/ano	

**Tabela 5 - Cálculo da produção térmica calculada para o chiller 2.**

De acordo com este cálculo, caso o sistema tenha a capacidade acumulação suficiente, será possível obter uma poupança de 81,7MW/h por ano, através da recuperação do chiller e da produção do sistema solar. Esta situação seria bastante otimista considerando-se apenas 80% deste valor para a análise final do consumo do custo da energia do sistema AVAC, utilizado para quantificar a diferença entre a solução base e esta solução.

## 7.1. Análise Energética da Solução Adotada

Recapitulando os valores obtidos na simulação e nas correções efetuadas, podemos então prever para a produção de água arrefecida de 320MW.h por ano o que resulta num consumo elétrico obtido da simulação de 79,2MW.h por ano. Embora o valor da potência térmica de arrefecimento produzida seja superior para a solução adotada relativamente à solução base, o valor de consumo é inferior devido ao chiller de alta eficiência modelado e aplicado na solução adotada.

Relativamente à energia de aquecimento produzida ao longo do ano, conforme o analisado temos uma produção global de 184MW.h por ano. Subtraindo a este valor 80% do potencial de recuperação e produção solar de 81,7MW.h por ano, conforme o explicado anteriormente, obtém-se uma produção de 118,5MW.h por ano. O Gráfico 7 demonstra bem a vantagem da aplicação desta solução.

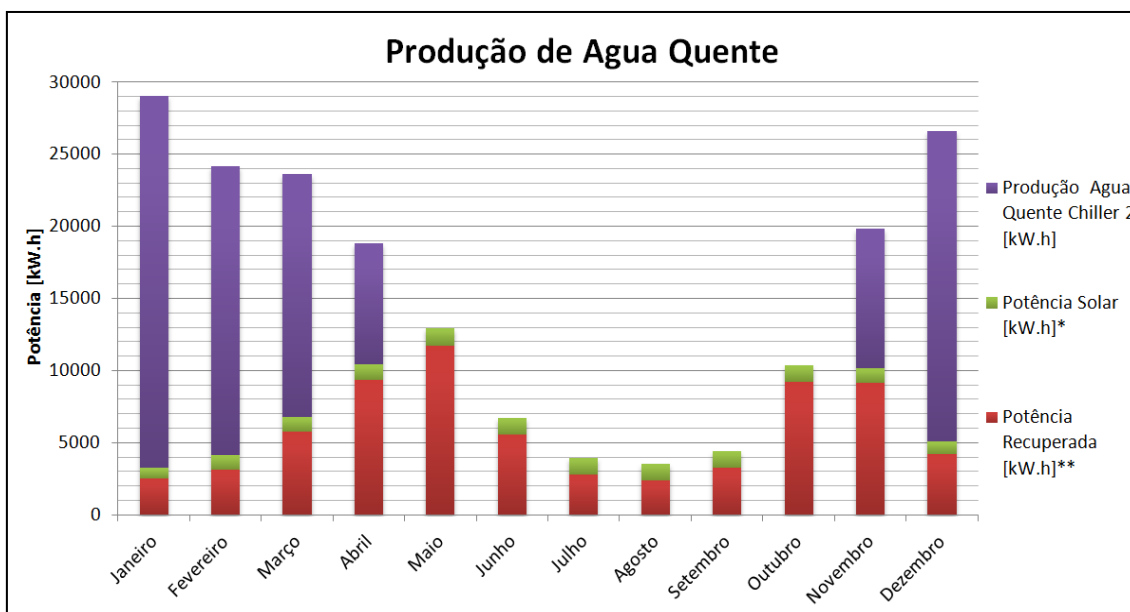


Gráfico 7 - Análise anual da contribuição de cada equipamento envolvido na produção de água aquecida.

Traduzindo estes valores para consumos, os dados técnicos do Chiller 2 referem um valor de COP de 2,88 nas condições nominais, pelo se estima que o consumo elétrico do Chiller 2 para a produção de água aquecida rondaria os 41,23MW.h por ano.

Quanto aos restantes equipamentos do sistema de AVAC, ventiladores e bombas considera-se os valores de consumo fornecidos pela simulação.

O gráfico 8, demonstra o peso dos componentes principais do sistema AVAC, verificando-se como principais consumidores os chillers e os ventiladores associados ao fornecimento de ar novo.

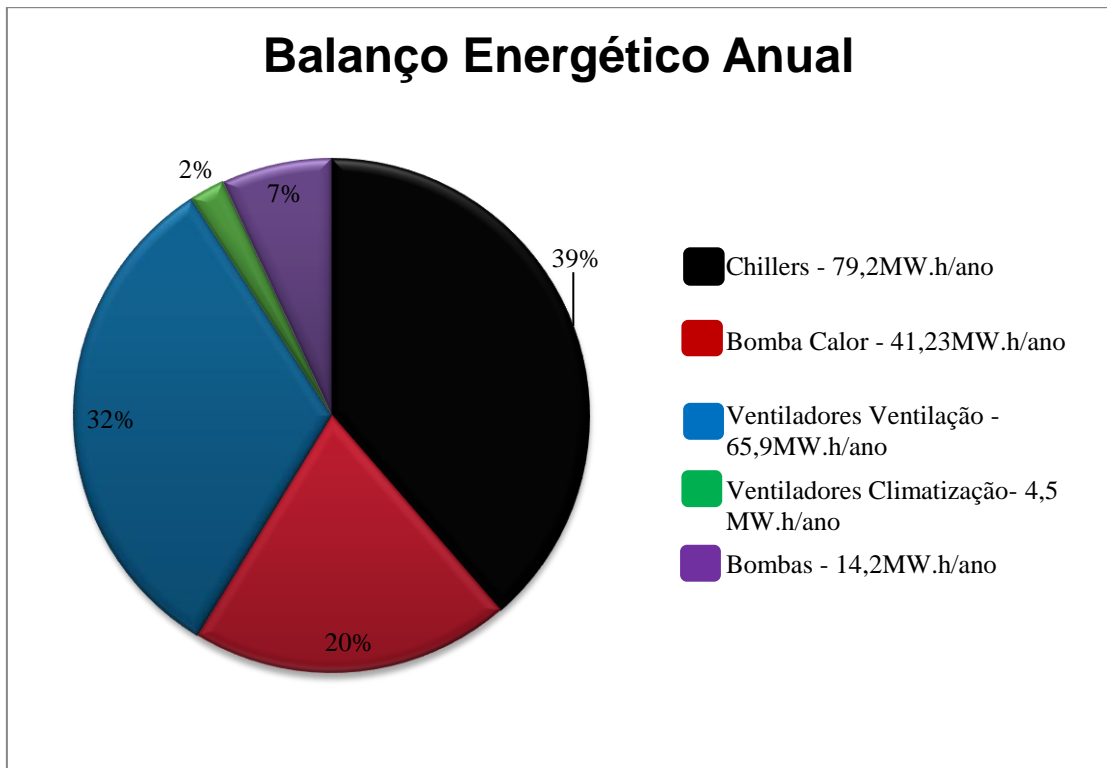


Gráfico 8 - Distribuição do consumo energético anual dos diversos elementos do sistema de AVAC.

Traduzindo estes valores para custos energéticos de exploração do sistema de AVAC e produção de AQS, estima-se um custo a rondar os 24 600€, o que comparativamente à solução base com um custo de 29 700€ resulta numa poupança de 5100€ por ano, sabendo ainda que esta poupança seria maior na realidade, devido ao erro introduzido pelos recuperadores na potência de arrefecimento do edifício.

## 8. Comentários Finais

---

O desenvolvimento deste projeto foi um caminho longo repleto de desafios, muito interessante de percorrer, que exigiu um grande esforço para se atingir este capítulo.

Uma das grandes decisões foi de utilizar o Design Builder como ferramenta, pois foi necessário estudar e aprender a utilizar este software da raiz. Esta decisão foi tomada depois de analisadas as várias alternativas disponíveis, o Design Builder pareceu ser a melhor ferramenta para os objetivos propostos dado permitir simular as fachadas ventiladas e o interface gráfico com o utilizador permitia ter uma perceção mais real do edifício e sistemas. Do ponto de vista de simulação as limitações encontradas são comuns aos outros softwares disponíveis no mercado. Seria sem dúvida importante termos conseguido simular com exatidão o sistema adotado, mas acreditamos ter conseguido atingir uma boa aproximação à realidade.

O cálculo e introdução das características de todos os espaços foi também um trabalho bastante exaustivo, pelo que se critica a dimensão do edifício, para este tipo de trabalho. O modelo utilizado ficou tão pesado que a simulação demorava em média 10 horas a ser processada.

Os desenhos que fazem parte integral deste trabalho não pretendem ser um desenho técnico de execução, mas sim uma implementação de forma a verificar a possibilidade física da aplicação do sistema selecionado.

Durante o dimensionamento dos equipamentos dada a dimensão do sistema de AVAC não foi viável calcular teoricamente todos os detalhes, recorrendo-se a valores típicos estimados de acordo com as análises que foram sendo efetuadas. Não seria viável abordar e justificar todas elas neste relatório. Este projeto aborda sumariamente vários temas complexos que poderiam só eles serem alvo de um tese, a vários níveis, apresenta-se como sugestão os possíveis temas:

- Análise CFD de uma fachada ventilada, analisando o impacto da alteração do tipo de vidros, espaçamento entre vidros e sombreamento.
- Desenvolvimento e simulação de um sistema de expansão direta, comparando os resultados obtidos, com os obtidos neste trabalho.

Na redação deste texto e nos desenhos utilizou-se a unidade litro (l) em letra maiúscula (L) de forma a facilitar a sua compreensão e identificação.

## 9. Bibliografia

---

Adene (2011) - Agência Para a Energia. Perguntas & Respostas sobre o RSECE – Energia.

Adene (2011) - Agência Para a Energia. Perguntas & Respostas sobre o RCCTE.

Ministério das Obras Públicas, Transportes e Comunicações – RCCTE Decreto-Lei nº 80/2006. Lisboa: Diário da República.

Ministério das Obras Públicas, Transportes e Comunicações (2006) - RSECE Decreto-Lei nº 79/2006.

Ministério das Obras Públicas, Transportes e Comunicações (1995) - Decreto Regulamentar nº23/95.

Ministério da Administração Interna (2008) – Portaria n.º 1532/2008.

Comité Européen de Normalisation (CEN). EN 15251/2007 - Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics.

ASHRAE (2009) - American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers. - ASHRAE Handbook Fundamentals - American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers.

Ray S. (Abril 2009). Ventilating Façades. ASHRAE Journal.

Poirazis H. (2006) – Double Skin Façades a Literature Review.

Belgian Building Research Institute (2004) – Ventilated Double Façades Classification & illustration of Façade Concepts.

Roriz L. (2006) – Climatização; Concepção, Instalação e Condução de Sistemas.

Cardoso J. A. (2012) – Elementos Apoio Aulas - Aplicações de Energias Renováveis.

**Sítios Internet:**

DesignBuilder - <http://www.designbuilder.co.uk>

France Air Portugal – [www.france-air.com/pt/](http://www.france-air.com/pt/)

Daikin Portugal - <http://www.daikin.pt/>

Carrier - <http://www.carrier.com/carrier/en/pt/>

Rhoss - <http://www.rhoss.com/index.cfm>

Wolf Heiztechnik - <http://www.wolf-heiztechnik.de/en/>

Ochsner - <http://www.ochsner.com/>

Grundfos - <http://www.grundfos.com/>

Caleffi - [http://www.caleffi.pt/caleffi/pt\\_PT/index.sdo](http://www.caleffi.pt/caleffi/pt_PT/index.sdo)

Sistimetra - [www.contimetra.com](http://www.contimetra.com)

Sandometal – <http://www.sandometal.pt/>

Mecalia - <http://www.mecalia.com/en>



## ANEXOS

Outputs Análise Fachadas Ventiladas - - - - -	A
Tabela de Caracterização dos Espaços - - - - -	B
Relatório Solterm - - - - -	C
Esquema de Principio - - - - -	D
Esquema de Distribuição - - - - -	E
Desenho Piso -3 - - - - -	F
Desenho Piso -2 - - - - -	G
Desenho Piso -1 - - - - -	H
Desenho Piso 0 - - - - -	I
Desenho Piso 1&2 - - - - -	J
Desenho Piso 3 - - - - -	K
Desenho Piso 4 - - - - -	L
Desenho Cobertura - - - - -	M