

Análise do Desempenho Energético de um Edifício de Serviços

O Caso dos Bombeiros Voluntários de Bragança

Sónia Alexandra Rodrigues Cova

Dissertação apresentada(o) à

Escola Superior de Tecnologia e Gestão

Instituto Politécnico de Bragança

para obtenção do grau de Mestre em

Engenharia Industrial

Este trabalho foi efetuado sob orientação de:

Professor Orlando Manuel de Castro Ferreira Soares

Professor Carlos Alberto Rodrigues Andrade

Outubro de 2019

Agradecimentos

Neste campo pretendo mencionar o meu muito obrigada àqueles que estiveram envolvidos na minha vida académica e pessoal durante este percurso.

Um agradecimento especial ao meu orientador professor Doutor Orlando Soares e ao co-orientador professor Doutor Carlos Andrade por toda a ajuda prestada, ensinamentos, disponibilidade, críticas construtivas e pela contribuição para a realização deste trabalho.

À Direção da Associação Humanitária dos Bombeiros Voluntários de Bragança pela autorização para utilizar o seu edifício para a realização deste estudo; aos colegas que me incentivaram para concretizar este estudo, de realçar a Ana Rito por me ter facultado parte das plantas do edifício e, ao responsável por questões elétricas dentro da instituição, João Múrias, por todo o apoio prestado de forma entender o funcionamento da rede elétrica do edifício estudado.

À Escola Superior de Tecnologia e Gestão por ter facultado o equipamento para a realização deste estudo, um especial agradecimento ao Sr. Vítor Gomes do LSIG pela disponibilidade e ajuda fornecida com os equipamentos.

Por último, com um apreço diferente, à minha família, amigos e, ao meu fiel companheiro, que sempre me apoiaram para chegar aqui, souberam ouvir e encorajar para obter este tão desejado resultado.

Resumo

Atualmente o consumo energético dos edifícios é um tema de elevada importância, pois estes são os principais responsáveis pelo consumo de energia global e, também, pelo aumento da poluição, emissão de gases e aquecimento global. Consequentemente as fontes de energia fósseis escasseiam rapidamente, e o seu período de renovação é lento, não conseguindo acompanhar a constante demanda de suprir as necessidades energéticas. Torna-se fundamental tomar medidas para reduzir o impacto do consumo global de energia, incitando uma utilização racional das fontes de energia, promovendo a eficiência energética e o desenvolvimento sustentável.

Foram publicadas diretivas europeias e, no caso de Portugal, estas foram transcritas para um único diploma o Sistema de Certificação Energética de Edifícios (SCE), o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH) e o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços (RECS).

Assim, é fundamental estudar o comportamento energético dos edifícios, que consiste em todo o processo de caracterização do mesmo e, com recurso a diversas ferramentas de simulação dinâmica multizona que existem, estando certificadas e homologadas pela norma ASHRAE 140, para realizar a simulação dinâmica do edifício.

Para este trabalho foi necessário realizar um levantamento de todas as cargas elétricas e térmicas, nomeadamente, os sistemas de climatização e de iluminação, presentes no edifício em estudo, com o objetivo de fazer uma caracterização do edifício, de forma a aproximar o modelo de simulação à realidade, no intuito de estudar medidas de melhoria para o mesmo.

Pretende-se apresentar os resultados obtidos através da simulação dinâmica no *software DesignBuilder*[®], para obtenção dos consumos energéticos do quartel dos Bombeiros Voluntários de Bragança. Após obtenção destes valores foram propostas e estudadas diferentes melhorias para a redução dos consumos energéticos.

Palavras chave: Consumo energético, Simulação Dinâmica de Edifícios, Eficiência Energética, *DesignBuilder*[®]

Abstract

Currently the energy consumption of buildings is an issue of great importance, as they are the main responsible for the global energy consumption and also for the increase of pollution, emission of gases and global warming. As a result, fossil energy sources are rapidly shrinking, and their renewal period is slow, failing to keep up with the constant demand to meet their energy needs. It is essential to take measures to reduce the impact of global energy consumption, by encouraging the rational use of energy sources, by promoting energy efficiency and sustainable development.

European directives have been published and, in the case of Portugal, these have been transcribed for a single diploma, the Energy Building Certification System (SCE), the Housing Performance Energy Regulation (REH) and the Energy Performance Regulation of Commercial Buildings and Services (RECS).

It is fundamental to study the energy behavior of the buildings, which consists of the entire characterization process of the building and, using various dynamic multi-zone simulation tools that exist, being certified and homologated by the ASHRAE 140 standard, perform the dynamic simulation of the building.

For this work it was necessary to carry out a survey of all electrical and thermal loads, namely, the climate and lighting systems, present in the building under study. In order to characterize the building and corroborate the simulation model to the reality and then study the improvement measures for it.

It is intended to present the results obtained through the dynamic simulation in the DesignBuilder® software, to obtain the energy consumption of the Bragança Volunteer Firefighters. After obtaining these values, different improvements were studied and proposed to reduce energy consumption.

Keywords: Power Consumption, Dynamic Building Simulation, Energy Efficiency, DesignBuilder®

Índice

Lista de símbolos	x
Lista de tabelas	xii
Lista de figuras	xiii
Capítulo 1: Introdução	1
1.1 Enquadramento	2
1.2 Objetivos.....	3
1.3 Métodos	3
1.4 Organização do documento	4
Capítulo 2: Eficiência Energética	5
2.1 Introdução.....	5
2.2 Eficiência energética em edifícios	6
2.3 A radiação solar e os edifícios	7
2.4 Características da construção.....	11
2.4.1 Paredes.....	12
2.4.2 Envidraçados	13
2.4.3 Coberturas e pavimentos	15
2.4.4 Isolamento térmico	15
2.5 Iluminação	16
Capítulo 3: Enquadramento Legal	20
3.1 Decreto-Lei n.º78/2006	21
3.2 Decreto-Lei n.º118/2013	23
3.3 Simulação dinâmica.....	28
3.1.1 Simulação dinâmica multizona.....	29

3.1.2 <i>DesignBuilder</i> [®]	30
3.1.3 <i>EnergyPlus</i> [®]	31
Capítulo 4: Caso de Estudo	32
4.1 Descrição do edifício	32
4.2 Zoneamento climático	34
4.3 Caracterização dos elementos da envolvente do edifício	36
4.4 Sistemas de iluminação	38
4.5 Sistemas de AVAC.....	39
4.6 Sistemas de AQS	40
4.7 Equipamentos	40
4.8 Ocupação	41
4.9 Horários	42
4.10 Consumo efetivo.....	42
Capítulo 5: Equipamentos de Medição Utilizados	44
5.1 Medidor de distâncias laser	44
5.2 Medidor laser de espessuras dos vãos envidraçados	45
5.3 Termofluxímetro.....	46
5.4 Monitor de energia.....	51
5.5 Resultados dos equipamentos de medição.....	54
Capítulo 6: Simulação Dinâmica	59
6.1 Criação do modelo.....	59
6.2 Calibração do modelo.....	62
6.3 Necessidades de aquecimento	64
6.4 Necessidades de arrefecimento.....	66
6.5 Balanço energético da envolvente	67
6.6 Ganhos internos	67

6.7 Emissões estimadas de dióxido de carbono.....	68
Capítulo 7: Medidas de Melhoria Propostas	69
7.1 Paredes e pavimento exteriores	71
7.2 Cobertura	73
7.3 Cilindros	74
7.4 Junção das medidas de melhoria de ETICS e cobertura.....	78
Capítulo 8: Conclusão e Trabalhos Futuros	80
8.1 Trabalhos futuros	82
Referências bibliográficas	83
Anexos.....	87
Anexo A – Área por espaço.....	87
Anexo B – Potência luminosa instalada por espaço	90
Anexo C – Ficha técnica do compressor de ar Pacific 250	93
Anexo D – Tipo de equipamento e respetiva potência por zona	94
Anexo E – Plantas finais.....	96
Anexo F – Valores retirados do termofluxímetro.....	98
Anexo G – Zoneamento dos pisos.....	102
Anexo H – Características técnicas das bombas de calor.....	105

Lista de símbolos

ADENE – Agência para a Energia

AQS – Águas Quentes Sanitárias

ASHRAE – *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers*

AVAC – Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado

COP – Coeficiente de performance

DGEG – Direção Geral de Energia e Geologia

ETICS – *External Thermal Insulation Composite Systems*

IA – Instituto do Ambiente

IEA – *International Energy Agency*

IEE – Indicador de Eficiência Energética

LED – Díodo Emissor de Luz

NUTS – Nomenclatura das Unidades Territoriais para Fins Estatísticos

NZEB – *Nearly Zero-Energy Buildings*

MM – Medida de melhoria

PVC –Policloreto de vinilo

R – Resistência térmica

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

REH – Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação

RCCTE – Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios

RSECE – Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios

R_t - Resistência térmica total

SCE – Sistema de Certificação Energética de Edifícios (antes de 2006)

SCE – Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade de Ar Interior nos Edifícios (a partir de 2006)

U – Coeficiente de transmissão térmica

UE – União Europeia

XPS – Poliestireno Extrudido

κ – Condutibilidade térmica

Lista de tabelas

Tabela 1. Vida útil e eficiência luminosa (Dallabrida, 2015).....	19
Tabela 2. Consumos de energia a considerar no <i>IEES</i> e no <i>IEET</i>	25
Tabela 3. Métodos aceites para determinação do IEE de um edifício de comércio de serviços de acordo com tipo de edifício e a sua situação (INCM, Portaria n.º 349-D/2013, Diário da República, 2019).....	27
Tabela 4. Forma de cálculo do <i>IEES</i> , (INCM, Despacho n.º 15793-J/2013, 2019).....	28
Tabela 5. Determinação da classe energética de acordo com o valor de <i>RIEE</i> , (INCM, Despacho n.º 15793-J/2013, 2019).....	28
Tabela 6. Programas aprovados pela norma ASHRAE e respetivas organizações responsáveis (ASHRAE 140, 2019)	29
Tabela 7. Critérios para a determinação da zona climática de inverno	35
Tabela 8. Critérios para a determinação da zona climática de verão	35
Tabela 9. COP e EER para diferentes modelos de ar condicionado e respetiva zona onde se inserem	39
Tabela 10. Cilindros presentes no edifício, potência e zona	40
Tabela 11. Consumo ponderado mensal e total, referentes ao ano de 2018.....	43
Tabela 12: Consumos reais por tipologia de uso final.....	62
Tabela 13. Iluminação exterior	63
Tabela 14. Resultados obtidos para as diversas MM1	71
Tabela 15. Coeficientes de transmissão térmica.....	72
Tabela 16. Resultados obtidos para as MM2.....	73
Tabela 17. Proposta para a MM3A.....	75
Tabela 18. Proposta para a MM3B	76
Tabela 19. Energia final da bomba de calor para a MM3A	76
Tabela 20. Energia da bomba de calor para a MM3B	77
Tabela 21. Resultados obtidos para as MM3.....	77
Tabela 22. Preço dos diferentes modelos de bombas de calor utilizados.....	77
Tabela 23. Resultados das simulações da junção das MMs	78
Tabela 24. Custos, possíveis poupanças e retorno de investimento da junção das MMs	79

Lista de figuras

Figura 1. Perdas ou ganhos de calor através da envolvente do edifício (Heywood, 2017)	7
Figura 2. Zonas climáticas de Inverno e de Verão para Portugal continental (INCM, Portaria n.º 349-D/2013, Diário da República, 2019)	8
Figura 3. Radiação solar incidente nas fachadas de um edifício de acordo com a sua orientação (Isolani, 2008).....	9
Figura 4. 21 de dezembro: o ângulo solar ao meio-dia em diferentes locais do planeta (Heywood, 2017).....	10
Figura 5. Raios solares de inverno (Heywood, 2017)	10
Figura 6. Raios solares de verão (Heywood, 2017).....	11
Figura 7. Perdas de calor de acordo com o tipo de vidro (FOCO, 2019).....	14
Figura 8. Fachada principal do edifício	32
Figura 9. Diferentes tipos de espaços	33
Figura 10. Composição da parede exterior	37
Figura 11. Lâmpadas de reserva semelhantes às instaladas	38
Figura 12. Compressor de ar Pacific 250	41
Figura 13. Gráfico ilustrativo dos consumos de eletricidade [kWh] mensais	43
Figura 14. Medidor de distâncias laser	45
Figura 15. Medidor laser de espessuras do vidro	45
Figura 16. À esquerda, o termofluxímetro com o termopar conectado. À direita, o sensor de temperatura exterior	50
Figura 17. Monitor de energia de tomada	51
Figura 18. Aparelho a ser instalado numa fase.....	52
Figura 19. Instalação final do aparelho de medição	53
<i>Figura 20. Monitor, onde é possível observar o consumo real da fase em estudo</i>	<i>53</i>
Figura 21. À esquerda, cilindro com marcas de ferrugem. À direita chão molhado e enferrujado devido a perdas de água pelo cilindro	55
Figura 22. Gráfico ilustrativo dos consumos de energia do cilindro.....	56
Figura 23. Consumo do cilindro para o dia 14 de março	57
Figura 24. Gráfico de consumos do bar entre o dia 5 e 9 de junho	58

Figura 25. Vista frontal do edifício	59
Figura 26. Modelo 3D do edifício em modo Visualise	60
Figura 27. Zoneamento do piso 1 da casa do quarteleiro	60
Figura 28. Diagrama solar para as 9 horas do dia 1 de julho	61
Figura 29. Diagrama solar para as 18 horas do dia 1 de julho	61
Figura 30. Gráfico ilustrativo dos consumos por tipo de uso final.....	63
Figura 31. Gráfico relativo às necessidades de aquecimento [°C]	65
Figura 32. Gráfico dos ganhos e perdas através da Envolvente [kWh].....	65
Figura 33. Gráficos comparativos da temperatura exterior e das necessidades de aquecimento.....	66
Figura 34. Balanço de ganhos e perdas pela Envolvente	67
Figura 35. Balanço dos ganhos internos.....	68
Figura 36. Emissão mensal de dióxido de carbono	68
Figura 37. Imagens da degradação das paredes exteriores.....	69
Figura 38. Em cima, degradação da cobertura de fibrocimento, em baixo marcas de humidade presente na laje.....	70
Figura 39. Funcionamento de uma bomba de calor (Terra, 2019)	75

Capítulo 1

Introdução

Desde a sua origem primitiva que o Homem procura abrigo, como forma de proteção das condições climáticas e dos animais. Inicialmente encontraram nas grutas a sua proteção, mas com a evolução, a necessidade de construção de casas foi uma necessidade. As primeiras casas eram então construídas em madeira, terra, pedra ou palha, mas com o passar do tempo e com o avanço do conhecimento progrediu-se para outros tipos de construção que trouxeram impactes negativos para o meio ambiente tanto pela construção em si, como pelos recursos utilizados (energia, água, matérias-primas), e pela produção de resíduos. Foi então necessário reinventar a construção, com o objetivo de diminuir o impacto ambiental, baseado no conceito de “maximizar e reutilizar os recursos, utilizar recursos renováveis e recicláveis, proteger o meio ambiente e fomentar a criação de ambientes saudáveis” (Vaz, 2013).

Com o aumento da população, a urbanização contínua e o aumento da economia, o uso global de energia continua a aumentar. É relatado que os edifícios consomem mais de 40% da energia global produzida em todo o mundo (Kolokotsa, 2011).

Em 2018, a dependência energética que Portugal tinha com o exterior foi cerca de 77%, segundo os dados provisórios da Direção-Geral de Energia e Geologia (DGEG), tendo descido face ao ano anterior em 2,7%.

Torna-se fundamental falar em eficiência energética, sendo cada vez mais um conceito importante, pois o consumo de energia e, paralelamente, o seu preço, tem vindo a aumentar. Compreende-se por eficiência energética, a introdução de soluções que pretendem reduzir as perdas de energia, e igualmente diminuir a dependência dos combustíveis não renováveis, fomentando a utilização das renováveis, e prevendo poupanças em termos económicos e ambientais.

De acordo com a *International Energy Agency* (IEA) a produção de energia a partir de fontes renováveis permite reduzir em 17% o consumo final de energia global até 2050,

face ao cenário base de 1990, enquanto que a eficiência energética assume um papel de maior relevo ao atingir metas de redução em 38% (IEA, 2019).

1.1 Enquadramento

Para se atingirem as metas de redução propostas nas diretivas europeias de consumo energético nos edifícios, recorre-se à utilização de fontes de energia renovável e de soluções técnicas que promovam o desempenho energético dos edifícios, mantendo as condições de conforto térmico e do ar ambiente interior. Isto leva a uma mudança de paradigma e, neste âmbito, a Diretiva 2002/91/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho de 16 de dezembro de 2002, estabeleceu um conjunto de medidas e metas específicas a adotar por cada um dos estados membros da União Europeia (EU).

Mais recentemente, com a publicação da Diretiva n.º. 2018/844/EU do Parlamento Europeu e do Conselho, de 30 de maio de 2018, que veio alterar a Diretiva n.º. 2012/27/EU sobre eficiência energética, e a Diretiva n.º. 2010/31/EU relativa ao desempenho energético dos edifícios, pretende-se acelerar a introdução de sistemas de controlo e automatização dos edifícios como alternativa às inspeções físicas, incentivar a implementação das infraestruturas necessárias para *e-mobility* e introduzir um indicador de inteligência para avaliar a preparação tecnológica do edifício.

Com a Diretiva n.º. 2010/31/EU, os líderes da UE adotaram um objetivo para 2020 que consistia na redução do consumo médio anual de energia de 20 %, tendo incluído objetivos ambiciosos para 2030 e 2050 e também a construção de edifícios novos, *Nearly Zero-Energy Buildings* (NZEBS), a partir de 2020.

O Conselho Europeu de Bruxelas de março de 2007 criou um plano estratégico para a ação de energia, que assenta em três objetivos fundamentais com o intuito de promover o desenvolvimento sustentável. Este plano estratégico é denominado “Estratégia 20-20-20”, em que os seus objetivos são: reduzir 20% os consumos de energia e da emissão de gases com o efeito de estufa; aumentar 20% a utilização de energias de fontes renováveis e consequentemente o aumento de 20% da eficiência energética até 2020. Esta estratégia visa atingir o desenvolvimento sustentável.

1.2 Objetivos

Com esta dissertação pretendeu efetuar-se uma simulação dinâmica de um edifício existente de serviços para a determinação do consumo energético anual e estudo de medidas de melhoria com vista a um aumento da eficiência energética do edifício.

Para tal, utilizou-se o programa de simulação computacional *EnergyPlus*[®] em paralelo com os *softwares* *DesignBuilder*[®], para modelação 3D do edifício e *AutoCad*[®] para desenho 2D das plantas do edifício.

1.3 Métodos

Foi necessário realizar um plano de ação para efetuar uma recolha completa da informação necessária:

- Caracterização detalhada do edifício:
 - Localização, altitude e orientação geográfica;
 - Levantamento dos espaços, nomeadamente a sua área útil e volume;
 - Desenho do edifício e respetivas zonas térmicas.
- Caracterização da envolvente opaca, constituída por paredes, portas, pavimentos e coberturas exteriores, e envolvente não opaca, composta por vãos envidraçados e seus dispositivos de oclusão noturna e sombreamento;
- Caracterização da ocupação dos espaços por número de pessoas e horários de utilização;
- Identificação das luminárias com recurso à densidade e perfis horários de utilização;
- Identificação de equipamentos elétricos com recurso à densidade e perfis horários de utilização;
- Caracterização dos sistemas de climatização instalados, eficiência e perfis horários de utilização;
- Análise das faturas de eletricidade para obtenção dos consumos anuais de energia.

1.4 Organização do documento

A dissertação é dividida por diversos capítulos com vista à fácil compreensão dos conceitos teóricos relacionados com a legislação e com a eficiência energética, sendo posteriormente apresentada a análise de resultados e as medidas de melhorias propostas.

A estrutura do documento é a seguinte:

- Capítulo 1: faz o enquadramento da dissertação e definição dos objetivos da mesma;
- Capítulo 2: apresenta o conceito de eficiência energética em edifícios, repartido por diversos pontos de modo a explicar como a arquitetura e os componentes de uma infraestrutura são fundamentais para um bom desempenho energético de um edifício;
- Capítulo 3: faz o enquadramento legal sobre eficiência energética em edifícios, abordando a evolução da legislação em Portugal e União Europeia, referindo o ponto de situação atual. Também explica o conceito de simulação dinâmica multizona e faz referência à regulamentação dos programas utilizados;
- Capítulo 4: retrata o caso de estudo, onde se encontra a descrição do edifício, bem como a caracterização de toda a informação retirada durante as vistorias ao edifício, de forma a melhor calibrar o modelo computacional;
- Capítulo 5: apresenta os diversos equipamentos de medição utilizados e faz a análise de resultados obtida através destes;
- Capítulo 6: apresenta o modelo computacional, aborda a criação e calibração do modelo e os resultados obtidos;
- Capítulo 7: propõe as medidas de melhoria e faz a respetiva análise;
- Capítulo 8: são apresentadas as conclusões do trabalho realizado e uma análise dos trabalhos futuros.

Capítulo 2

Eficiência energética

2.1 Introdução

Tudo o que existe no universo é alguma forma de energia. O Sol é uma estrela que fornece energia à Terra em forma de luz e calor, fazendo com que parte dessa energia vá para os alimentos, e quando os seres vivos comem os alimentos, recebem uma parcela dessa energia e trocam energia com o meio ambiente, seja fornecendo essa energia, ou recebendo energia dos outros seres vivos ou de outras fontes de energia, como o fogo, a eletricidade, o vento (Lopes & Cova, 2015).

É importante o facto de termos consciência de que a energia existe em grande quantidade no universo e que ela não aumenta nem diminui, mas passa por inúmeras transformações, sendo ora uma energia de um tipo ora de outro, e nós seres humanos, conseguimos transformá-la de acordo com as nossas necessidades e interesses, logo temos a responsabilidade de assegurar que ela não seja desperdiçada e/ou mal utilizada.

As crescentes necessidades energéticas estão a ser supridas através da utilização de combustíveis fósseis, estes provocam emissões de gases poluentes para a atmosfera, que por sua vez estão a provocar alterações climáticas perigosas no planeta.

É, portanto, urgente intervir para alcançar um novo equilíbrio que esteja em harmonia com o ambiente e respeite os direitos das gerações futuras. É necessário modificar e reduzir o consumo de energia.

A Europa depende energeticamente de países fora da União Europeia, alguns deles politicamente muito instáveis, para satisfazer as suas necessidades de combustíveis fósseis, nos últimos 5 anos a EU importou entre 52% a 57% da sua energia primária, nomeadamente petróleo e gás natural (EDP, 2019).

O custo anual da fatura energética representa uma parcela significativa das despesas de um lar. É necessário dar início a uma nova revolução energética, incentivando o uso de fontes de energia renovável, para a produção da energia necessária ao desenvolvimento e subsistência das populações do mundo. É um objetivo que está a ser perseguido com afinco e, que requer uma forte aposta na investigação, a qual deverá ser suportada por investimentos e políticas energéticas adequadas a nível nacional e internacional.

2.2 Eficiência energética em edifícios

Os materiais e métodos construtivos, bem como as características do local onde o edifício está inserido, têm um grande impacto nas condições de conforto térmico interior. Caso um edifício seja construído sem ter em atenção as condições climatéricas do local, não pode ser considerado um edifício eficiente na utilização de energia.

Em Portugal, nas últimas décadas as questões de conforto térmico têm sido resolvidas com sistemas de climatização, o que tem como consequência os elevados custos em climatização nas despesas das famílias (Isolani, 2008).

Dados relativos à última década, estimam que o setor residencial, em Portugal, com cerca de 3,3 milhões de edifícios, contribuiu com 29% do consumo de eletricidade (ERSE, 2019). Estes dados revelam a necessidade de tomar medidas para evitar que o consumo energético por parte deste setor continue a aumentar. Alguns motivos para o crescente aumento do consumo de energia no setor residencial são a utilização de maior número de equipamentos e procura de maior conforto térmico.

As edificações perdem e ganham calor por meio das suas vedações externas: as paredes, os vãos envidraçados, as coberturas e os pavimentos. O isolamento é uma barreira aos fluxos de calor que entram ou saem de um edifício e, é necessário para se manter o conforto térmico. A regra básica é envolver o edifício continuamente em todos os seus lados, inclusive na laje de piso, com materiais isolantes. As perdas e os ganhos térmicos também ocorrem devido à infiltração do ar de fora para dentro, principalmente através das juntas de construção que não são estanques. A figura seguinte ilustra, num clima temperado, a percentagem de perdas que ocorrem através da envolvente exterior de um edifício.

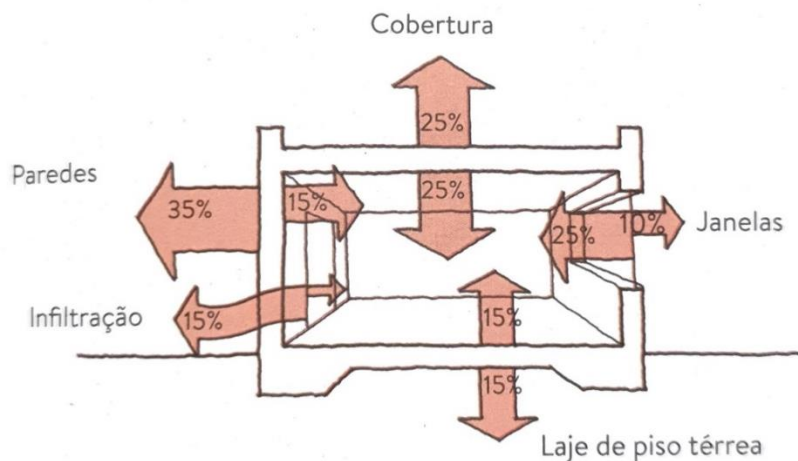


Figura 1. Perdas ou ganhos de calor através da envolvente do edifício (Heywood, 2017)

2.3 A radiação solar e os edifícios

As variáveis climáticas que mais influenciam os edifícios em termos de transferência de calor são a temperatura do ar exterior e a radiação solar.

A temperatura do ar determina o estabelecimento de trocas de calor entre o interior e o exterior dos edifícios. No inverno a temperatura exterior é baixa, ou seja, há perdas térmicas do interior para o exterior, no verão acontece o oposto, isto é, há uma entrada de calor nos edifícios (Cota, 2014).

Em relação à radiação solar, esta desempenha um papel fundamental como fonte de calor para aumentar a temperatura interior no inverno. No verão é uma fonte de calor a evitar de modo a impedir o aumento da temperatura interior nos edifícios (Isolani, 2008).

A energia solar depende de dois fatores: a trajetória do sol, isto é, o ângulo de incidência dos raios solares que determinam a intensidade da radiação, e a duração da exposição solar, ou seja, o número de horas de sol recebidas ao longo do dia e do ano.

É possível construir edifícios que tiram o maior partido da trajetória do sol e que, como consequência, conseguem fazer um melhor aproveitamento do mesmo. Para se ter uma ideia de como um edifício poderá responder no verão e no inverno, tem de se prestar atenção a dois fatores: a forma do edifício e, sobretudo, a sua orientação solar.

A localização do edifício é importante no que respeita às necessidades térmicas do edifício. Em Portugal estão definidas três regiões climáticas para o inverno e outras três para o verão, de acordo com a Figura 2. As zonas classificadas como I1 correspondem aos locais com menores necessidades de aquecimento no período de inverno, por sua vez I3 significa zonas com menores temperaturas externas, o que se traduz em maiores necessidades de aquecimento. O mesmo acontece no caso do verão as zonas classificadas como V1 têm menos necessidades de arrefecimento e, para as zonas V3 acontece o contrário.

Para além de verificar a zona climática, é necessário ter em atenção a altitude a que se encontra o edifício e se o edifício está localizado num espaço com boa ventilação natural, mas sem estar sujeito a ventos fortes.

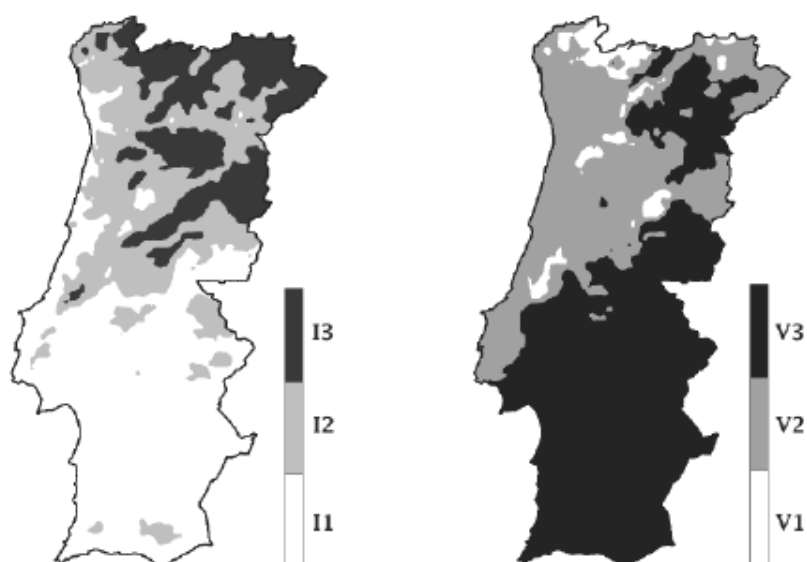


Figura 2. Zonas climáticas de Inverno e de Verão para Portugal continental (INCM, Portaria n.º 349-D/2013, Diário da República, 2019)

A capacidade de um edifício captar a radiação solar nos períodos com maior necessidade de energia, ou seja, no inverno e de ter menor superfície exposta à radiação solar no verão, que é quando existe a necessidade de dissipar o calor, determina o conforto térmico do edifício e os respetivos gastos energéticos (Isolani, 2008).

Como estas condições são opostas acontece que muitos dos edifícios são eficientes apenas numa estação, mas é possível projetar um edifício para ter um bom desempenho tanto no verão como no inverno.

Consoante o clima local pode-se optar por privilegiar uma das estações do ano, por exemplo, o caso de um edifício situado num clima frio, pode-se concentrar os esforços na eficiência do edifício durante o inverno.

É preferível que a exposição solar das superfícies a este e a oeste seja reduzida, pois são as orientações mais irradiadas durante o verão e a entrada de radiação solar é difícil de controlar, uma vez que é perpendicular às janelas. Para reduzir o impacto do frio no inverno é recomendável reduzir as paredes e janelas orientadas a norte e, aumentar as que estão orientadas a sul, no hemisfério norte. A fachada norte do edifício deve conter divisões que necessitam de aberturas reduzidas para o exterior como por exemplo arrumos, de modo a reduzir as perdas térmicas no inverno, de acordo com a Figura 3 (Yannas, 1994).

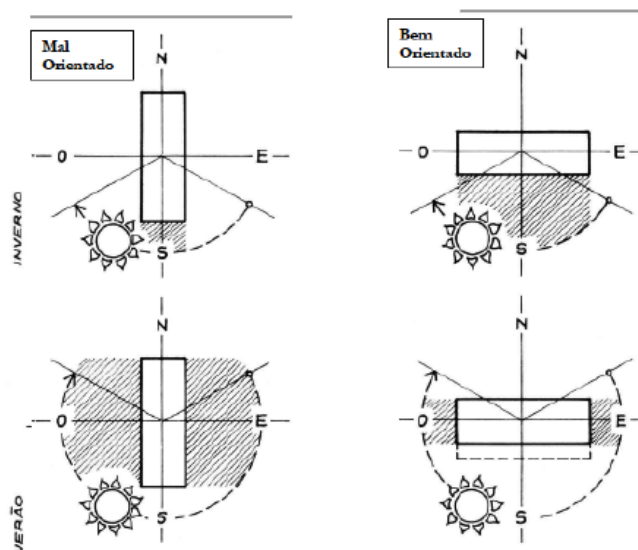


Figura 3. Radiação solar incidente nas fachadas de um edifício de acordo com a sua orientação (Isolani, 2008)

A altura do sol em relação ao horizonte determina muitos dos aspetos de uma arquitetura responsiva ao clima. No solstício de inverno, ao meio-dia solar, a altura solar máxima (em relação ao horizonte) em Bragança é de cerca de 24°. Esse ângulo varia de acordo com a latitude e é isso que, em parte, torna cada localização individual única na terra. O diagrama abaixo mostra os ângulos solares de várias cidades ao redor do mundo em dezembro. Com o uso de cartas solares (também chamadas de diagramas solares), podemos

descobrir a posição do sol a qualquer horário do dia e em qualquer período do ano. Saber a posição relativa da Terra e do Sol, ou seja, a geometria solar, é um aspeto importante para uma arquitetura que pretende ser responsiva ao clima (Bougdah, 2010).

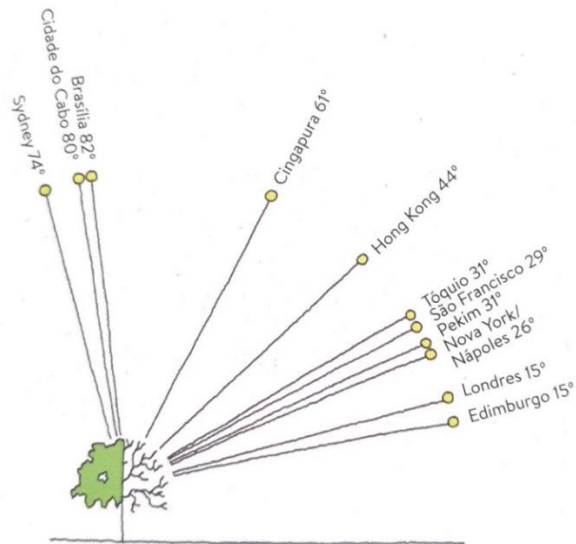


Figura 4. 21 de dezembro: o ângulo solar ao meio-dia em diferentes locais do planeta (Heywood, 2017)

É importante que os vãos envidraçados dos edifícios capturem a energia do sol “baixo” do inverno. Assim, sendo a altura solar baixa, os raios solares conseguem penetrar fundo nos espaços, isto se não forem barrados, mostrando-se uma fonte de calor gratuita, como mostra a Figura 5.

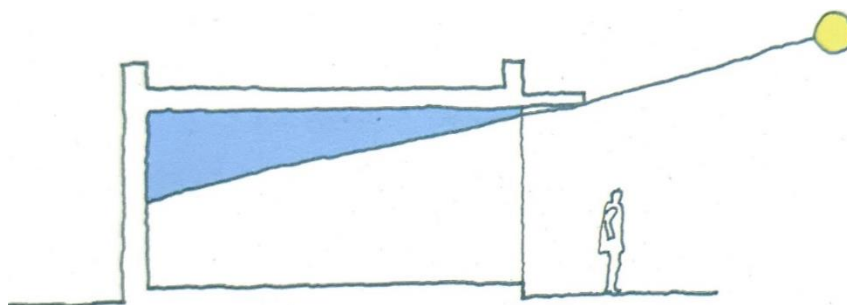


Figura 5. Raios solares de inverno (Heywood, 2017)

Por outro lado, deve-se evitar o sobreaquecimento no verão. No verão, o sol está alto no céu, alcançando, em junho, um ângulo máximo de cerca de 72° em relação ao horizonte

em Bragança. Nas janelas orientadas para a sul, um simples elemento de proteção solar pode evitar que esse sol muito alto entre na edificação, Figura 6.

Uma regra básica para estimar a profundidade de uma proteção instalada perto da padieira da janela é usar entre 60 a 90 cm, em latitudes intermediárias e, pelo menos, 120 cm nas latitudes perto da linha do equador, nas quais deveria ser empregada uma combinação entre projeções verticais e horizontais.

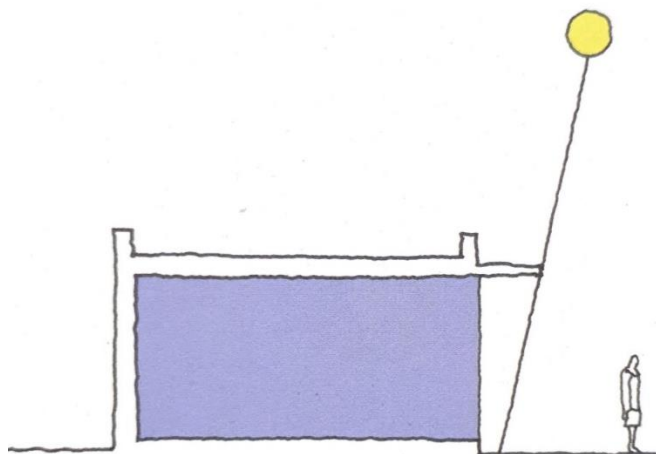


Figura 6. Raios solares de verão (Heywood, 2017)

A forma do edifício também é um fator importante no que respeita às perdas de calor, geralmente as estruturas compactas e com formas arredondadas têm menos perdas de energia do que as formas com várias cavidades recolhidas ou salientes.

A orientação das paredes e janelas influencia os ganhos ou perdas de calor. Em zonas mais frias, no hemisfério norte, as paredes de maiores dimensões, superfícies envidraçadas devem estar orientadas a sul e sudoeste. Em zonas quentes devem ser orientadas a norte (Isolani, 2008).

2.4 Características da construção

A qualidade térmica do edifício também depende das características dos elementos que fazem fronteira entre o edifício e o ambiente exterior, isto é, fachadas, janelas e telhados.

Pode-se tomar várias medidas no setor da eficiência energética dos edifícios, tais como a escolha adequada de materiais de construção, aproveitamento de fontes de energias renováveis e técnicas passivas de ventilação.

2.4.1 Paredes

As paredes densas, que têm grande massa termoacumuladora, absorvem o calor lentamente, armazenando-o. Esse calor acumulado é então libertado aos poucos dentro da edificação. Em edificações com grande massa termoacumuladora, ou seja, com inércia forte, a temperatura interna mais elevada ocorre no início da manhã, muitas horas depois da temperatura externa mais alta. Portanto, dizemos que as edificações com inércia forte têm um grande atraso térmico, o que também é chamado de “efeito do volante térmico” e, relaciona-se com os padrões de uso das edificações (Heywood, 2017).

Ao contrário das edificações de inércia forte, as com inércia fraca aquecerão e resfriarão ao longo de um período pouco maior do que a do ambiente externo. Assim, dizemos que as edificações de inércia fraca têm pequeno atraso térmico.

Num clima temperado, a principal função da massa térmica é atenuar as oscilações diurnas de temperatura, resultando num ambiente térmico interno estável. Ela faz isso absorvendo o calor ganho, direta ou indiretamente, do Sol e das fontes internas, como os ocupantes, os equipamentos e, libertando-o lentamente ao longo da noite, que é mais fria. Com a massa termoacumuladora diminuindo a passagem do calor, pode-se esperar um atraso, de digamos, doze horas entre as temperaturas máximas externa e interna (Heywood, 2017). A temperatura interna máxima pode, portanto, ser projetada de modo a ser atingida enquanto a edificação está desocupada ou quando se pode aproveitar a ventilação noturna, como a massa acumuladora está sempre a fazer trocas térmicas, após um dia absorvendo calor, é necessário resfriá-la com o ar noturno, de temperatura mais baixa. A ventilação noturna exige aberturas, e essas devem ser projetadas tendo-se em mente a segurança dos moradores e o tempo (Givoni, 1994).

Devemos ter em consideração que a cor externa influencia o consumo de energia. Uma parede ou cobertura negra absorverá até 20 vezes mais energia solar que uma branca. Em climas com invernos frios ou muito frios, coberturas e fachadas voltadas para o Sol, de

cores escuras e absorventes fornecerão ganhos térmicos benéficos (Givoni, 1994). Contudo, no verão, uma superfície que reflete o calor é desejável nos climas e estações quentes. A cobertura de um prédio receberá mais radiação solar no verão do que qualquer outra superfície, seja qual for a latitude, e uma cobertura branca manter-se-á a uma temperatura inferior à do ar.

2.4.2 Envidraçados

Os envidraçados podem contribuir para a entrada de calor, sem custos, mas, por outro lado são um meio de dissipação de calor se não forem construídos e montados de forma correta. A intervenção em janelas pretende reduzir as infiltrações de ar não-controladas, aumentar os ganhos solares no inverno e, proteger da radiação solar no período mais quente, bem como melhorar as condições de ventilação natural (Isolani, 2008).

Estima-se que entre 25 a 30% das necessidades de aquecimento de um edifício são devidas a perdas de calor com origem nos envidraçados (Isolani, 2008). Os fatores mais importantes na avaliação das janelas são a área da superfície envidraçada, o tipo de vidro utilizado e o tipo de caixilharia.

O dimensionamento adequado dos envidraçados em função da orientação solar contribui significativamente para o conforto térmico dos edifícios. No período mais quente não é desejável ter elevados ganhos solares, enquanto no inverno é o oposto, a orientação dos envidraçados orientados a sul é a mais benéfica. Os vãos envidraçados orientados a sul permitem uma entrada da radiação solar durante o período em que o sol está mais baixo, no inverno, e elimina a entrada dos raios solares quando está mais alto, no verão (Heywood, 2017).

Os vãos envidraçados orientados a sul devem ser sempre desenhados para ter sistemas de sombreamento exterior, estes com o objetivo de permitir controlar o grau de luminosidade que entra através dos vãos envidraçados. Por outro lado, os vãos envidraçados orientados a norte são importantes no balanço energético do edifício, porque são áreas com elevadas perdas energéticas, mas que permitem uma ventilação natural e iluminação interior eficaz (Pelsmakers, 2012).

As claraboias, colocadas no plano horizontal são responsáveis por elevados ganhos solares na estação mais fria, porém a sua utilização em Portugal possui algum risco, porque os raios solares são demasiado intensos durante muitos dias do ano, o que pode resultar em sobreaquecimento. O sobreaquecimento é o principal risco da utilização de claraboias, mas pode ser eliminado com uma correta ventilação natural, da qualidade do vidro duplo aplicado ou mesmo de sistemas de sombreamento exterior (Isolani, 2008).

O tipo de vidro utilizado também influencia as trocas de calor, as janelas que contêm vidros duplos têm uma maior capacidade de isolamento do que os vidros simples, pois o espaço existente entre os dois vidros serve para reduzir a perda de calor. De um modo geral quanto maior este espaço mais isolante é o vidro (Isolani, 2008). O tipo de vidro influencia o valor de U, coeficiente de condutibilidade térmica, no caso de um vidro duplo tradicional este valor é cerca de metade em relação a um vidro simples, de acordo com a Figura 7.



Figura 7. Perdas de calor de acordo com o tipo de vidro (FOCO, 2019)

As caixilharias das janelas são fundamentais para a dissipação de calor. As caixilharias em plástico, madeira ou alumínio com corte térmico são as que têm os melhores coeficientes de transmissão térmica.

2.4.3 Coberturas e pavimentos

As coberturas são as superfícies da envolvente com maiores perdas de energia, por isso é fundamental a existência de isolamento térmico, como se verifica na Figura 1 (Heywood, 2017).

No caso de coberturas horizontais o isolamento térmico deve ser aplicado sobre a laje, já impermeabilizada e, protegido pela aplicação de uma proteção, podendo esta ser pesada ou com a aplicação de telas de impermeabilização, dependendo do uso da cobertura. No caso de uma cobertura inclinada o isolamento exterior deve, caso seja possível, ser colocado sob o telhado, podendo este ser de telhas ou outro material resistente às condições climáticas. Neste tipo de cobertura também é possível fazer o isolamento pelo interior, em que o material isolante é colado ou aparafusado sobre a estrutura do telhado inclinado.

A intervenção ao nível de pavimentos é importante quando estes estão em contacto direto com o exterior ou com espaços interiores não aquecidos. O isolamento térmico é aplicado sobre a laje de fundo e, a seguir coberto com o material de acabamento pretendido (Isolani, 2008).

2.4.4 Isolamento térmico

A aplicação de isolamento térmico adequado permite minimizar as trocas térmicas excessivas entre o interior e o exterior de um edifício, ou seja, reduzir as perdas de calor no inverno e o sobreaquecimento interior no verão, isto leva a uma redução dos custos associados ao aquecimento e arrefecimento. No mercado estão disponíveis vários tipos de materiais e, a sua escolha e modo de aplicação é feita considerando o clima da zona onde se sita o edifício e de eventuais restrições da construção.

Estes materiais devem apresentar um baixo valor de U , ou seja, devem ser materiais com uma elevada resistência térmica e, são normalmente materiais porosos e de baixa densidade, tais como o aglomerado de cortiça, a espuma de poliuretano, a lã de rocha, a lã de vidro, o poliestireno expandido e o poliestireno extrudido.

O isolamento térmico pode ser aplicado pelo interior das paredes da envolvente de um edifício, ou colocado na caixa-de-ar entre as paredes duplas ou ainda ser assente pelo exterior de um edifício, sendo útil em qualquer destas aplicações. No entanto, o isolamento térmico pelo exterior do edifício é o que tem uma maior eficácia (Cota, 2014).

O isolamento térmico pelo interior consiste na colagem do material isolante, na parte interior da parede. O isolamento pode ser revestido com placas de gesso cartonado, sobre o qual é aplicado o acabamento final da parede interior. A utilização de isolamento pelo interior apenas elimina as pontes térmicas em pilares e, é utilizado em casos pontuais, sobretudo em reabilitações, onde não é possível optar por isolamento pelo exterior (Isolani, 2008).

Em relação ao isolamento térmico colocado na caixa-de-ar, como o próprio nome indica a caixa-de-ar da parede é preenchida, total ou parcialmente, com isolamento térmico, normalmente é aplicado poliestireno extrudido (XPS), apresentando este um custo médio e, um isolamento eficaz.

Por último o isolamento térmico aplicado de forma contínua pelo exterior do edifício, isto é, pavimento térreo, paredes envolventes e coberturas, permite otimizar o desempenho energético do edifício. Este isolamento elimina as pontes térmicas e todos os materiais constituintes da envolvente são protegidos das variações de temperatura e de condições climáticas adversas, o que garante uma maior longevidade e integridade física da estrutura, evitando o aparecimento de fissuras e, posterior absorção de água.

2.5 Iluminação

Para conseguir uma boa iluminação há que analisar as necessidades de luz em cada uma das zonas do edifício, pois nem todos os espaços requerem a mesma luminosidade, intensidade e tempo de utilização, sendo que cada zona poderá ter um tipo utilização diferente, logo tem uma necessidade de iluminação diferente. Em relação à iluminação de um edifício, esta pode ser conseguida com recurso à utilização da iluminação natural e/ou iluminação artificial.

A captação de iluminação de forma natural nos edifícios é importante para evitar a utilização desnecessária de energia elétrica, tendo ganho particular destaque nos últimos anos como forma de dar uma resposta aos elevados consumos por parte dos edifícios.

A luz diurna é um recurso natural gratuito, abundante e confiável. Precisamos de aproximadamente 100 lux para uma leitura normal e de 300 lux para tarefas visuais contínuas. No exterior, há uma quantidade de luz natural muito superior a esses níveis, mesmo em dias encobertos: sob a luz direta, recebemos 100 mil lux. Mesmo assim, utilizamos em demasia a iluminação artificial nas nossas edificações, o que consome uma grande parcela de energia elétrica. Até 50% da energia consumida num edifício de escritórios típico é usada para a iluminação artificial, e esse valor é de 90% nas lojas comerciais e mais de 20% nas escolas. Um derivado da maior parte dos sistemas de iluminação artificial é o calor, que nem sempre é desejável, particularmente nas estações de arrefecimento e nas zonas climáticas mais quentes. Assim, devemos buscar o aproveitamento eficiente da iluminação natural e direcioná-la para os locais onde ela é necessária. Uma estratégia de iluminação natural pode acarretar uma economia de até 40% no consumo de energia em relação a um esquema com iluminação artificial (Heywood, 2017).

Devemos considerar que interiores com paredes de cores claras, precisam de janelas mais pequenas. A parede do fundo de um compartimento, ou seja, a que está voltada para a janela, em particular, deve ter alta refletância, que pode ser obtida com a aplicação de uma tinta clara. Quanto mais distante a janela estiver da parede do fundo, maior deverá ser a refletância dos acabamentos para que se possa evitar a iluminação artificial. A refletância da luz diurna refletida por uma prateleira de luz e dos acabamentos do piso externo de cor clara fazem com que a luz seja projetada mais fundo no espaço, melhorando a distribuição da luz natural (Silver, 2008).

Um espaço com acabamentos internos escuros precisará de quase o dobro da área de janela do que um recinto com cores claras e refletivas, e isso aumenta as perdas e/ou os ganhos térmicos.

A iluminação artificial por sua vez tem vindo a evoluir rapidamente nos últimos anos, e, atualmente há uma grande variedade de opções no mercado para dar resposta às necessidades energéticas relativas à iluminação.

Um fator importante na escolha de uma lâmpada é a eficiência energética ou eficiência luminosa, isto é, a quantidade de luz emitida por unidade de potência elétrica consumida, e mede-se em “lumens por watt” e permitem comparar a eficiência de diferentes fontes de luz (ERSE, 2019).

Os principais tipos de lâmpadas utilizados em edifícios são as lâmpadas fluorescentes, lâmpadas de halogénio e lâmpadas de tecnologia LED, sendo já raramente encontradas lâmpadas incandescentes nos edifícios.

A União Europeia aprovou em 2009 uma diretiva com o objetivo de retirar gradualmente as lâmpadas incandescentes do mercado, isto porque é um tipo de lâmpada pouco eficiente, ela funciona utilizando um fio de tungsténio que ao passar corrente elétrica no filamento torna-se incandescente e começa a emitir luz, com este funcionamento apenas 5% da energia consumida é convertida em luz, sendo a restante desperdiçada sob a forma de calor (Comissão Europeia, Diretiva 2009/125/CE, 2019).

As lâmpadas de halogéneo criam luz através da corrente que passa no filamento de tungsténio, em que partes do filamento evaporam durante o processo. Estas são preenchidas com gases inertes e halogéneo que captura os átomos de tungsténio e são transportados de novo para o filamento, este processo designado por ciclo de halogéneo repete-se durante o período de funcionamento da lâmpada, que corresponde a cerca de 5000 horas de utilização.

Esta lâmpada é mais compacta, comparada com a incandescente, resultando num aumento da qualidade da luz, na vida útil da lâmpada, possui uma luz de efeito brilhante e uma eficiência luminosa de até 25 lm/W (OSRAM, 2019). No entanto, a lâmpada LED tem sido uma excelente alternativa uma vez que a substituição é direta e sem grandes custos de mão de obra.

As lâmpadas fluorescentes contêm no seu interior vapor de mercúrio e gases. Quando a corrente elétrica passa, os eletrões chocam com os átomos de mercúrio e a energia resultante deste choque é transferida para o mercúrio. Este emite energia na forma de radiação ultravioleta, esta é transformada em luz visível pela camada fluorescente. O funcionamento destas lâmpadas depende de um balastro, para estabilizar a corrente e tensão da rede e de um arrancador para fornecer o pico de corrente necessário ao acendimento da lâmpada. A utilização de balastros ferromagnéticos acresce perdas de cerca de 20% aos

sistemas de iluminação, tendo estes vindo a ser gradualmente substituídos nos edifícios por balastros eletrónicos com perdas inferiores a 2%.

Este tipo de lâmpada tem um período de vida de cerca de 6 000 horas e, permitem economizar até 85% de energia quando comparadas com as lâmpadas incandescentes (OSRAM, 2019).

A lâmpada LED é um componente eletrónico semicondutor, quando é fornecida corrente elétrica, os eletrões deslocam-se através do semicondutor produzindo luz.

Enquanto que a lâmpada incandescente converte apenas 5% da energia elétrica que consome em luz, o LED pode converter até 40% da energia elétrica consumida. Este tipo de lâmpada também tem um período de vida bastante longo e são bastante eficientes (OSRAM, 2019).

Na Tabela 1 verifica-se a eficiência e a vida útil dos vários tipos de lâmpadas descritos. Constata-se que as lâmpadas incandescentes são muito pouco eficientes, visto que para terem uma luminosidade com valores aproximados das restantes, tem de ter uma potência muito superior, logo gastos energéticos mais elevados. Por outro lado a lâmpada LED consegue ter uma vida útil trinta vezes superior a uma lâmpada incandescente (Dallabrida, 2015). De referir que uma outra vantagem das lâmpadas LED é que existem atualmente no mercado soluções que usam esta tecnologia e que são de substituição direta para praticamente todo o tipo de aplicações e alternativas a outras lâmpadas.

Tabela 1. Vida útil e eficiência luminosa (Dallabrida, 2015)

Tipo de lâmpada	Vida útil (h)	Potência (W)	Luminosidade (lm)	Eficiência Luminosa (lm/W)
Incandescente	1000	100	1300	13
Fluorescente	6000	20	1280	64
LED	30000	15	1320	88

Capítulo 3

Enquadramento legal

Aquando da aplicação do Protocolo de Quioto, em 16 de dezembro de 2002, entrou em vigor a Diretiva Europeia 2002/91/CE que visava aumentar a eficiência energética dos edifícios da UE.

A diretiva n.º 2002/91/CE (Comissão Europeia, Diretiva n.º 2002/91/CE, 2019) estabelece que os Estados membros da UE devem implementar um sistema de certificação energética de forma a informar o cidadão sobre a qualidade térmica dos edifícios, aquando da construção, da venda ou do arrendamento dos mesmos, exigindo também que o sistema de certificação abranja igualmente todos os grandes edifícios públicos e edifícios frequentemente visitados pelo público.

A certificação energética permite aos futuros utilizadores obter informação sobre os potenciais consumos de energia, no caso dos novos edifícios ou no caso de edifícios existentes ou sujeitos a grandes intervenções de reabilitação, dos seus consumos reais ou ajustado para padrões de utilização típicos, passando o critério dos custos energéticos, durante o funcionamento normal, a integrar o conjunto dos demais aspetos importantes para a caracterização do edifício.

Nos edifícios existentes, a certificação energética destina-se a proporcionar informação sobre as medidas para melhoria do desempenho, com viabilidade económica, que o proprietário pode implementar para reduzir as suas despesas energéticas e, simultaneamente, melhorar a eficiência energética do edifício.

Nos edifícios novos e nos edifícios existentes sujeitos a grandes intervenções de reabilitação, a certificação energética permite comprovar a correta aplicação da regulamentação térmica em vigor para o edifício e para os seus sistemas energéticos, nomeadamente a obrigatoriedade de aplicação de sistemas de energias renováveis de elevada eficiência energética, dando assim, cumprimento à Diretiva n.º2002/91/CE, que obriga os Estados

Membros a garantir a efetiva implementação dos requisitos mínimos regulamentares de desempenho energético por forma a assegurar a respetiva eficiência energética (Comissão Europeia, Diretiva n.º 2002/91/CE, 2019).

3.1 Decreto-Lei n.º78/2006

Em 2006, foi transposta a diretiva n.º 2002/91/CE para a legislação nacional. Neste âmbito foram criados, em Portugal, novos regulamentos para os sistemas energéticos e de climatização nos edifícios, o Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios, RSECE, descrito no Decreto-Lei 79/2006 e, para as características de comportamento térmico dos edifícios, o Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios, RCCTE, representado no Decreto-Lei n.º 80/2006, bem como a criação do sistema de certificação energética e qualidade do ar interior dos edifícios, o Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios, SCE, caracterizado no Decreto-Lei n.º78/2006.

O SCE tinha como objetivo (INCM, Decreto-Lei n.º 78/2006, 2019):

- Assegurar a aplicação regulamentar, nomeadamente no que respeita às condições de eficiência energética, à utilização dos sistemas de energias renováveis e, ainda, às condições de garantia da qualidade do ar interior, de acordo com as exigências e disposições contidas nos documentos de RSECE e RCCTE;
- Certificar o desempenho energético e a qualidade do ar interior nos edifícios. A certificação energética seria efetuada por peritos qualificados e a aplicação dos regulamentos seria supervisionada pela Agência para a Energia, ADENE, pela Direção Geral de Energia e Geologia, DGEG, e, pelo Instituto do Ambiente, IA;
- Identificar as medidas corretivas ou de melhoria de desempenho aplicáveis aos edifícios e respetivos sistema energéticos.

O RSECE (INCM, Decreto-Lei n.º 79/2006, 2019) tinha como objetivo regulamentar a eficiência energética dos edifícios de comércio e serviços, determinando limitações máximas em termos de consumos, assim como definir os procedimentos de manutenção, monitorização, auditorias energéticas e a qualidade do ar interior.

Os edifícios abrangidos pelo regulamento possuem uma potência de calor ou frio superior a 25 kW ou uma área superior a 1000 m², ou superior a 500 m² no caso de serem centros comerciais, supermercados ou piscinas aquecidas. Em termos de condições térmicas, para além do imposto pelo RCCTE, o RSECE impunha limitações mínimas em termos de renovação de ar e máximas em termos de concentração de poluentes.

O RCCTE (INCM, Decreto-Lei n.º 80/2006, 2012) destinava-se a garantir a qualidade térmica dos edifícios residenciais e edifícios de serviços, de pequena dimensão.

Os edifícios abrangidos pelo regulamento tinham de possuir uma potência de climatização inferior a 25 kW, sendo que os edifícios de serviços tinham de possuir uma área útil até 1000 m², ou menor que 500 m², no caso de serem centros comerciais, supermercados ou piscinas aquecidas. O regulamento também contemplava normas relativas à instalação de painéis solares térmicos e aquecimento das águas quentes sanitárias, AQS.

A diretiva n.º 2010/31/EU (Europeia, 2019) surgiu da necessidade de atualizar a Diretiva 2002/91/CE, com a objetivo de aumentar a eficiência energética na UE de modo a alcançar melhores resultados para o cumprimento das metas 2020.

- Metodologia de cálculo do desempenho energético integrado dos edifícios e frações autónomas;
- Aplicação de requisitos mínimos para o desempenho energético dos edifícios e frações autónomas novas;
- Aplicação de requisitos mínimos para o desempenho energético dos edifícios existentes, frações autónomas e componentes de edifícios sujeitos a grandes renovações; elementos construtivos da envolvente dos edifícios com impacto significativo no desempenho energético da envolvente quando forem renovados ou substituídos; sistemas técnicos dos edifícios quando for instalado um novo sistema ou quando o sistema existente dor substituído ou melhorado;
- Planos nacionais para aumentar o número de edifícios com necessidades quase nulas de energia, isto é, um edifício com um desempenho energético muito elevado e que as necessidades de energia deverão ser suprimidas por energia proveniente de fontes renováveis;
- Certificação energética dos edifícios ou das frações autónomas;

- Inspeção regular das instalações de aquecimento e de ar condicionado nos edifícios;
- Sistemas de controlo independente dos certificados de desempenho energético e dos relatórios de inspeção.

3.2 Decreto-Lei n.º118/2013

Em 2013, a diretiva 2010/31/EU foi transposta para a legislação portuguesa através do Decreto-lei n.º118/2013, (INCM, Decreto-Lei n.º 118/2013, 2019), com o intuito de simplificar e otimizar o processo da certificação energética.

Este reúne em apenas um decreto-lei: o Sistema de Certificação Energética dos Edifícios (SCE), o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH) e o Regulamento de Desempenho de Comércio e Serviços (RECS), fazendo a separação clara dos âmbitos do REH e do RECS.

Com a separação clara do âmbito de aplicação do REH e do RECS, passando o primeiro a incidir exclusivamente sobre os edifícios de habitação, tendo como principal destaque o comportamento térmico e a eficiência dos sistemas. Acerca do RECS, a incidência era sobre os edifícios de comércio e serviços, com destaque para o comportamento térmico, eficiência dos sistemas e instalação, condução e manutenção de sistemas técnicos.

Para além da revisão dos requisitos de qualidade térmica, são implementados requisitos de eficiência energética para os principais de sistemas técnicos dos edifícios, introduzindo assim padrões mínimos de eficiência energética para os sistemas de climatização, de preparação de AQS, de iluminação, de aproveitamento de energias renováveis e de gestão de energia.

O Decreto-lei n.º 118/2013 introduz ainda o conceito introduzido pela Diretiva 2010/31/EU, o edifício com necessidades energéticas quase nulas (*Nearly Zero Energy Building*, NZEB). São edifícios com necessidades quase nulas de energia os que tenham um elevado desempenho energético e em que a satisfação das necessidades de energia resulte em grande medida de energia proveniente de fontes renováveis, designadamente a produzida no local ou nas proximidades. Devem ter necessidades quase nulas de energia

os edifícios novos licenciados após 31 de dezembro de 2020, ou após 31 de dezembro de 2018 no caso de edifícios novos na propriedade de uma entidade pública e ocupados por uma entidade pública.

O desempenho energético de um edifício de comércio e serviços é aferido pela determinação do seu Indicador de Eficiência Energética (IEE), equação 1.

O IEE de um edifício de comércio e serviços é determinado seguindo as determinações explicitadas na Portaria n.º. 349-D/2013 de 2 dezembro, (INCM, Portaria n.º 349-D/2013, Diário da República, 2019). Segundo esta portaria o IEE é determinado com base no somatório dos diferentes consumos anuais de energia, agrupados em indicadores parciais e convertidos para energia primária por unidade de área interior útil de pavimento, de acordo com a seguinte equação:

$$IEE = IEE_S + IEE_T - IEE_{ren} \quad \text{Eq. 1}$$

Em que:

IEE_S , representa os consumos de energia que são considerados para efeitos de cálculo da classificação energética do edifício, de acordo com a Tabela 2, sendo determinado pela seguinte expressão:

$$IEE_S = \frac{1}{A_p} \sum_i (E_{S,i} \cdot F_{pu,i}) \quad \text{Eq. 2}$$

Em que:

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

A_p – Área interior útil de pavimento [m²];

$F_{pu,i}$ – Fator de conversão de energia útil para energia primária que traduz o rendimento global do sistema de conversão e transporte de energia de origem primária [kWh_{EP}/kWh].

O IEE_T , representa os consumos de energia que não são considerados para efeitos de cálculo da classificação energética do edifício, de acordo com a Tabela 2, sendo determinado pela seguinte expressão:

$$IEE_T = \frac{1}{A_p} \sum_i (E_{T.i} \cdot F_{pu.i}) \quad \text{Eq. 3}$$

Em que:

$E_{T.i}$ – Consumo de energia por fonte de energia i para os usos do tipo T [kWh/ano];

A_p – Área interior útil de pavimento [m²];

$F_{pu.i}$ – Fator de conversão de energia útil para energia primária que traduz o rendimento global do sistema de conversão e transporte de energia de origem primária [kWh_{EP}/kWh].

Tabela 2. Consumos de energia a considerar no IEE_S e no IEE_T

Consumos no IEE_S	Consumos no IEE_T
Aquecimento e arrefecimento ambiente, incluindo humidificação e desumidificação	Ventilação e bombagem não associada ao controlo de carga térmica
Ventilação e bombagem em sistemas de climatização	Equipamento de frio
Aquecimento de águas sanitárias e de piscinas	Iluminação de utilização pontual
Iluminação interior	Restantes equipamentos não incluídos em IEE_S
Ascensores, escadas mecânicas e tapetes rolantes	
Iluminação exterior	

IEE_{ren} , determinado com base na produção de energia elétrica e térmica a partir de fontes de energias renováveis, sendo que apenas é contabilizada a energia elétrica destinada a autoconsumo, e a energia térmica efetivamente utilizada.

$$IEE_{ren} = \frac{1}{A_p} \sum_i (E_{ren.i} \cdot F_{pu.i}) \quad \text{Eq. 4}$$

Em que:

IEE_{ren} – Produção de energia por fonte de energia i a partir de fontes de origem renovável para consumo [kWh/ano];

A_p – Área interior útil de pavimento [m²];

$F_{pu.i}$ – Fator de conversão de energia útil para energia primária que traduz o rendimento global do sistema de conversão e transporte de energia de origem primária [kWh_{EP}/kWh].

Para efeitos de aplicação da presente portaria e visando os edifícios de comércio e serviços, distinguem-se, os seguintes tipos de indicador de eficiência energética:

- IEE previsto (IEE_{pr}), o qual procura traduzir o consumo anual de energia do edifício com base na localização do edifício, nas características da envolvente, na eficiência dos sistemas técnicos e nos perfis de utilização previstos para o edifício;
- IEE efetivo (IEE_{ef}), o qual traduz o consumo anual de energia do edifício, obtido com base no histórico de faturas de energia, e/ou alternativamente considerando os resultados de uma avaliação energética realizado numa base de tempo anual, bem como os dados provenientes de um sistema de gestão de energia;
- IEE de referência (IEE_{ref}), o qual procura traduzir o consumo anual de energia do edifício, caso este fosse dotado de soluções de referência para alguns dos elementos da envolvente e para alguns dos seus sistemas técnicos, mantendo inalteradas as demais características do edifício.

Para a determinação dos diferentes IEE de um edifício de comércio e serviços utilizam-se diferentes métodos, tal como está explicitado na Tabela 3:

- Método de previsão do IEE_{pr} por simulação dinâmica multizona;
- Método de previsão do IEE_{pr} por calculo dinâmico simplificado;
- Método de determinação do IEE_{ef} por consumo efetivo.

Tabela 3. Métodos aceites para determinação do IEE de um edifício de comércio de serviços de acordo com tipo de edifício e a sua situação (INCM, Portaria n.º 349-D/2013, Diário da República, 2019)

Tipo de edifício	Método	Novo	Existente	Grande Intervenção
Pequeno Edifício de Comércio e Serviços (PES)	Base	Simulação Dinâmica Multizona	Consumo efetivo	Simulação Dinâmica Multizona
	Alternativo	Cálculo Dinâmico Simplificado	Simulação Dinâmica Multizona ou Cálculo Dinâmico Simplificado	Cálculo Dinâmico Simplificado
Grande Edifício de Comércio e Serviços (GES)	Base	Simulação Dinâmica Multizona	Consumo efetivo	Simulação Dinâmica Multizona
	Alternativo	Não aplicável	Simulação Dinâmica Multizona	Não aplicável

Após a determinação do IEE aplicável ao caso em estudo e de acordo com os métodos mencionados é possível calcular a classe energética de um edifício. Para tal o Despacho n.º 15793-J/2013, (INCM, Despacho n.º 15793-J/2013, 2019) , apresenta a fórmula a utilizar para a determinação da classe energética de um edifício de comércio e serviços:

$$R_{IEE} = \frac{IEE_S - IEE_{ren}}{IEE_{ref,S}} \quad \text{Eq.5}$$

Em que:

R_{IEE} - Representa o rácio de classe energética;

IEE_S – Indicador de eficiência energética obtido de acordo com a Tabela 4;

$IEE_{ref,S}$ – Indicador de eficiência energética de referência associado aos consumos anuais de energia do tipo S;

IEE_{ren} – Indicador de eficiência energética renovável associado à produção de energia elétrica a partir de fontes de energias.

Tabela 4. Forma de cálculo do IEE_S , (INCM, Despacho n.º 15793-J/2013, 2019)

Forma de cálculo do IEE_S			
Tipo de edifício	Novo	Existente	Grande intervenção
PES	$IEE_{pr,S}$	$IEE_{ef,S}$ ou $IEE_{pr,S}$	$IEE_{pr,S}$
GES	$IEE_{pr,S}$	$IEE_{ef,S}$ ou $IEE_{pr,S}$	$IEE_{pr,S}$

De acordo com o valor de R_{IEE} , determina-se qual a classe energética de acordo com a Tabela 5, para os pequenos e grandes edifícios de comércio e serviços.

Tabela 5. Determinação da classe energética de acordo com o valor de R_{IEE} , (INCM, Despacho n.º 15793-J/2013, 2019)

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

3.3 Simulação dinâmica

De acordo com o Decreto-Lei n.º 118/2013, entende-se por simulação dinâmica a previsão de consumos de energia correspondentes ao funcionamento de um edifício e respetivos sistemas energéticos que tenha em conta a evolução de todos os parâmetros relevantes com a precisão adequada, numa base de tempo pelo menos horária, para diferentes zonas térmicas e condições climáticas de um ano de referência (INCM, Decreto-Lei n.º 118/2013, 2019).

3.1.1 Simulação dinâmica multizona

A análise energética do edifício em questão foi feita com base no método de simulação dinâmica multizona que deve ser realizada por um programa acreditado pela norma, da *American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers*, ASHRAE 140, de acordo com a Portaria n.º 349-D/2013 de 2 de dezembro (INCM, Portaria n.º 349-D/2013, Diário da República, 2019).

A norma ASHRAE especifica que os testes que devem ser realizados para avaliar as capacidades técnicas e aplicabilidade de programas de computador e que calculam o desempenho térmico dos edifícios e dos seus sistemas de aquecimento, arrefecimento, ventilação e ar condicionado. Embora estes testes padrão não ensaiem todos os algoritmos de programa de computador podem ser utilizados para indicar as principais falhas e erros de código (ASHRAE 140, 2019).

De acordo com a tabela seguinte, podemos ver os diversos programas que a ASHRAE aprovou, após uma complexa avaliação.

Tabela 6. Programas aprovados pela norma ASHRAE e respetivas organizações responsáveis (ASHRAE 140, 2019)

Programas	Organizações Responsáveis
Blast	CERL – U.S. Army Construction Engineering Research Laboratories, USA
DOE-2	LANL – Los Alamos National Laboratory, USA LBNL – Lawrence Berkeley National Laboratory, USA James J. Hirsch & Associates, USA
ESP	Strathdyde University, GB
SRES/SUN	NREL – National Renewable Energy Laboratory, USA Ecotope, USA
SRES/BRE	NREL – National Renewable Energy Laboratory, USA BRE – Building Research Establishment, GB
S3PAS	Universidade de Sevilha, Espanha
TASE	Tampere University, Finlândia
TRNSYS	University of Wisconsin, USA
TRNSYS/TUD	University of Wisconsin, USA Technische Universität Dresden, Alemanha
CA-SiS	Électricité de France, França
CLIM2000	Électricité de France, França
ENERGYPLUS	LBNL - Lawrence Berkeley National Laboratory, USA UIUC – University of Illinois Urbana/Champaign, USA CERL – U.S. Army Construction Engineering Research Laboratories, USA OSU – Oklahoma State University, USA GARD Analytics, USA FSEC – University of Central Florida, Florida Solar Energy Center, USA DOE-OBT Department of Energy, Office of Building Technology, USA

De acordo com a legislação nacional o programa além de ser acreditado pela norma ASH-RAE 140 deve ter capacidade para modelar:

- Mais do que uma zona térmica;
- Incremento de tempo horário e por um período de um ano civil, contabilizado em 8760 horas;
- A variação horária das cargas internas, diferenciadas em ocupação, iluminação e equipamentos;
- Os pontos de ajuste dos termostatos das zonas térmicas e a operação dos sistemas de climatização permitindo a respetiva parametrização, de forma independente, para dias da semana e fins de semana;
- Recuperação de calor do ar de rejeição;
- O efeito da massa térmica do edifício.

3.1.2 *DesignBuilder*[®]

O *DesignBuilder*[®] é um *software* de simulação onde é possível trabalhar com construção de modelos virtuais. Este programa possibilita a introdução de diversas variáveis, como as dimensões do edifício, as características das superfícies, os equipamentos instalados, nomeadamente as cargas elétricas e térmicas, entre outras. De forma a fornecer uma série de dados de desempenho ambiental, tais como: consumo de energia, emissões de carbono, condições de conforto, iluminância, as temperaturas máximas de verão e a potência dos sistemas de Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado (DesignBuilder, 2019).

O *EnergyPlus*[®] necessita de vários dados de entrada para caracterizar o edifício em estudo, desde a sua geometria, aos materiais constituintes, tipo e definição dos sistemas técnicos, horários de funcionamento, entre outros. Sendo também necessário introduzir o ficheiro climático característico da localização do edifício, este contém a informação detalhada do meio ambiente local, como a temperatura, humidade, radiação solar, etc. Contudo, o *EnergyPlus*[®] não tem uma interface de acesso fácil para a introdução destes dados e obtenção dos resultados.

O *DesignBuilder*[®] funciona então como ferramenta, que utiliza como base o *EnergyPlus*[®] para plataforma para os cálculos e simulação do edifício, cujas principais funcionalidades serão referidas no seguinte ponto.

3.1.3 *EnergyPlus*[®]

O *EnergyPlus*[®] é um programa de *opensource*, criado e distribuído pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos partindo dos programas *BLAST*[®] (*Building Loads Analysis and System Thermodynamics*) e *DOE-2*[®].

Este é um *software* de simulação desenvolvido para a modelação de edifícios e dos equipamentos previstos para o seu aquecimento, arrefecimento e ventilação, ou seja, é um programa de análise de consumos de energia e de simulação de cargas térmicas (Cruz, 2014).

O *EnergyPlus*[®] possui algumas características que o colocam à frente de diversos programas de simulações termoenergéticas, tais como (Melo A., 2009):

- a) Solução simultânea e integrada em que a resposta do edifício e os sistemas primário e secundário estão acoplados;
- b) Intervalos de tempo definidos pelo utilizador, com fração de hora, para interação entre as zonas térmicas e o ambiente e, intervalos de tempo variável para interação entre a zona térmica e o sistema AVAC;
- c) Arquivos de entrada, saída e climática que incluem condições ambientais horarias ou sub-horárias (até 15 minutos) e relatórios padrão reajustáveis pelo utilizador;
- d) Técnica de solução baseada no balanço de energia para as cargas térmicas, que permite o cálculo simultâneo dos efeitos de radiação e de convecção na superfície interior e exterior, durante cada intervalo de tempo;
- e) Condução de calor transiente através dos elementos do edifício como paredes, tetos, pisos, etc., usando funções de transferência; modelo de conforto térmico, baseado na atividade, temperatura de bolbo seco interna e na humidade;
- f) Modelo do céu anisotrópico para cálculos mais complexos da radiação difusa sobre superfícies inclinadas;
- g) Cálculo do balanço de calor de janelas que permite o controlo eletrónico de persianas, balanço térmico camada por camada, o que permite a identificação do comprimento.

Capítulo 4

Caso de estudo

Um caso de estudo consiste na análise de um cenário real, com o objetivo de verificar a existência de problemas ou anomalias na organização e analisar a sua possível resolução, apresentando propostas para a resolução dos problemas. Este é composto por uma descrição que introduz o contexto com um nível de detalhe adequado ao tema.

4.1 Descrição do edifício

O edifício em estudo é o Quartel dos Bombeiros Voluntários de Bragança, localizado no centro da cidade Bragança, a uma altitude de 717 metros, relativamente ao nível médio das águas do mar e uma distância à costa superior a 5 km.

Trata-se de um edifício de serviços com cerca de 40 metros de comprimento, orientados no sentido oeste-este e com 70 metros no sentido noroeste-sudeste, sendo que a sua fachada principal está orientada a nordeste, Figura 8.



Figura 8. Fachada principal do edifício

O ano de construção do edifício é entre 1990 e 1991, tendo sido alvo de pequenas remodelações interiores, a nível de camaratas, casas de banho, sala de convívio e bar, sofrendo, nos últimos anos, alterações no sistema de iluminação interior e exterior, colocação de equipamentos de ar condicionado em espaços de grande utilização e colocação de novos vãos envidraçados com melhores características térmicas.

Na figura seguinte podemos ver alguns espaços do edifício. Na primeira linha temos o salão nobre, local que é utilizado para reuniões e palestras, bem como um espaço com itens de coleção doados aos bombeiros; na segunda linha podemos encontrar à esquerda a sala convívio, utilizada pelos operacionais para ver televisão ou estar no computador e, à direita a central de comunicações, sendo aqui onde é recebido e distribuído todo o serviço operacional; na terceira linha temos à esquerda a secretaria, e à direita a sala de formação; na quarta linha à esquerda vemos a camarata feminina e, à direita, o ginásio.



Figura 9. Diferentes tipos de espaços

O edifício apresenta a envolvente exterior de cor clara, desenvolvendo-se por dois pisos com a integração vertical a ser realizada com recurso a escadas. Este tem uma área interior de 2716 m², dos quais 340 m² com sistemas de aquecimento e arrefecimento, no Anexo A é possível verificar a listagem de todos os espaços e respetivas áreas do edifício.

O piso de rés-do-chão é utilizado para o serviço operacional, é onde se encontra a central de telecomunicações, os gabinetes dos elementos de comando, sala de planeamento e apoio tático, camaratas e balneários feminino e masculino, diversas arrecadações de material e o bar, sendo este piso ligado ao piso 1 através de umas escadas.

No piso 1 encontram-se os serviços administrativos, sala de reuniões, gabinetes de direção e apoio, sala de formação, salão nobre, ginásio e salão de multiactividades.

O parque de viaturas é constituído por dois pisos e está ligado ao edifício tendo um acesso pelo rés-do-chão, sendo que esta zona possui várias arrecadações de material, além da oficina.

Através do parque de viaturas ou pelo exterior tem-se acesso a uma zona térmica criada com o objetivo de servir de habitação quando necessário, chamada de casa do quarteleiro. Esta possui dois pisos, sendo que o rés-do-chão é constituído por uma cozinha, instalação sanitária e uma arrecadação e, no piso superior, por três quartos e uma instalação sanitária.

4.2 Zoneamento climático

O zoneamento climático baseia-se na Nomenclatura das Unidades Territoriais para Fins Estatísticos (NUTS) de nível III, cuja composição por municípios tem por base o Decreto-Lei n.º 85/2008 de 14 de abril, entretanto alterado pelo Decreto-Lei n.º 85/2009, de 3 de abril e pela Lei n.º 21/2010 de 23 de agosto, estando detalhado no Despacho n.º 15793-F/2003, (INCM, despacho n.º 15793-F/2003, 2019).

Como o edifício em estudo se situa em Bragança, corresponde no NUTS III – Alto Trás-os-Montes.

Aplicando as equações 6 e 7, e a Tabela 7 e Tabela 8 presentes no Despacho n.º 15793-F/2003, obtém-se o zoneamento climático do edifício.

$$GD = GD_{ref} + a(z - z_{ref}) \quad \text{Eq. 6}$$

Em que GD_{ref} corresponde aos Graus-Dia de referência, na base de 18°C, correspondente à estação convencional de aquecimento, para Alto Trás-os-Montes, 2015°C, a é o declive para ajustes em altitude, 1400 °C/km, z é a altitude do local onde está sito o edifício, 717 m e, z_{ref} é a altitude de referência, 680 m.

Resultando num valor de 2533 °C.

Correspondendo á zona I3, de acordo com a Tabela 7.

Tabela 7. Critérios para a determinação da zona climática de inverno

Critério	$GD \leq 1300$	$1300 < GD \leq 1800$	$GD > 1800$
Zona	I1	I2	I3

$$\theta_{ext,v} = \theta_{ext,v ref} + a(z - z_{ref}) \quad \text{Eq. 7}$$

Em que $\theta_{ext,v ref}$ corresponde à temperatura exterior média de referência, correspondente à estação convencional de arrefecimento, para Alto Trás-os-Montes, 21,5°C, a é o declive para ajustes em altitude, -4 °C/km, z é a altitude do local onde está sito o edifício, 717 m e, z_{ref} é a altitude de referência, 680 m.

Resultando num valor de 20,02 °C.

Correspondendo à zona V2, de acordo com a Tabela 8.

Tabela 8. Critérios para a determinação da zona climática de verão

Critério	$\theta_{ext,v} \leq 20^{\circ}\text{C}$	$20^{\circ}\text{C} < \theta_{ext,v} \leq 22^{\circ}\text{C}$	$\theta_{ext,v} > 22^{\circ}\text{C}$
Zona	V1	V2	V3

4.3 Caracterização dos elementos da envolvente do edifício

A caracterização térmica da envolvente do edifício, nomeadamente dos parâmetros construtivos, coeficiente de transmissão térmica da envolvente, foi realizada de acordo com Despacho n.º 15793-E/2003, (INCM, Despacho n.º 15793-E/2003, 2019), regras de simplificação a utilizar nos edifícios sujeitos a grandes intervenções, bem como existentes e, com recurso ao ITE50, (Carlos A. Pina dos Santos, 2010), para os vãos envidraçados e para a cobertura exterior 2 (a seguir caracterizada), sendo a única onde foi possível verificar a sua constituição.

Na impossibilidade de ter dados sobre os componentes de paredes, coberturas e pavimentos, utilizaram-se os valores por defeito para este tipo de construção.

Envolvente opaca:

- Parede exterior – com uma espessura de 36 cm e, de acordo com o Quadro II.3, do despacho atrás referido, e, sendo uma parede rebocada, posterior a 1960, paredes simples ou duplas, o U é de $0,96 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$.
- Cobertura exterior 1 – cobertura pesada horizontal, com um U de $2,6 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$.
- Cobertura exterior 2 – constituída por placas de fibrocimento, com um coeficiente de condutibilidade térmica de $0,65 \text{ W/m }^\circ\text{C}$, resultando num U de $6,436 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$.
- Pavimento exterior – pavimento pesado, com um U de $3,1 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$.

Para a colocação destes valores foi necessário estimar uma parede que tivesse um U igual aos do Despacho n.º 15793-E/2003; para tal utilizou-se, do interior para o exterior, reboco tradicional com 2 cm de espessura, com uma condutibilidade térmica de $1,3 \text{ W/m }^\circ\text{C}$, tijolo cerâmico furado de 15 cm, com uma resistência térmica $0,39 \text{ m}^2 \text{ }^\circ\text{C/W}$, caixa-de-ar de 3cm, com uma resistência térmica de $0,18 \text{ m}^2 \text{ }^\circ\text{C/W}$, tijolo cerâmico furado de 11 cm, com uma resistência térmica $0,27 \text{ m}^2 \text{ }^\circ\text{C/W}$ reboco tradicional com 2 cm de espessura, com uma condutibilidade térmica de $1,3 \text{ W/m }^\circ\text{C}$. Com estes componentes obteve-se um U de $0,96 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$, tal como era pretendido. A Figura 10 mostra as várias camadas da parede.



Figura 10. Composição da parede exterior

O mesmo ocorreu para os restantes tipos de envolvente.

Relativamente aos vãos envidraçados foram detetados cinco tipos diferentes. Com recurso ao medidor de espessuras do vidro, referido anteriormente, foi possível verificar as espessuras dos vidros e caixas-de-ar, presentes nos diversos vãos envidraçados.

- Envidraçado 1 – caixilharia metálica com corte térmico, com vidro duplo incolor 4 a 8 mm + incolor 4 mm, com 10 mm de caixa-de-ar, sem proteção solar. Possui um valor do coeficiente de transmissão térmica de $3,54 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ }^\circ\text{C})$ e fator solar do vidro de 0,78.
- Envidraçado 2 - caixilharia metálica com corte térmico, com vidro duplo incolor 4 a 8mm + incolor 4mm, com 10mm de caixa-de-ar, com proteção solar exterior composta por persiana de réguas plásticas de cor escura. Possui um valor do coeficiente de transmissão térmica de $2,62 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ }^\circ\text{C})$ e fator solar com proteção de 0,09.
- Envidraçado 3 - caixilharia metálica com corte térmico, com vidro duplo incolor 4 a 8 mm + incolor 4 mm, com 10 mm de caixa-de-ar, com proteção solar interior composta por cortinas opacas de cor clara. Possui um valor do coeficiente de transmissão térmica de $3,14 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ }^\circ\text{C})$ e fator solar com proteção de 0,385.

- Envidraçado 4 - caixilharia metálica sem corte térmico, giratória, com vidro simples incolor 4mm, sem proteção solar. Possui um valor do coeficiente de transmissão térmica de 6,2 W/(m² °C) e fator solar do vidro de 0,88.
- Envidraçado 5 - caixilharia metálica sem corte térmico, 35% fixo e 65% giratória, com vidro simples incolor 4mm, sem proteção solar. Possui um valor do coeficiente de transmissão térmica de 6,13 W/(m² °C) e fator solar do vidro de 0,88.

4.4 Sistemas de iluminação

Foi necessário visitar todos os espaços de forma a contabilizar todas as lâmpadas do edifício, a sua identificação foi facilitada, pois a instituição dispunha de algumas reservas dos exemplares que tem colocados, como podemos ver na Figura 11.



Figura 11. Lâmpadas de reserva semelhantes às instaladas

No Anexo B, encontra-se uma tabela com as potências instaladas em cada espaço. No total foram identificados oito tipos de lâmpadas diferentes.

Iluminação interior:

- Lâmpada 1: tipologia LED T8 1,2m 20W
- Lâmpada 2: tipologia LED T8 1,5m 24W
- Lâmpada 3: tipologia LED 12W

- Lâmpada 4: tipologia LED 15W
- Lâmpada 5: tipologia LED 20W
- Lâmpada 6: tipologia Fluorescente Tubular T8 58W

Iluminação exterior:

- Lâmpada 7: tipologia LED 50W
- Lâmpada 8: tipologia LED 150W

4.5 Sistemas de AVAC

No edifício existem oito sistemas de ar condicionado, para cada uma das unidades foi necessário identificar a marca e o modelo para, posteriormente ser possível retirar os seus dados de eficiência para aquecimento e para arrefecimento, de acordo com a tabela seguinte.

Tabela 9. COP e EER para diferentes modelos de ar condicionado e respetiva zona onde se inserem

Modelo	Zona	COP	EER
Tango PI 18-410-IG	Gabinete	3,8	5,6
Whirlpool SPIW 418L	Camarata masculina	3,8	5,6
Whirlpool SPIW 422/2	Sala de formação	4	6,3
Indesit MONO INV 24I7	Camarata feminina	3,61	3,21
Haier HSU-09HD03 / R2	Central de comunicações	3,63	3,23
Whirlpool SPIW 318L	Sala de convívio	4	6
Whirlpool SPIW 412L	Secretaria	3,8	5,6
Tango PI 24-410-IG	Direção	3,8	5,1

O restante aquecimento dos espaços com mais utilização é feito com recurso a radiadores elétricos, com potências compreendidas entre os 800 e 1500 W.

4.6 Sistemas de AQS

Relativamente às águas quentes sanitárias (AQS) são produzidas com recurso a cilindros de 50, 150 e 200 litros, Tabela 10.

Tabela 10. Cilindros presentes no edifício, potência e zona

Cilindro	Potência [W]	Zona
Vulcano - NaturaAqua, 200 l	2200	Camarata masculina
Marvol, 150 l	2500	Camarata feminina
Otsein - OHTC, 50 l	1500	Cozinha Bar
Relopa – TRO 80/5 TAS, 50 l	1500	Casa do quarteleiro

4.7 Equipamentos

Realizou-se um levantamento dos equipamentos elétricos no edifício, podendo estes ser de escritório, *catering* e inerentes às atividades do quartel de bombeiros. Dentro dos equipamentos de escritório encontram-se o servidor, computadores, fax, impressoras, monitores, projetor, televisões e sistema de vídeo vigilância. No caso dos equipamentos de *catering* estes consistem em frigoríficos, arcas congeladoras, arcas de refrigeração e máquinas de café. Carregadores de rádios e lanternas, bem como o elevador para veículos e um carregador de garrafas de ar comprimido, pertencem ao grupo dos equipamentos inerentes à atividade de bombeiro.

Para alguns equipamentos foi necessário identificar a sua marca e modelo, para conseguir encontrar os manuais com as especificações técnicas de modo a identificar a potência do equipamento, como é o caso do compressor de ar, Pacific 250, Figura 12, com uma pesquisa foi possível chegar ao seu consumo efetivo de 5500 W, anexo C.



Figura 12. Compressor de ar Pacific 250

No anexo D podemos encontrar todos os equipamentos presentes no edifício, por potência e espaço.

De salientar que existem alguns equipamentos cujo o consumo não é constante, mas por ciclos de trabalho que poderão ocorrer durante o dia, mediante a sua utilização, como é o caso de frigoríficos, arcas, balcões e vitrines frigoríficas, arcas congeladoras. Assim, os seus consumos foram calculados transformando o consumo por kWh/ano numa potência média de utilização, em W, considerando que o seu tempo de funcionamento seria contínuo nesta potência.

No caso dos carregadores de equipamentos de comunicação rádio e telemóvel, foi estipulado potência média de 3,5 W por equipamento, resultado obtido após a utilização do equipamento medidor de consumo de eletricidade na tomada. Foram consideradas a existência de 20 rádios, já os consumos de carregamento de telemóveis variam consoante o espaço e a época do ano, pois o número de ocupação dos espaços também é variável.

4.8 Ocupação

Para cada zona foi verificada a ocupação média de pessoas.

Verificou-se que a utilização média de número de pessoas de diversos espaços varia consoante os meses de inverno, sitos entre novembro e abril, e os meses de verão, considerados entre maio e outubro. Também existindo diferenças entre a utilização semanal e no

fim de semana, tornou-se necessário criar essa separação de forma a obter resultados mais próximos da realidade existente, uma vez que as necessidades de aquecimento, arrefecimento e ventilação são diferentes consoante o número de pessoas presentes em cada espaço.

4.9 Horários

Com o objetivo de aproximar a simulação dos consumos reais foi necessário criar horários para o funcionamento dos diversos sistemas, equipamentos e ocupação.

Os horários de funcionamento para os sistemas de iluminação tiveram como objetivo definir o tempo de funcionamento das várias luminárias presentes nas diversas zonas do edifício.

Os sistemas de aquecimento e arrefecimento, os sistemas de ar condicionado, também necessitaram de um horário de funcionamento, dependendo do tipo de equipamento e do espaço onde está inserido.

Os sistemas de aquecimento, como é o caso dos aquecedores elétricos de parede e os radiadores a óleo, foram definidos como equipamentos que têm um horário exclusivo de funcionamento durante o inverno.

Os restantes equipamentos necessitaram, cada um individualmente, de um horário de utilização/funcionamento diferente de acordo com o observado ao longo deste estudo.

Também a ocupação dos espaços necessita de horários, pois um espaço não é ocupado pelo mesmo número de pessoas ao longo de um dia.

4.10 Consumo efetivo

Para uma melhor aproximação aos consumos reais do edifício foi necessário verificar o consumo real do mesmo.

Foi facultado por parte da entidade responsável as faturas dos consumos elétricos, estando estas divididas por dois quadros elétricos com registos diferentes, o quadro do edifício principal e o quadro da casa do quarteleiro.

Foi necessário estimar o consumo mensal uma vez que a faturação é trimestral.

Obtendo-se um consumo anual ponderado de 119444,36 kWh, Tabela 11, com recurso ao gráfico a seguir apresentado, verifica-se a diferença de consumos dos períodos de inverno para os períodos de verão, notando-se que os sistemas de aquecimento e os sistemas de iluminação necessários durante mais horas tornam os consumos durante o inverno muito superiores aos do verão.

Tabela 11. Consumo ponderado mensal e total, referentes ao ano de 2018

Ano	Mês	Contador principal (kWh)	Contador quarteleiro (kWh)	Total (kWh)
2018	Janeiro	15153	494,44	15647,44
2018	Fevereiro	13381,44	378,76	13760,2
2018	Março	13707,9	389,9	14097,8
2018	Abril	7980,98	377,89	8358,87
2018	Maio	7256,64	361,43	7618,07
2018	Junho	6616,12	305,54	6921,66
2018	Julho	5829,5	296,82	6126,32
2018	Agosto	5977,51	336,06	6313,57
2018	Setembro	5959,2	338,59	6297,79
2018	Outubro	8185,18	245,4	8430,58
2018	Novembro	10892,44	202,5	11094,94
2018	Dezembro	14167,73	609,39	14777,12
Total (kWh)				119444,36

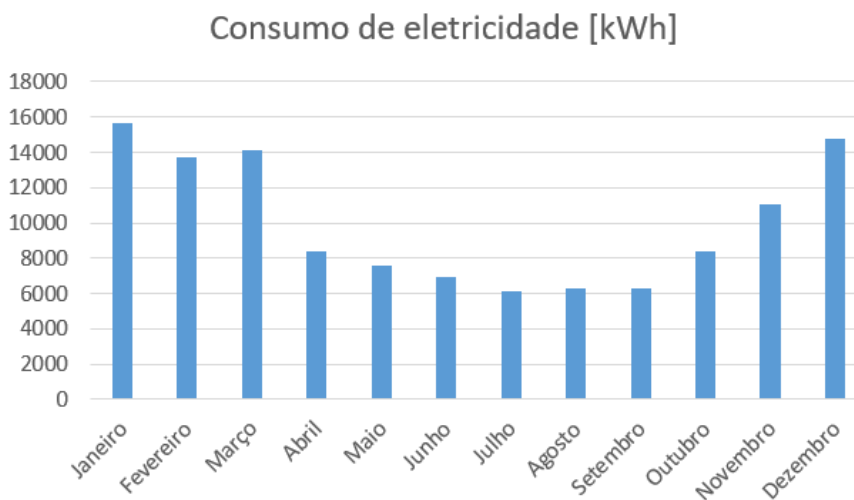


Figura 13. Gráfico ilustrativo dos consumos de eletricidade [kWh] mensais

Capítulo 5

Equipamentos medição utilizados

Inicialmente foi necessário recorrer a um aparelho de medição laser para obtenção das diversas medidas necessárias para atualizar as plantas do edifício e para obter o pé direito dos espaços, bem como para obter as dimensões dos vãos envidraçados.

Também para os vãos envidraçados foi necessário utilizar um aparelho de medição laser para obtenção das espessuras dos vidros e das caixas-de-ar, quando existentes.

Utilizou-se um termofluxímetro para analisar o coeficiente de transmissão térmica das paredes.

Para analisar os consumos de energia elétrica de alguns aparelhos em tempo real, utilizou-se um medidor de redes que faz a medição na tomada e outro que regista os consumos reais.

5.1 Medidor de distâncias laser

O Bosch[®] PLC 50 C foi o medidor de distâncias laser utilizado. Este mede a distância percorrida pela luz intransponível em um determinado momento até um determinado ponto. Ele projeta um pulso de laser que viaja em linha reta até um alvo opaco e sólido, o pulso então volta para o dispositivo, este que faz o registo do tempo que leva para o pulso ir e voltar. É com base nestes cálculos que a ferramenta de medição fornece a distância medida.

O medidor de distância laser exibe na tela digital, Figura 14, a distância medida. Eles também têm capacidade para oferecer funções auxiliares, tais como a adição ou subtração de distâncias medidas, inclinações, cálculo da área ou volume de um espaço. Este medidor em específico tem capacidade para medir até 50 m com uma precisão de medição de 2,0 mm.



Figura 14. Medidor de distâncias laser

5.2 Medidor laser de espessuras dos vãos envidraçados

Este equipamento laser serve para medir a espessura do vidro, e, caso seja vidro duplo, obter as espessuras dos dois vidros e da caixa-de-ar; não tendo necessidade de remover o vidro ou retirar uma amostra, Figura 15.

Este equipamento emite um feixe laser e através da reflexão do mesmo, o utilizador poderá obter a medida da espessura do vidro, a câmara-de-ar entre 2 ou entre 3 vidros como ainda medir a espessura de laminados de vidro.



Figura 15. Medidor laser de espessuras do vidro

Como medir um Vidro Simples:

Colocar o aparelho bem assente na superfície do vidro, carregar no botão vermelho e manter pressionado, observando a escala a mais ou menos 45° . Duas linhas vermelhas brilhantes serão visíveis. Verifique se a primeira linha laser está alinhada com a linha zero da escala, a segunda linha do laser mostra a espessura do vidro.

Como medir um Vidro Duplo:

Colocar o aparelho bem assente na superfície do vidro, carregar no botão vermelho e manter pressionado, observando a escala a mais ou menos 45° . Verifique se a primeira linha está alinhada com a linha zero na escala, a segunda linha mostra a espessura do primeiro vidro; deslizar a escala da linha zero para alinhar com a segunda linha do laser. Medir a caixa-de-ar na escala correspondente, esta situa-se entre a segunda e a terceira linhas laser visíveis no medidor; deslizar a escala da linha zero para a alinhar com a terceira linha, medir a espessura do segundo pano de vidro, correspondente à dimensão entre a terceira e a quarta linha do medidor laser.

5.3 Termofluxímetro

O coeficiente de transferência de calor é obtido através da medição da taxa de fluxo de calor através de um elemento, parede ou uma cobertura, com um medidor de fluxo de calor ou termofluxímetro, em conjunto com as temperaturas de ambos os lados do elemento em estado estacionário (Alves, 2015).

Como não é possível efetuar essa medição em estado estacionário, torna-se necessário recorrer a métodos que permitam ultrapassar essa dificuldade:

- Imposição das condições em estado estacionário com o recurso de uma caixa quente e fria, sendo geralmente utilizado este método em laboratórios;
- Assumir valores médios da taxa de fluxo de calor e temperaturas ao longo de um período suficientemente longo, que permita uma boa estimativa, sendo necessário garantir duas condições:
 - As propriedades térmicas dos materiais e a transferência de calor são constantes ao longo do intervalo de tempo em que ocorre o teste;

- A alteração da quantidade de calor armazenado no elemento de estudo é negligenciável quando comparada com a quantidade de energia que atravessa o elemento. Este método é o mais indicado para trabalhos de campo, porém, estão sujeitos a longos períodos de medição e a ocorrência de alguns erros.
- Utilizar uma teoria dinâmica para ter em consideração, as flutuações do fluxo de calor e temperaturas na análise de resultados.

A norma ISO 9869/94, com a mais recente atualização do ano de 2014 (Standardization, 2019), descreve o método de medição do fluxo de calor para a determinação das propriedades de transmissão térmica de uma construção plana constituída por camadas opacas e perpendiculares ao fluxo de calor. O método permite medir:

- A resistência térmica (R) e a condutividade térmica (κ) a partir da superfície do elemento;
- A resistência térmica total (R_t) e a transmitância ou coeficiente de transmissão térmica (U), a partir de um ambiente para outro, no caso de as temperaturas de ambos os ambientes sejam bem definidas.

O método pela medição do fluxo de calor também se pode aplicar em componentes constituídas por camadas quase homogêneas perpendiculares ao fluxo de calor, desde que as dimensões da falta de homogeneidade sejam inferiores às dimensões laterais e que não sejam pontes térmicas. Para outros, componentes como a transmitância térmica é obtida usando um calorímetro, ou pela obtenção de um valor médio de diversas medições (Standardization, 2019).

Os aparelhos utilizados são geralmente os termofluxímetros e os sensores de temperatura. Os termofluxímetros caracterizam-se por serem um transdutor que fornece um sinal elétrico em função de um fluxo de calor detetado. Usualmente são placas finas, termicamente resistivas com sensores de temperatura dispostos para que o sinal elétrico fornecido seja diretamente relacionado com o fluxo de calor.

As principais propriedades do termofluxímetro são a baixa resistência térmica, com o objetivo de minimizar as perturbações, a sua alta sensibilidade que permite produzir um sinal suficientemente grande, para os casos de fluxos de calor baixos.

No caso dos sensores de temperatura estes são transdutores que emitem um sinal em função linear com a temperatura de ambos os lados do elemento em estudo.

Os sensores de superfície são adequados para a medição dos valores de R e de κ . No geral são termopares finos ou de resistência plana, não sendo possível a sua incorporação no elemento.

Os sensores de temperatura ambiente são os mais indicados para a medição dos valores de U , necessitando de atenção aquando da sua escolha, pois é necessário ter em consideração a gama de temperatura a medir. Estes devem ser protegidos contra fatores atmosféricos como a radiação solar e o vento, e permitir a sua incorporação no elemento (Standardization, 2019).

A localização da área onde se irá efetuar a medição do fluxo de calor deve ser escolhida mediante o objetivo do ensaio e onde os sensores devem montados de tal forma que o resultado obtido seja representativo de todos os elementos construtivos, ou maior parte deles.

Deve-se evitar a instalação dos aparelhos nas proximidades das pontes térmicas, rachaduras ou fontes similares, sendo que os sensores não devem sofrer influência direta de qualquer aquecimento/arrefecimento (Standardization, 2019).

O termofluxímetro com o sensor de temperatura deve ser montado diretamente, sobre a face do elemento para que a temperatura seja mais estável, devendo estar em contacto térmico direto com a superfície do elemento, ao longo de toda a área do sensor (Standardization, 2019).

A duração do teste pode ser muito reduzida se as temperaturas de ambos os lados do elemento forem estáveis antes e durante o ensaio e possuírem um diferencial térmico elevado (Standardization, 2019).

Os dados do termofluxímetro e dos sensores de temperatura devem ser registados continuamente ou em intervalos fixos ao longo de um período de dias completo, em que a duração máxima entre dois registos e a duração mínima do ensaio depende:

- Da natureza do elemento;
- Da temperatura interior e exterior (média e flutuações, antes e durante a medição);
- O método utilizado para análise.

Geralmente o período mínimo de ensaio é de 72 horas, no caso de a temperatura em que está inserido o termofluxímetro seja constante, sendo que a aquisição dos dados deve ser feita de modo contínuo e interrompido, sendo posteriormente guardados para análise por computador. É recomendável que as gravações sejam feitas em intervalos fixos, podendo variar tipicamente entre meia e uma hora (para o método da média) ou inferior no caso do método dinâmico (Standardization, 2019).

A norma ISO 9869/2014 apresenta dois métodos que podem ser utilizados para a análise dos dados recolhidos:

- O método da média;
- O método dinâmico.

O método da média assume que a condutância ou a transmitância pode ser obtida através da divisão da média da taxa de fluxo de calor pela variação de temperaturas interna e externa, durante um período de tempo suficientemente longo. O valor obtido da análise dos dados recolhidos é próximo ao real quando se garantem as seguintes condições:

- A quantidade de calor do elemento é o mesmo no final e início da medição (mesmas temperaturas e humidade);
- O termofluxímetro não está exposto a radiação solar direta;
- A condutância térmica do elemento é constante ao longo do ensaio.

Neste estudo foi utilizado o método da média, sendo que os resultados são apresentados na análise de resultados.

Uma vez que a informação relativa às paredes exteriores não era suficientemente completa, apenas sabendo a época de criação e que nessa altura ainda não se utilizava isolamento, tornou-se interessante efetuar um estudo do fluxo de calor.

Selecionou-se um local que garantisse as condições anteriormente apresentadas, de modo a que o estudo fosse viável para representar de forma correta o comportamento da parede exterior.

O equipamento utilizado foi o termofluxímetro TESTO 435. A escolha recaiu na Camarata Feminina, localizada no rés-do-chão, visto ser uma divisão que durante o período de inverno não tem utilização durante a semana, a parede exterior não ter exposição direta à luz solar e ao ser um espaço sem ocupação não sofre grande flutuação da temperatura interior.

Foi instalado o termofluxímetro para efetuar a medição durante 72h com um intervalo de meia hora em cada medição, nas figuras seguintes podemos ver o termofluxímetro a efetuar medições, devidamente conectado ao termopar e, um sensor de temperatura colocado no exterior.



Figura 16. À esquerda, o termofluxímetro com o termopar conectado. À direita, o sensor de temperatura exterior

5.4 Monitor de energia

Os Monitores de energia são a mais completa solução para monitorização do consumo elétrico.

Com a utilização destes monitores, dependendo do tipo podem ser colocados na tomada ou num quadro elétrico, através deles é possível consultar os dados de consumo em tempo real ou acompanhar o histórico através de dados no seu computador.

É possível, então, saber em concreto quanto e quando consome energia elétrica, facilitando assim uma intervenção direta nos consumos de energia, podendo-se observar em tempo real de gasto por hora em Euros, kW, A e CO₂ gerado. É possível avaliar a poupança de energia ao desligar um ou outro aparelho doméstico.

Para este trabalho utilizaram-se dois tipos de monitores de energia, um ligado a uma tomada, que apenas tem capacidade para registar 10 leituras, sendo estas apenas visíveis no monitor, Figura 17.



Figura 17. Monitor de energia de tomada

O outro monitor de energia, que apesar de simples, é mais completo. Este tem uma pinça amperimétrica que se liga a um dos condutores do circuito que se pretende monitorizar de um quadro elétrico. O valor medido da corrente elétrica é transmitido para um aparelho central, que, com o valor de referência da tensão, mostra em tempo real os consumos, sendo possível, com recurso a uma aplicação, visualizar no computador os consumos de energia a qualquer momento. Nas figuras seguintes podemos ver o aparelho instalado numa fase do quadro elétrico, Figura 18. Por questões de segurança contra contactos directos, optei por ter o devido cuidado para voltar a colocar a tampa de modo a que o quadro continue a estar acessível sem perigo para os utilizadores, Figura 19. Após a montagem foi preciso sincronizar o aparelho via *wifi* com o monitor, Figura 20.



Figura 18. Aparelho a ser instalado numa fase



Figura 19. Instalação final do aparelho de medição



Figura 20. Monitor, onde é possível observar o consumo real da fase em estudo

5.5 Resultados dos equipamentos de medição

Os equipamentos de medição tiveram como objetivo auxiliar a aquisição e processamento de dados, de forma a informação relativa ao edifício fosse a mais precisa possível, uma vez que seria para introduzir no modelo de simulação dinâmica.

O medidor de distâncias foi muito utilizado, pois foi necessário medir todos os espaços do edifício, pois as plantas existentes em *AutoCad*[®] não eram precisas, era um documento que não se encontrava à escala e, além disso, alguns espaços já tinham sofrido algumas alterações.

No anexo E é possível visualizar as plantas finais, após as devidas correções.

Como também não tinha as dimensões dos envidraçados, foi necessário efetuar a medição da largura e altura dos mesmos. Ao mesmo tempo utilizou-se o medidor de espessura dos vidros e da caixa-de-ar, quando existente, e as proteções solares de cada vão.

O termofluxímetro foi utilizado ao longo dos dias 14 a 17 de maio, sendo que as temperaturas exteriores variaram entre os 26,8°C e os 5,1°C, e interior entre os 23,1°C e os 16,4°C.

Foram efetuadas 150 medições, com um intervalo de tempo de amostragem de 30 minutos.

Os cálculos para obtenção do valor de U foram efetuados de acordo com a equação 8.

$$U = \frac{\sum_{j=1}^n (\Delta T * U)}{\sum_{j=1}^n \Delta T} \quad \text{Eq.8}$$

Obtendo o seguinte resultado:

$$U = \frac{435,9}{414,7} = 1,05 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}) \quad \text{Eq.9}$$

Este valor, obtido com os valores registados pelo termofluxímetro, não se afasta muito do valor considerado por defeito para paredes exteriores foi de $U=0,96 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{C})$.

No anexo F encontra-se a tabela resultante dos valores retirados do termofluxímetro.

Os monitores de energia foram utilizados com o objetivo de identificar alguns consumos de determinados equipamentos, bem como verificar o mau funcionamento de alguns.

Dos equipamentos que foram monitorizados encontra-se o cilindro na casa do quarteleiro e os equipamentos do bar/restaurante.

Inicialmente optou-se por colocar o medidor de energia de tomada ao cilindro situado na casa do quarteleiro, pois verificou-se que o mesmo estava a verter alguma água e possuía ferrugem, como podemos verificar na imagem a seguir, o que faz com que o equipamento injete mais água fria no seu circuito e, posteriormente, gaste mais energia para a aquecer.



Figura 21. À esquerda, cilindro com marcas de ferrugem. À direita chão molhado e enferrujado devido a perdas de água pelo cilindro

Com a colocação do medidor de tomada, que apenas grava 10 registos na sua memória, houve necessidade de colocar outro medidor, diretamente na fase do quadro elétrico que liga ao cilindro. Obteve-se registos durante 3 dias, compreendidos entre 13 e 15 de março,

registando-se uma temperatura média do espaço onde se situa o cilindro de 10 graus, medidos também pelo monitor de energia. Considerando que no dia 13 a leitura foi parcial, pois o aparelho foi montado a meio do dia, mas os restantes dias os registos foram completos, no gráfico seguinte, podemos ver que o consumo diário é praticamente o mesmo, obtendo um consumo médio do cilindro de 2,545 kWh.

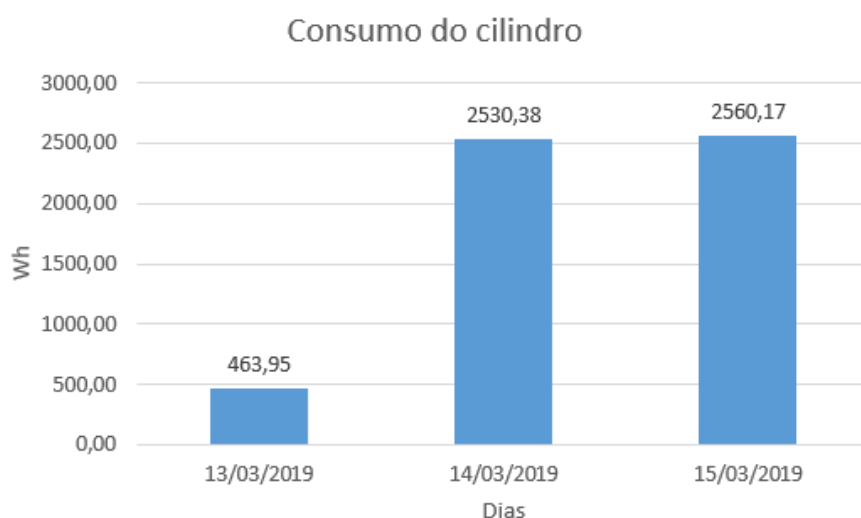


Figura 22. Gráfico ilustrativo dos consumos de energia do cilindro

Numa análise mais detalhada de um dia de consumo, e sendo este um cilindro com pouco uso, podemos verificar que o cilindro ligou 22 vezes, sendo que cada vez que liga está cerca de 4 a 5 min em funcionamento, Figura 23, gastando uma média de 2,556 kW em cada minuto que esteve ligado.



Figura 23. Consumo do cilindro para o dia 14 de março

Como a zona toda referente ao bar/restaurante, desde o espaço de refeições, espaço de atendimento, cozinha, à zona de produtos alimentares, possui muitos equipamentos elétricos. Não sendo possível encontrar todas as características de potência de cada um deles, optou-se por fazer uma medição no quadro parcial pertencente a esta zona.

Foram medidos os consumos desde o dia 4 ao dia 10 de junho, sendo que no gráfico seguinte apenas estão contabilizados os dias nos quais se obteve o consumo ao longo das 24 horas.

Pode-se verificar que ao longo da semana os consumos são equiparados, excetuando a sexta-feira, onde se nota um maior consumo de energia, justificado por uma maior afluência de consumidores no bar/restaurante para a refeição do almoço. Durante o fim de semana os consumos sobem ligeiramente em relação aos consumos entre segunda a quinta, mas também o horário de funcionamento naqueles dias é mais alargado.

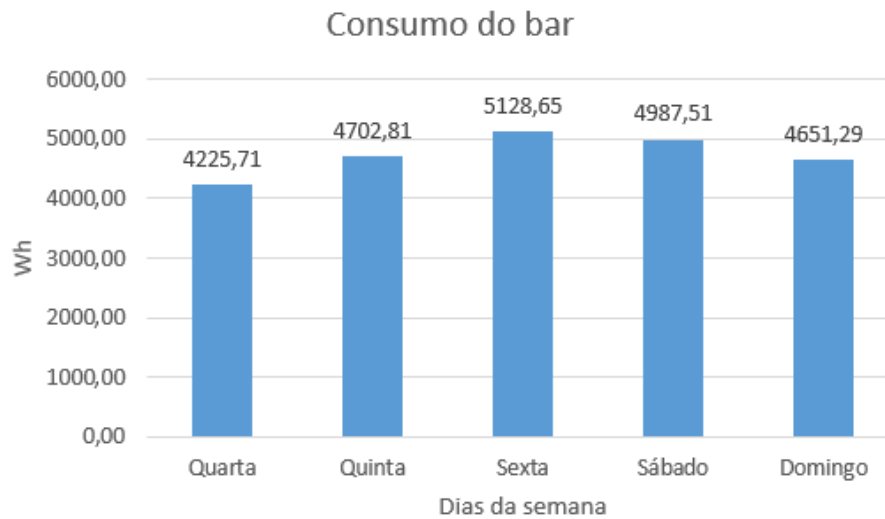


Figura 24. Gráfico de consumos do bar entre o dia 5 e 9 de junho

Estipulou-se a potência média constantes nesta zona, pois sendo uma zona que possui diversos equipamentos como arcas, balcões e vitrines frigoríficas, com ciclos de trabalho variáveis, considerados entre as 00:00 e as 07:00 horas, com um valor médio de 2,42 Wh.

Estes dados foram fundamentais para aproximar a simulação aos consumos reais do edifício.

Capítulo 6

Simulação Dinâmica

6.1 Criação do modelo

Foi necessário para fazer a simulação do edifício, criar um modelo 3D do mesmo na plataforma *DesignBuilder*[®]. Este modelo pretende representar as condições reais de funcionamento, assim como as suas características de construção de forma que a simulação seja o mais fiável possível.

Após tratar devidamente as plantas do edifício, com recurso ao *software AutoCAD*[®], estas foram importadas para o *DesignBuilder*[®], para que fosse possível desenhar os contornos de cada piso, criando blocos, e sobrepô-los de forma a dar forma ao edifício, como se pode ver na Figura 25.

Posteriormente foram criados os vãos envidraçados e portas. As palas da cobertura e os painéis de fibrocimento foram representadas, sob a forma de *component blocks*, pois causam sombreamento ao edifício, estando representados na figura seguinte a rosa.

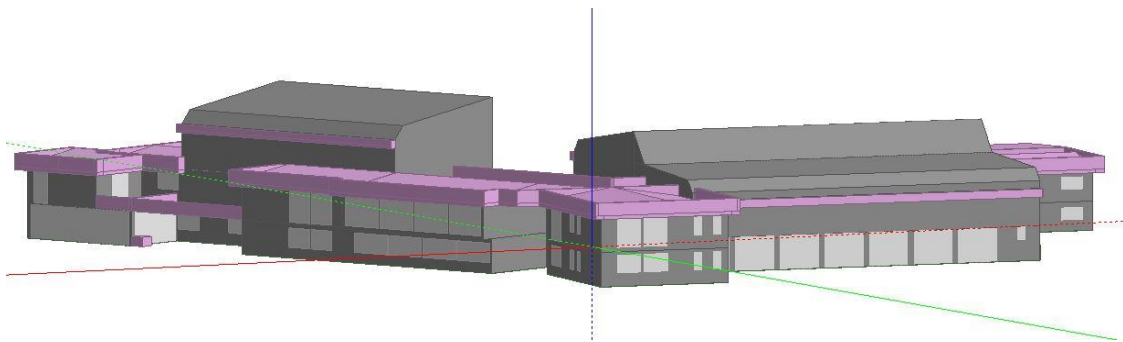


Figura 25. Vista frontal do edifício

No modo *Visualise* é possível ver o edifício já com as cores da envolvente definidas, e com sombreamento e demais detalhes de relevo, Figura 26.



Figura 26. Modelo 3D do edifício em modo Visualise

Com o edifício construído, cada piso foi dividido em zonas, de acordo com a Portaria n.º 349-D/2013, para simulações multizona. Pode ver-se um exemplo deste zoneamento na Figura 27, o zoneamento dos restantes pisos encontra-se no anexo G.

Foi necessário caracterizar cada zona segundo a sua utilização, ocupação, iluminância, e caso possua equipamentos, sistema AVAC e AQS.

Para finalizar o modelo, foram definidas as constituições dos diferentes tipos de pavimento, coberturas, paredes, vãos envidraçados, tipos de lâmpadas, sistemas técnicos de aquecimento e arrefecimento, sistema para as águas quentes sanitárias, de acordo com o levantamento efetuado previamente.

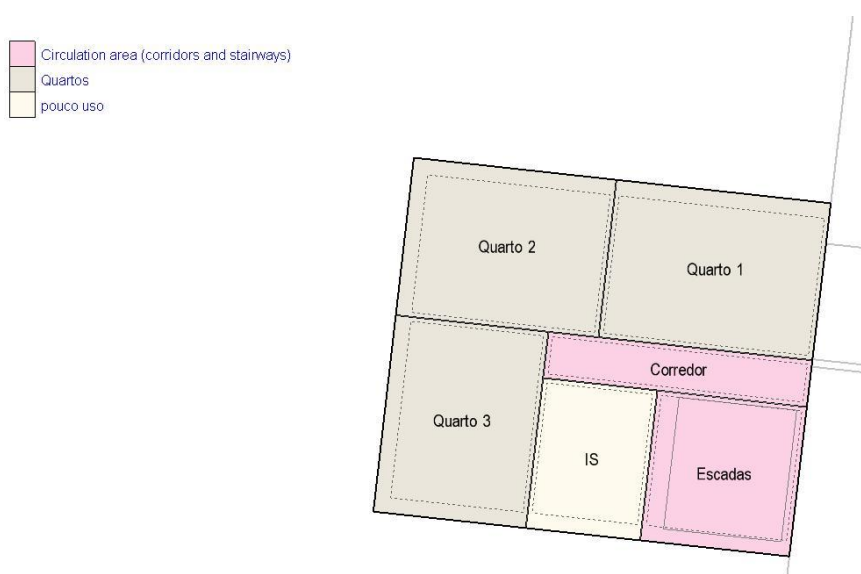


Figura 27. Zoneamento do piso 1 da casa do quarteiro

No modo *Visualise*, após o modelo 3D estar concluído, é possível observar as sombras projetadas a uma determinada hora, dia e mês do ano. Nas figuras seguintes é possível ver para o dia 1 de julho o sombreamento no período da manhã e ao fim da tarde, de modo a visualizar o percurso do Sol ao longo do dia.

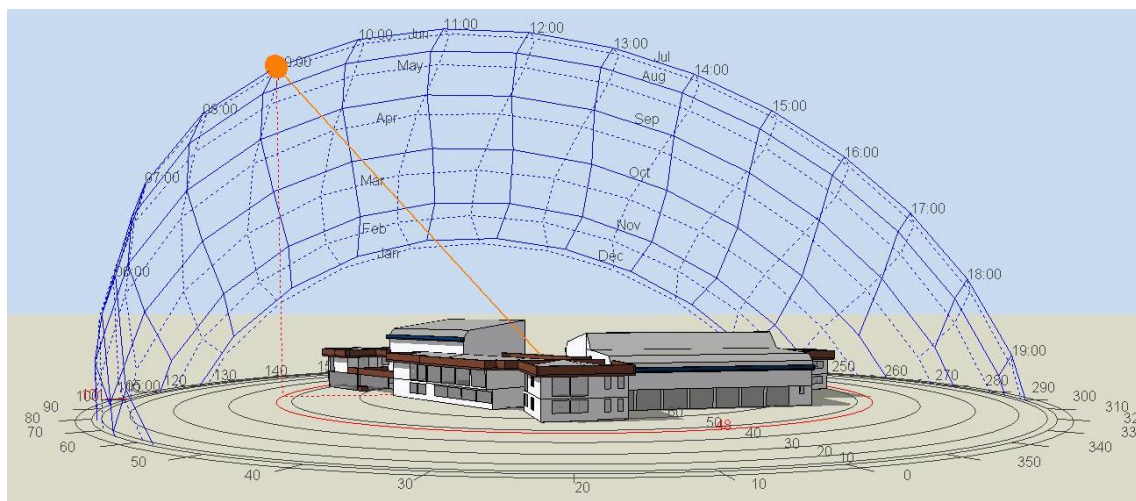


Figura 28. Diagrama solar para as 9 horas do dia 1 de julho

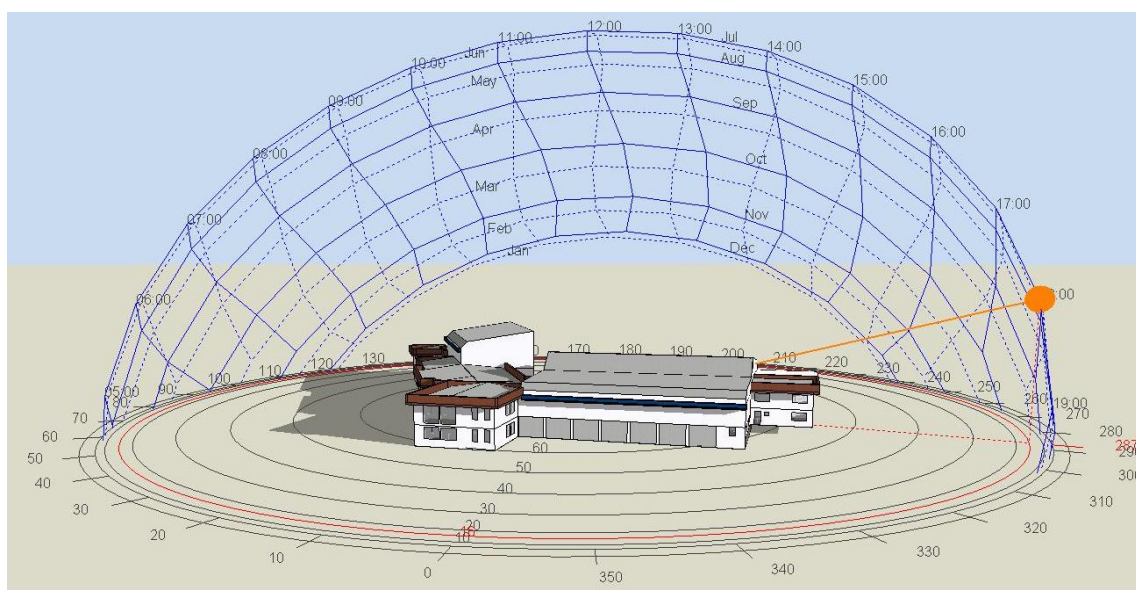


Figura 29. Diagrama solar para as 18 horas do dia 1 de julho

6.2 Calibração do modelo

Por calibração do modelo da simulação entende-se o processo iterativo de ajuste que conduz a que os resultados dos consumos energéticos da simulação sejam próximos dos valores obtidos na auditoria energética. Para este caso, as grandezas avaliadas na calibração do modelo são os consumos globais de energia elétrica. Assim, no processo de validação são comparados os consumos históricos registados pela faturação energética com os consumos previstos pela simulação do modelo produzido, (Abreu, 2014).

Assim no âmbito deste trabalho, e ao abrigo do RECS, considera-se que um modelo está validado se os resultados globais para o ano decorrentes da simulação indicarem consumos de energia num intervalo de $\pm 10\%$ dos consumos registados pela faturação.

Foi necessário efetuar alguns ajustes a vários parâmetros de forma a obter o resultado pretendido, desde os *setpoint* de temperaturas a uma média de gastos de água por dia para cada cilindro.

Obtendo-se como resultados finais, de acordo com a tabela seguinte:

Tabela 12: Consumos reais por tipologia de uso final

	REAL
Iluminação interior	11355,49
Equipamentos	60156,22
Arrefecimento	6548,41
Aquecimento	18342,07
AQS	10958,7
Total kWh	107360,89

No gráfico seguinte, Figura 30, pode-se ter uma melhor perceção dos usos finais da energia, percebendo claramente que os equipamentos que constituem a maior fatia dos gastos energéticos do edifício, seguido pelos sistemas de aquecimento, iluminação, AQS e arrefecimento.

Consumos por tipologia

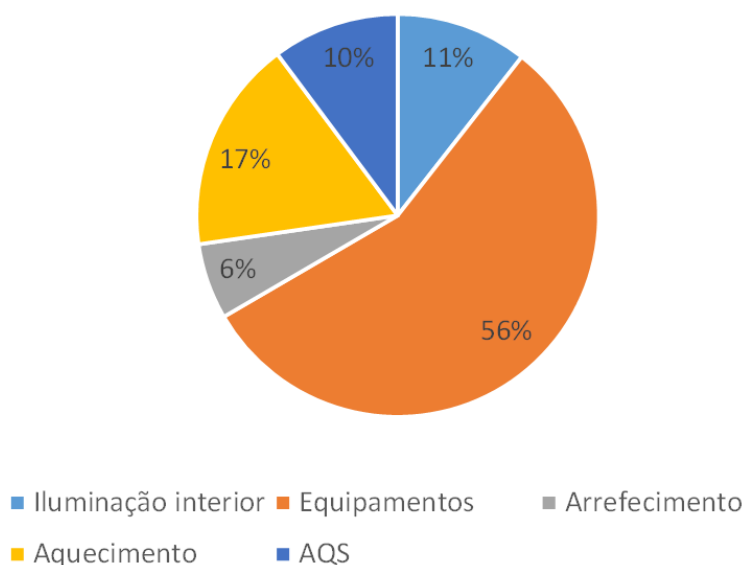


Figura 30. Gráfico ilustrativo dos consumos por tipo de uso final

A iluminação exterior foi estimada fora da simulação, Tabela 13 pois não pertence ao edifício, devendo ter-se em consideração que o projetor de 150W, está ligado diretamente a um relógio e os dois projetores de 50W, pertencem à lavagem de viaturas estão são controlados por sensores.

Tabela 13. Iluminação exterior

Mês	Iluminação exterior (h)	2*50W	Iluminação exterior (h)	150W	Total kWh
Janeiro	2	6200	10	46500	1264,8
Fevereiro	2	5600	10	42000	1142,4
Março	1	3100	9	41850	1078,8
Abril	1	3000	9	40500	1044
Maio	0,5	1550	8	37200	930
Junho	0	0	7	31500	756
Julho	0	0	7	32550	781,2
Agosto	0	0	7	32550	781,2
Setembro	0,5	1500	8	36000	900
Outubro	1	3100	9	41850	1078,8
Novembro	1	3000	9	40500	1044
Dezembro	2	6200	10	46500	1264,8
Total (kWh)					12066

O consumo total estimado com recurso à faturação foi de 119444,36 kWh,

O consumo total simulado é a soma dos valores obtidos da simulação com a iluminação exterior, obtendo um total de 119426,89 kWh, originando um erro de 0,01%.

6.3 Necessidades de aquecimento

A ferramenta *DesignBuilder*[®] permite dimensionar os sistemas de climatização para dar resposta às condições meteorológicas durante o inverno, ou seja, determina as necessidades de aquecimento do edifício em condições meteorológicas extremas.

Ao efetuar esta simulação o software considera que a temperatura externa no período de inverno é constante, a velocidade e direção do vento são estimadas, de salientar que não considera os ganhos solares nem os ganhos internos, isto é o calor emitido pelos sistemas de iluminação, pelos equipamentos e pelo número de ocupantes de um espaço. É considerado a condução de calor e convecção entre zonas a diferentes temperaturas (DesignBuilder, 2019).

A simulação das necessidades de aquecimento permite obter resultados relativos à temperatura e energia. É possível verificar a temperatura interna do ar, a temperatura radiante, a temperatura operativa e a temperatura externa de bolbo seco.

A temperatura radiante é a temperatura de uma superfície uniforme de um ambiente imaginário, no qual a troca de calor por radiação é a mesma de que num ambiente real não uniforme (DesignBuilder, 2019).

A temperatura operativa consiste na temperatura uniforme de um ambiente imaginário na qual um ocupante troca a mesma quantidade de calor por radiação e convecção como no ambiente real não uniforme (DesignBuilder, 2019).

Verifica-se que a temperatura interna do ar é de 8,11 °C, a temperatura radiante é de 6,59 °C, a temperatura operativa é resultante da média da temperatura do ar interno com a temperatura radiante dando um valor de 7,35 °C, a temperatura exterior é -3,8 °C, Figura 31.



Figura 31. Gráfico relativo às necessidades de aquecimento [°C]

A simulação no estado estacionário é feita de modo contínuo até que os fluxos de temperatura em cada zona convergiam, calculando o aquecimento necessário para manter os pontos de ajuste de temperatura em cada zona e demonstra qual a perda de calor total dividido em envidraçados, paredes, divisórias, telhado, infiltração externa e ventilação natural, isto é, o calor perdido por toda a envolvente (DesignBuilder, 2019).

De acordo com a Figura 32, verifica-se que apenas existem ganhos pelo pavimento interior, 13,3 kWh, e pelo pavimento em contacto com a terra, 19,23 kWh. A cobertura é a tem mais perdas de energia, correspondendo a 22,8 kWh.



Figura 32. Gráfico dos ganhos e perdas através da Envolvente [kWh]

As necessidades de aquecimento estão relacionadas com a temperatura exterior, nos gráficos seguintes pode-se verificar que à medida que a temperatura exterior aumenta, o consumo de energia diminui.

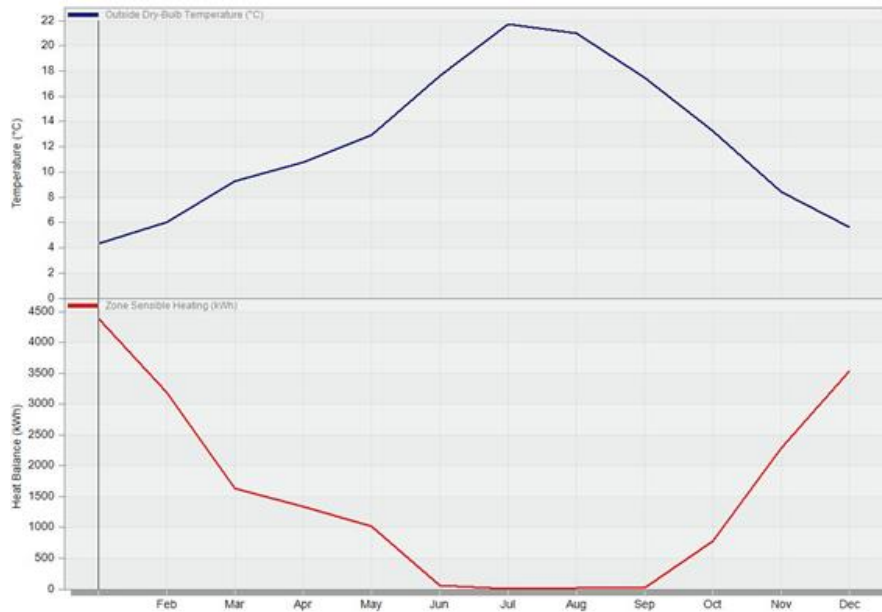


Figura 33. Gráficos comparativos da temperatura exterior e das necessidades de aquecimento

6.4 Necessidades de arrefecimento

Tal como foi determinado as necessidades de aquecimento do edifício, o *DesignBuilder*[®] também permite determinar as necessidades de arrefecimento. A simulação é feita para o dia com as condições mais extremas no período de verão.

As necessidades de arrefecimento são determinadas considerando que não há vento, condução e convecção de calor entre zonas de diferentes temperaturas. Inclui ganhos solares através dos envidraçados, considera os ganhos internos dos ocupantes, dos sistemas de iluminação e dos equipamentos.

6.5 Balanço energético da envolvente

A carga térmica total de um edifício é determinada através de cargas térmicas parciais: paredes exteriores e interiores, envidraçados, cobertura exterior e interior, pavimento exterior, interior e em contato com a terra, radiação solar através dos envidraçados e ganhos internos devido à iluminação, taxa de ocupação e equipamentos.

O balanço de ganhos e perdas através da envolvente pode ser verificada na Figura 34, sendo que apenas o pavimento interior apresenta ganhos de 15718,61 kWh, enquanto que a cobertura apresenta a maior perda de energia, 53818,11 kWh.

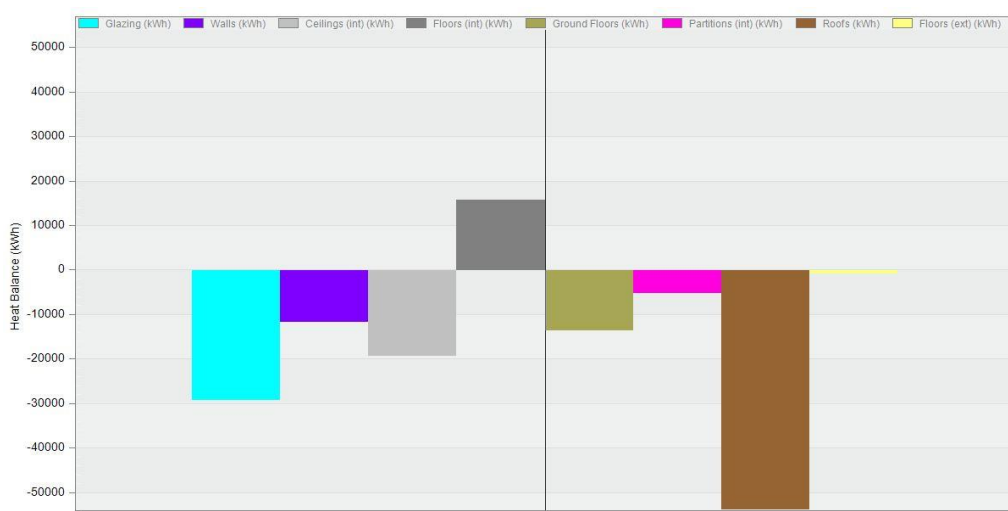


Figura 34. Balanço de ganhos e perdas pela Envolvente

6.6 Ganhos internos

Os ganhos internos, isto é, o ganho de energia devido à iluminação, equipamentos, ocupação e os ganhos solares de todo o edifício estão presentes na Figura 35. Constata-se que os ganhos solares são os mais elevados, 59715,45 kWh, salientando os ganhos com iluminação que são bastantes reduzidos, apesar de o edifício ter um consumo considerável da mesma, isto poder-se-á dever ao facto de a maioria das lâmpadas serem LED.

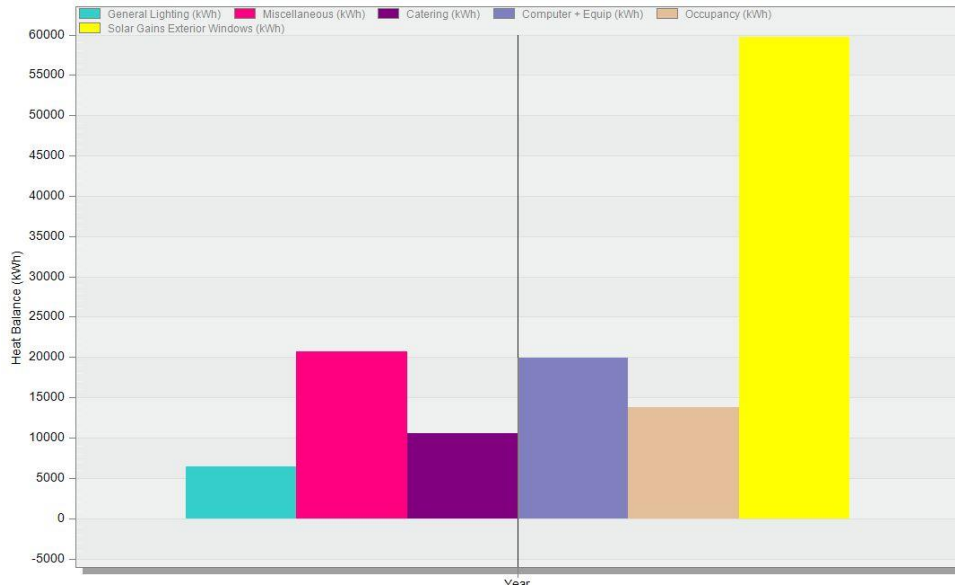


Figura 35. Balanço dos ganhos internos

6.7 Emissões estimadas de dióxido de carbono

Em relação as emissões de dióxido de carbono o *DesignBuilder®* estima-se que anualmente sejam emitido 53 317,3 kg. Analisando o gráfico mensal verifica-se que os meses com menores emissões são os de junho e setembro, devido ao facto de serem meses mais amenos, ou seja, existem poucas necessidades de arrefecimento. Também se nota uma quebra no mês de fevereiro, provavelmente devido ao facto de ser o mês mais pequeno.



Figura 36. Emissão mensal de dióxido de carbono

Capítulo 7

Medidas de melhoria propostas

Após finalizar a análise apresentada anteriormente, foi possível identificar oportunidades de melhoria do desempenho energético do edifício.

Devido à degradação das paredes exteriores e notando fissuras em algumas zonas, como podemos ver na Figura 37, estas causam infiltrações de ar e de água nas paredes. Por isso propõe-se a colocação de um sistema ETICS, *External Thermal Insulation Composite Systems*.



Figura 37. Imagens da degradação das paredes exteriores

Também é proposta a substituição da cobertura, algo que já se mostrou ser necessário, uma vez que as placas de fibrocimento que constituem a cobertura encontraram-se degradadas, Figura 38, o que aumenta o risco de libertação de fibras de amianto para o ar ambiente, sendo conhecido que essas fibras são um agente cancerígeno, constituindo um risco para a saúde pública (Saúde, 2019).

Também existem zonas onde é possível verificar a existência de humidade na placa da laje, como se pode ver na figura em baixo.



Figura 38. Em cima, degradação da cobertura de fibrocimento, em baixo marcas de humidade presente na laje

Verificou-se também um grande consumo nos equipamentos de AQS, sendo por isso proposto um sistema de substituição do mesmo.

7.1 Paredes e pavimento exteriores

Para as paredes e pavimento exteriores, definiram-se três espessuras diferentes de isolamento, com vista a definir qual a melhor solução a aplicar:

- Medida de melhoria 1A: 10 cm de espessura;
- Medida de melhoria 1B: 8 cm de espessura;
- Medida de melhoria 1C: 6 cm de espessura;

Optou-se por juntar a solução de paredes e pavimento visto que a área de pavimento exterior é pequena, cerca de 18,03 m².

Na Tabela 14 apresentam-se os valores da simulação para as 3 medidas de melhoria.

De salientar que a redução não é tão grande como seria de esperar, visto que o edifício apenas tem possui 8 espaços com sistema de ar condicionado, e como referido anteriormente os aquecedores de parede e os radiadores a óleo são contabilizados como equipamentos e não como sistemas de aquecimento.

Tabela 14. Resultados obtidos para as diversas MM1

	MM1A ETICS 10 cm [kWh]	MM1B ETICS 8 cm [kWh]	MM1C ETICS 6 cm [kWh]
Iluminação Interior	11355,49	11355,49	11355,49
Equipamentos	60156,22	60156,22	60156,22
Arrefecimento	6782,09	6770,32	6757,27
Aquecimento	15819,85	16028,87	16309,54
AQS	10417,41	10473,47	10529,77
Total kWh	104531,06	104784,37	105108,29
Redução %	2,64%	2,40%	2,10%
Redução kWh	2829,83	2576,52	2252,60
Preço kWh em €	0,2246	0,2246	0,2246
Redução €/ano	635,58	578,69	505,93

Para os cálculos apresentados, em relação ao preço do kWh, correspondente ao preço médio de kWh no ano de 2018, foi de 0,2246 €/kWh, (Pordata, 2018).

Foram calculados os valores de U da parede e do pavimento exteriores, de modo a verificar se cumprem os requisitos mínimos de acordo com a legislação em vigor para edifícios de serviços. Sendo que o U máximo para pavimentos é de 0,4 W/m² °C e para paredes de 0,5 W/m² °C. Obtendo os seguintes resultados, Tabela 15:

Tabela 15. Coeficientes de transmissão térmica

	MM1A ETICS 10 cm	MM1B ETICS 8 cm	MM1C ETICS 6 cm
U _{pavimento}	0,315	0,382	0,486
U _{parede}	0,262	0,362	0,369
Cumpre os requisitos mínimos	SIM	SIM	NÃO

Considerando que a medida de melhoria (MM) 1C não cumpre os requisitos mínimos, não foi considerada para os cálculos seguintes.

Para calcular uma estimativa de custos devemos ter em consideração as seguintes áreas:

- Área total de parede exterior: 2377,97 m²;
- Área de pavimento exterior: 18,03 m²;
- Área a descontar: 288,94 m².

Note-se que a área a descontar corresponde à área da parede exterior Norte e Sul do parque de viaturas, pois a sua maioria é constituída por portões de garagem.

Para a MM1A, considerou-se:

Preço por m² do sistema ETICS: 40€

Obtendo um custo total: 84282,27 €

Para a MM1B, considerou-se:

Preço por m² do sistema ETICS: 38€

Obtendo um custo total: 80068,15 €

7.2 Cobertura

Para a cobertura optou-se por definir duas situações diferentes, seguindo de acordo com o mais utilizado nestas situações e tendo em consideração de que cumprem os requisitos mínimos nos espaços considerados como zona térmica, com vista a definir qual a melhor solução a aplicar:

- Medida de melhoria 2A: colocação de painel *sandwich* com 6 cm de isolamento, em substituição de todo o amianto, mais XPS de 8 cm na parte superior da laje;
- Medida de melhoria 2B: colocação de painel *sandwich* com 6 cm de isolamento, em substituição do amianto, nas zonas dos parques de viaturas e no salão. Na restante, retira-se o amianto, ficando a laje à vista, levando XPS de 12 cm com camada de regularização e tela de Policloreto de Vinilo (PVC).

Obtendo os seguintes resultados de acordo com a Tabela 16:

Tabela 16. Resultados obtidos para as MM2

	MM2 cobertura A [kWh]	MM2 cobertura B [kWh]
Iluminação Interior	11355,49	11355,49
Equipamentos	60156,22	60156,22
Arrefecimento	8272,41	8807,89
Aquecimento	8679,23	8083,48
AQS	10699,95	10699,95
Total kWh	99163,30	99103,03
Redução %	7,64%	7,69%
Redução kWh	8197,59	8257,86
Preço kWh	0,2246	0,2246
Redução €/ano	1841,18	1854,72

Para calcular uma estimativa de custos devemos ter em consideração as seguintes áreas:

- Área total de laje: 681,22 m²;
- Área do salão: 327,44 m²;
- Área do parque de viaturas: 1063,69 m².

Note-se que a área total de laje possui também cobertura de fibrocimento, enquanto que o salão e o parque de viaturas apenas possui fibrocimento.

Para a MM2A, considerou-se:

Preço por m² do painel *sandwich* com 6 cm: 30€

Preço por m² de XPS com 8 cm, com juntas perimetrais em meia madeira, mais buchas de fixação: 19€

Obtendo um custo total: 80222,83 €

Para a MM2B, considerou-se:

Preço por m² do painel *sandwich* com 6 cm: 30€

Preço por m² de XPS com 12 cm, com juntas perimetrais em meia madeira, mais buchas de fixação: 26€

Preço por m² da camada de regularização com 4 cm: 10€

Preço por m² da tela PVC: 15€

Obtendo um custo total: 76476,12 €

7.3 Cilindros

Foi proposta a substituição dos cilindros por bombas de calor aerotérmicas, em que estas funcionam com ar, o ar é uma fonte de energia renovável, ou seja, é inesgotável e não poluente.

Esta forma de energia baseia-se no princípio de recuperação da energia abundante no ar. A energia é transmitida a uma bomba de calor, a qual utiliza um dispositivo termodinâmico para aquecer a água, de acordo com as suas necessidades.

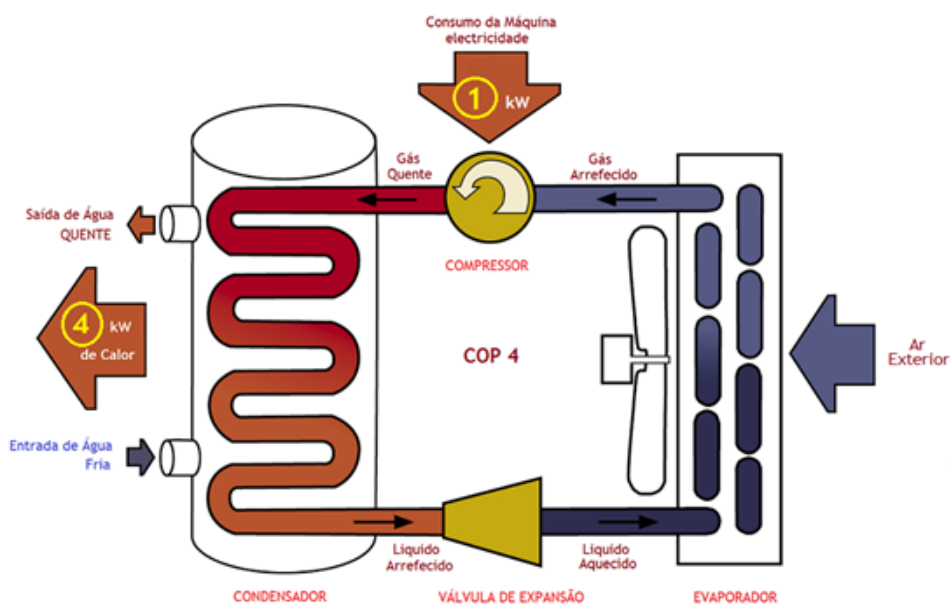


Figura 39. Funcionamento de uma bomba de calor (Terra, 2019)

A bomba de calor consome apenas a eletricidade requerida para operar o compressor e os seus acessórios. O coeficiente de performance, COP, mede a relação entre a energia fornecida e a energia utilizada, por exemplo para uma bomba de calor com um COP de 4 irá consumir 1 kWh de eletricidade e fornecer 4 kWh ao sistema de aquecimento.

Aqui foram propostas 2 medidas de melhoria diferentes:

Inicialmente propôs-se a substituição por, MM3A, Tabela 17:

Tabela 17. Proposta para a MM3A

	Cilindro (l)	Bomba de calor	Bomba de calor (l)
Casa do quarteiro	50	NUOS EVO 80	80
Balneário M	200	NUOS PLUS 200	200
Balneário F	150	NUOS PLUS 200	200
Cozinha Bar	50		

Considerando que a distância entre o balneário feminino e a cozinha do bar é curto, dando um valor de cerca 23 metros de tubagem caso a bomba de calor ficasse colocada na zona do museu.

A segunda medida, MM3B, encontra-se detalhada na Tabela 20:

Tabela 18. Proposta para a MM3B

	Cilindro (l)	Bomba de calor	Bomba de calor (l)
Casa do quarteleiro	50	NUOS EVO 80	80
Balneário M	200	NUOS PLUS 200	200
Balneário F	150	NUOS EVO 150	150
Cozinha Bar	50	NUOS EVO 80	80

As características técnicas destas bombas de calor encontram-se no anexo H.

Para o cálculo destas medidas de melhoria utilizou-se a equação 9.

$$E_{final\ cilindro} * \eta = E_{final\ bomba\ de\ calor} * COP \quad Eq.9$$

Considerando que a energia final do cilindro é obtida através da equação 10.

$$E_{final\ cilindro} = t * P \quad Eq. 10$$

Em que t corresponde ao tempo de funcionamento do cilindro, em segundos, e P à potência do cilindro, em watts.

Para os cálculos foi necessário consultar os horários estipulados para o uso do cilindro, de modo a obter o tempo total de funcionamento de cada um, utilizou-se as potências dos cilindros referidas na Tabela 10, considerando que uma resistência elétrica tem um rendimento de 1, pois não tem perdas. Após os cálculos efetuados obteve-se os resultados de acordo com a Tabela 19, para a MM3A e a Tabela 20 para a MM3B.

Tabela 19. Energia final da bomba de calor para a MM3A

Zona	kWh
Casa do quarteleiro	304,8317
Balneário masculino	531,7869
Balneário feminino + Cozinha bar	2798,947

Tabela 20. Energia da bomba de calor para a MM3B

Zona	kWh
Casa do quarteleiro	304,8317
Balneário masculino	531,7869
Balneário feminino	206,2203
Cozinha Bar	3053,3654

Na Tabela 21 apresentam-se os valores resultantes das simulações para as medidas de melhoria referidas anteriormente.

Tabela 21. Resultados obtidos para as MM3

	MM3A [kWh]	MM3B [kWh]
Iluminação Interior	11355,49	11355,49
Equipamentos	60156,22	60156,22
Arrefecimento	6548,41	6548,89
Aquecimento	18342,7	18342,7
AQS	3635,57	4096,5
Total kWh	100037,76	100498,39
Redução %	6,82%	6,39%
Redução kWh	7323,13	6862,5
Preço do kWh	0,2246	0,2246
Redução €/ano	1644,77	1541,32

Para calcular a estimativa de custos, apenas se utilizou os custos referentes aos modelos em questão, não tendo contabilizado os custos de instalação, Tabela 22.

Considerou-se para a MM3A o custo de 230 euros, referentes à tubagem necessária para ligar o balneário feminino e a cozinha do bar ao mesmo equipamento.

Tabela 22. Preço dos diferentes modelos de bombas de calor utilizados

Modelo	Preço
NUOS EVO 80	999 €
NUOS EVO 150	1200 €
NUOS PLUS 200	1999 €

Obtendo para a MM3A um custo de 5227 €; uma redução de consumo em 7323,13 kWh, o que implica uma redução na fatura de 1644,78 €/ano.

Portanto esta medida estaria paga ao fim de cerca 3 anos e 2 meses.

Para a MM3B um custo de 5197 €; uma redução de consumo em 6862,50 kWh, o que implica uma redução na fatura de 1531,42 €/ano.

Portanto esta medida estaria paga ao fim de cerca 3 anos e 4 meses.

7.4 Junção das medidas de melhoria de ETICS e cobertura

Foi testada a união das diversas medidas de melhoria do sistema ETICS com as medidas de melhoria para a cobertura.

O isolamento térmico deve ser feito em toda a envolvente de modo a evitar as trocas térmicas excessivas entre o interior e o exterior do edifício. Ou seja, evita que se verifiquem perdas de calor nas estações mais frias, mantendo o interior mais quente, ou, por outro lado, exista um sobreaquecimento dos espaços nas estações mais quentes, ajudando a manter o interior mais fresco.

Na Tabela 23 apresentam-se os resultados obtidos para as 4 simulações diferentes.

Tabela 23. Resultados das simulações da junção das MMs

	MM1A + MM2A	MM1A + MM2B	MM1B + MM2A	MM1B + MM2B
Iluminação interior	11355,49	11355,49	11355,49	11355,49
Equipamentos	60156,22	60156,22	60156,22	60156,22
Arrefecimento	8228,19	8841,14	8172,91	8784,17
Aquecimento	6366,79	5764,99	6595,51	5984,17
AQS	10417,41	10417,41	10473,47	10473,47
Total kWh	96524,10	96535,25	96753,60	96753,52
Redução %	10,09%	10,08%	9,88%	9,88%
Redução kWh	10836,79	10825,64	10607,29	10607,37
Preço kWh	0,2246	0,2246	0,2246	0,2246
Redução €/ano	2433,94	2431,44	2382,40	2382,42

Para calcular os custos da junção destas medidas, foram-se buscar os valores atrás calculados obtendo os resultados de acordo com a tabela seguinte, onde se pode verificar os custos totais, as possíveis poupanças anuais e o retorno do investimento.

Tabela 24. Custos, possíveis poupanças e retorno de investimento da junção das MMs

	MM1A + MM2A	MM1A + MM2B	MM1B + MM2A	MM1B + MM2B
Custo total das MM (€)	164505,10	160758,39	160290,98	156544,27
Possíveis poupanças ao ano (kWh)	2433,94	2431,44	2382,40	2382,42
Pago ao fim de (anos):	67,59	66,12	67,28	65,71

A conjugação destas soluções é inviável do ponto de vista do tempo de retorno do investimento, pois o período de tempo é muito longo. O grande benefício da aplicação destas medidas de melhoria é o aumento da temperatura de conforto interior do edifício para 19,3°C, originando melhor qualidade das condições de trabalho para os ocupantes. O que consequente aumenta o bem estar dos trabalhadores o que proporciona maior motivação e uma melhor prestação de serviços.

Capítulo 8

Conclusão e Trabalhos Futuros

O objetivo principal desta dissertação foi atingido, tendo-se efetuado uma análise energética detalhada do edifício, tendo por base a simulação dinâmica multizona de modelo computacional, devidamente calibrado, representativo do edifício no *software DesignBuilder*[®].

A criação do modelo foi concretizada tendo por base toda a informação recolhida no edifício, tendo sido através de medições efetuadas no local, à pesquisa de informação dos diversos sistemas AVAC e de AQS.

A calibração e certificação dos resultados foi obtida pela comparação dos resultados da simulação e dos consumos energéticos reais. A simulação computacional foi validada com uma variação de 0,01% em relação aos consumos reais anuais.

O edifício tem um elevado consumo energético, sendo que os equipamentos são responsáveis por 56% do consumo total de energia, os sistemas de aquecimento e arrefecimento gastam 26% da energia consumida, considerando que apenas 8 espaços do edifício têm sistemas AVAC.

Verificou-se na simulação do modelo real que a cobertura é responsável por grandes ganhos de energia durante o verão e, perdas de calor durante o inverno, tendo sido identificado aqui um ponto a ser abordado como medida de melhoria da eficiência energética.

Nas simulações das coberturas verificou-se um aumento da temperatura interior de conforto em cerca de 3,5°C, verificada sobretudo no piso 1, e constatou-se também uma redução da temperatura interna no período de verão.

A simulação real também permite aferir que a temperatura interna do edifício durante o período de inverno é bastante baixa, pois a maioria dos espaços não têm qualquer tipo de sistemas de aquecimento, sendo também aqui importante reduzir as perdas existentes para

o exterior. Neste sentido optou-se por propor a colocação de um sistema de isolamento nas paredes exteriores.

As simulações que incorporam as soluções com isolamento das paredes pelo exterior (ETICS), mostram uma redução dos consumos de energia relativamente baixo. Estes valores resultam do facto de os espaços aquecidos serem poucos, a perda de energia pelas paredes nesses espaços também é baixa. No entanto, verificou-se um aumento da temperatura interna do edifício em cerca de 2°C, proporcionando maior conforto aos ocupantes.

Na união das medidas de melhoria correspondentes ao isolamento térmico, verificou-se que os resultados são bastante semelhantes, sendo que a simulação com a colocação de sistema ETICS de 8 cm de espessura mais a colocação de painel *sandwich* com 6 cm de isolamento, em substituição de toda a cobertura de amianto, mais XPS de 8 cm na parte superior da laje, designada como MM1B + MM2A é a que obtém maior redução de consumos. Esta simulação corresponde a uma redução de 9,97% nos consumos de energia, e o resultado das emissões de dióxido de carbono de 51 597,2 kg, o que revela uma redução interessante de emissões.

A solução que melhor resultado apresenta ao nível retorno de investimento é a combinação MM1B+MM2B, que consiste na aplicação de sistema ETICS de 8 cm de espessura mais a colocação de painel *sandwich* com 6 cm de isolamento, em substituição do amianto, nas zonas dos parques de viaturas e no salão. Na restante, retira-se o amianto, ficando a laje à vista, levando XPS de 12 cm com camada de regularização e tela de PVC. Esta simulação origina uma redução nos consumos de energia em 9,92% e uma produção de 51 585,82 kg de emissões de dióxido de carbono, o que evidencia também uma redução destes valores.

Para as soluções de AQS com bombas de calor a melhor opção seria a que consiste na substituição de dois cilindros elétricos por uma bomba de calor, pois a redução nos consumos é muito superior, assim como o tempo de retorno do investimento.

8.1 Trabalhos futuros

Para trabalhos futuros seria importante fazer um estudo mais aprofundado da relação custo/benefício, em termos de análise de investimento, de todas as medidas de melhoria propostas, assim como acrescentar outras simulações com valores superiores de espessuras de isolamento, e analisar a viabilidade de utilização de outras soluções de aquecimento, nomeadamente sistemas solares térmicos.

Referências bibliográficas

- Abreu, C. R. (2014). *Dissertação do Mestrado Integrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores - Certificação Energética de um Edifício de Serviços ao abrigo do novo regulamento - Caso prático de um hipermercado*. Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- Alves, T. M. (2015). *Dissertação do Mestrado de Energias Renováveis e Eficiência Energética - Análise e Certificação Energética de um Edifício de Comércio e Serviços*. Bragança: Instituto Politécnico de Bragança.
- ASHRAE 140. (12 de Setembro de 2019). *ASHRAE*. Obtido de ASHRAE: https://www.ashrae.org/File%20Library/Technical%20Resources/Standards%20and%20Guidelines/Standards%20Addenda/140_2014_a_20170516.pdf
- Bougdah, H. &. (2010). *Environment, Techonology and Sustainability*. Abingdon: Taylor & Francis.
- Carlos A. Pina dos Santos, L. M. (2010). *ITE 50 - Coeficientes de Transmissão Térmica de Elementos da Envolvente dos Edifícios*. Lisboa: LNEC.
- Comissão Europeia. (2 de Setembro de 2019). *Diretiva 2009/125/CE*. Obtido de Eur-Lex: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/HTML/?uri=CELEX:32012R1194&from=PT>
- Comissão Europeia. (13 de Setembro de 2019). *Diretiva n.º 2002/91/CE*. Obtido de EuroLex: <https://publications.europa.eu/pt/publication-detail/-/publication/b1db9cf4-1906-4f7f-bcdd-3355f36d1c8b/language-pt>
- Cota, S. M. (2014). *Dissertação do Mestrado de Energias Renováveis e Eficiência Energética - Análise Energética de um Edifício Público*. Bragança: Instituto Politécnico de Bragança.
- Cruz, O. F. (2014). *Dissertação de Mestrado em Energias Sustentáveis - Avaliação do desempenho energético de uma pequena fracção de serviços existente tendo por*

base as metodologias regulamentares do RSECE e do RECS. Porto: Instituto Superior de Engenharia do Porto.

Dallabrida, E. C. (2015). *Análise Comparativa Da Eficiência Energética Em Lâmpadas.* *Anais do Salão do Conhecimento.* Unijuí: Universidade Regional Unijuí.

DesignBuilder, S. (15 de Setembro de 2019). *DesignBuilder Software.* Obtido de DesignBuilder Software: <https://designbuilder.co.uk/helpv5.5/>

EDP. (18 de Setembro de 2019). *Energy Outlook 2017.* Obtido de EDP: https://www.edp.com/sites/default/files/portal.com/documents/energyoutlook2017_fevereiro2018.pdf

ERSE. (24 de Setembro de 2019). *Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos.* Obtido de Guia de eficiência energética: http://www.erse.pt/pt/planodepromocaodaeficiencianoconsumoppec/poupar/Documents/MBP_Ensino_IBD_PPEC2013_2014.pdf

Europeia, C. (12 de Setembro de 2019). *Diretiva 2010/31/UE.* Obtido de EuroLex: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/HTML/?uri=CELEX:32010L0031&from=PT>

FOCO, V. (10 de Setembro de 2019). *Vidraria FOCO.* Obtido de Vidraria FOCO: <http://www.vidraria-foco.pt/argon.html>

Givoni, B. (1994). *Passive and Low Energy Cooling of Buildings.* Nova Iorque: Wiley.

Heywood, H. (2017). *101 Regras Básicas Para Uma Arquitetura De Baixo Consumo Energético.* Espanha: Editorial Gustavo Gili.

IEA, I. E. (24 de junho de 2019). *Energy Technologies perspective,2010 - Scenarios and Strategies to 2050.* Obtido de [iea.org:](https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/etp2010.pdf) <https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/etp2010.pdf>

INCM, I. N. (12 de Setembro de 2012). *Decreto-Lei n.º 80/2006.* Obtido de Diário da República Eletrónico: <https://dre.pt/pesquisa/-/search/672456/details/maximized?jp=true>

- INCM, I. N. (12 de Setembro de 2019). *Decreto-Lei n.º 118/2013*. Obtido de Diário da República Eletrónico: <https://dre.pt/pesquisa/-/search/499237/details/maximized>
- INCM, I. N. (12 de Setembro de 2019). *Decreto-Lei n.º 78/2006*. Obtido de Diário da República Eletrónico: <https://dre.pt/web/guest/pesquisa/-/search/672458/details/normal?q=Decreto-Lei+n.%C2%BA78%2F2006>
- INCM, I. N. (12 de Setembro de 2019). *Decreto-Lei n.º 79/2006*. Obtido de Diário da República Eletrónico: <https://dre.pt/pesquisa/-/search/672459/details/maximized>
- INCM, I. N. (14 de Setembro de 2019). *Despacho n.º 15793-E/2003*. Obtido de Diário da República Eletrónico: <https://dre.pt/application/conteudo/2975218>
- INCM, I. N. (12 de Setembro de 2019). *Despacho n.º 15793-J/2013*. Obtido de Diário da República Eletrónico: <https://dre.pt/web/guest/pesquisa/-/search/2975223/details/normal?q=Despacho+%28extrato%29%20n.%C2%BA%2015793-j%2F2013>
- INCM, I. N. (14 de Setembro de 2019). *espacho n.º 15793-F/2003*. Obtido de Diário da República Eletrónico: <https://dre.pt/application/conteudo/2975219>
- INCM, I. N. (12 de Setembro de 2019). *Portaria n.º 349-D/2013, Diário da República*. Obtido de Diário da República Eletrónico: <https://dre.pt/web/guest/pesquisa/-/search/263693/details/normal?l=1>
- Isolani, P. (2008). *Eficiência Energética nos Edifícios Residenciais*. Lisboa: Comissão Europeia. Obtido de Comissão Europeia.
- Kolokotsa, D. R. (2011). A roadmap towards intelligent net zero- and positive-energy buildings. *Solar Energy*, Volume 85, Issue 12, Pages 3067-3084.
- Lopes, A., & Cova, S. (Junho de 2015). Simulação Dinâmica de um Edifício de Comércio e Serviços - Brigantia Ecopark. *Projeto em Engenharia de Energias Renováveis*. Bragança, Bragança, Portugal: Instituto Politécnico de Bragança.
- Melo A., W. F. (2009). *Apostilha do curso básico do programa ENERGYPLUS*. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina.

- OSRAM. (2 de Setembro de 2019). *LedAdvance*. Obtido de LedAdvance: <https://www.ledvance.pt/noticias-and-conhecimento/noticias/evolucao-da-lampada-de-poupanca-de-energia-na-osram/index.jsp>
- Pelsmakers, S. (2012). *The Environmental Design Pocketbook*. Londres: RIBA publishing.
- Pordata. (18 de October de 2018). *Pordata*. (Pordata) Obtido em 1 de September de 2019, de [https://www.pordata.pt/Europa/Pre%C3%A7os+da+electricidade+para+utilizadores+dom%C3%A9sticos+e+industriais+\(Euro+ECU\)-1477](https://www.pordata.pt/Europa/Pre%C3%A7os+da+electricidade+para+utilizadores+dom%C3%A9sticos+e+industriais+(Euro+ECU)-1477)
- Saúde, D. G. (25 de Outubro de 2019). *Direção Geral de Saúde*. Obtido de Direção Geral de Saúde: <https://www.dgs.pt/saude-publica1/amianto.aspx>
- Silver, P. &. (2008). *Introduction to Architectural Technology*. Londres: Laurence King.
- Standardization, I. O. (16 de Setembro de 2019). *ISO 9869:2014*. Obtido de International Organization for Standardization: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:9869:-1:ed-1:v1:en>
- Terra, E. d. (28 de Outubro de 2019). *Energias da Terra*. Obtido de Energias da Terra: <http://energiasdaterra.com/bomba-calor-aquecimento-central/>
- Vaz, A. J. (2013). *Manual para a conservação e reabilitação da diversidade bioconstrutiva*. Bragança: Câmara Municipal de Bragança.
- Yannas, S. (1994). *Solar Energy and Housing Design*. Londres: Architectural Association Publications.

Anexos

Anexo A – Área por espaço

Espaço – Rés do Chão	Área (m²)
Gabinete comandante	19,15
IS Gabinete comandante	5,06
Planeamento	20,84
IS Planeamento	4,57
Gabinete comando	21,47
Circulação comando	11,09
Sala de convívio	24,4
IS Sala de convívio	3,43
Circulação	10,4
Parque de viaturas	453,14
Escadas	10,52
Arrecadações material	47,1
Central	21,23
Hall de entrada	47,92
Balneário masculino	75,22
Camarata masculina	55,01
Corredor	117,82
Fardamento	18,85
Bar	80,72
IS Bar	7,11
Cozinha	8,29
Circulação bar	7,86
Escritório	5,49
Produtos alimentares	4,71
Vestiários	5,06
Arrecadação	10,51
Balneário feminino	36,69
Camarata feminina	36,83
Museu	62,5
Arrecadação mergulho	16,17
Arrecadação limpeza	18,05

Espaço – Casa do quarteleiro rés do chão	Área (m²)
Cozinha	28,88
IS	4,18
Material INEM	4,68
Circulação	8,76
Escadas	7,27

Espaço – Piso 1	Área (m²)
Arquivo	6,86
Circulação	16,28
Secretaria	28,44
IS F (secretaria)	9,12
IS M (secretaria)	10,19
Gabinete direção	30,61
Dispensa	4,84
Gabinete	19,15
IS gabinete	4,76
Corredor	59,89
Sala de estar	40,57
Salão nobre	123,2
IS masculina	8,27
IS feminina	8,22
Sala de formação	43,84
Arrumo fanfarra	9,97
Zona de estar	11,24
Salão	291,91
Ginásio	43,03
Salão de jogos	51,21
Arrumo salão	40,78
Arrumo	25,19
Arrecadações	18,54
Parque de viaturas	417,02
Oficina	25,89

Espaço – Casa do quarteiro piso 1	Área (m²)
Quarto 1	12,82
Quarto 2	11,43
Quarto 3	10,64
IS	6,24
Circulação	4,51

	Área (m²)
Piso rés do chão	1320,98
Piso 1	1394,66
Total	2715,64

Anexo B – Potência luminosa instalada por espaço

Espaço – Rés do Chão	Potência instalada (W)
Gabinete comandante	160
IS Gabinete comandante	15
Planeamento	160
IS Planeamento	15
Gabinete comando	160
Circulação comando	48
Sala de convívio	160
IS Sala de convívio	15
Circulação	360
Parque de viaturas	1392
Escadas	55
Arrecadações material	320
Central	80
Hall de entrada	80
Balneário masculino	188
Camarata masculina	120
Corredor	144
Fardamento	30
Bar	160
IS Bar	60
Cozinha	92
Circulação bar	30
Escritório	30
Produtos alimentares	40
Vestiários	15
Arrecadação	30
Balneário feminino	80
Camarata feminina	160
Museu	30
Arrecadação mergulho	30
Arrecadação limpeza	30

Espaço – Casa do quarteleiro rés do chão	Potência instalada (W)
Cozinha	232
IS	12
Material INEM	12
Circulação	12
Escadas	12

Espaço – Piso 1	Potência instalada (W)
Arquivo	12
Circulação	48
Secretaria	160
IS F (secretaria)	30
IS M (secretaria)	30
Gabinete direção	160
Dispensa	12
Gabinete	120
IS gabinete	30
Corredor	20
Sala de estar	120
Salão nobre	222
IS masculina	45
IS feminina	45
Sala de formação	240
Arrumo fanfarra	15
Zona de estar	15
Salão	1740
Ginásio	60
Salão de jogos	232
Arrumo salão	116
Arrumo	116
Arrecadações	24
Parque de viaturas	1276
Oficina	116

Espaço – Casa do quarteleiro piso 1	Potência instalada (kWh)
Quarto 1	12
Quarto 2	12
Quarto 3	12
IS	12
Circulação	12

Anexo C – Ficha técnica do compressor de ar Pacific 250



Model Compressor	Modello Compressore	Name – Nome	PACIFIC M3 140		PACIFIC M3 210		PACIFIC M3 250		PACIFIC M3 320		
Working Pressure	Pressione di esercizio	PN	200	300	200	300	200	300	200	300	
Charging rate*	Aria Resa*	L/min. – m ³ /h – cfm	140 – 8,4 – 4,9		210 – 12,6 – 7,4		250 – 15 – 8,8		320 – 19,2 – 11,3		
Safety Valve Pressure	Pressione di esercizio	Bar – Psi	225-3200	330-4700	225-3200	330-4700	225-3200	330-4700	225-3200	330-4700	
Compressor block	Gruppo pompante	Name – Nome	PACIFIC 140		PACIFIC 210		PACIFIC 250		PACIFIC 320		
Number of stages	Numero di stadi	N°	3		3		3		4		
Number of connecting rods	Numero di bielle	N°	3		3		3		3		
Pressure 1st Stage	Pressione 1° stadio	Bar / Psi	5 – 72		7,5 – 110		7,5 – 110		3 – 43		
Pressure 2nd Stage	Pressione 2° stadio	Bar / Psi	55 – 800		65 – 940		65 – 940		16 – 230		
Pressure 3rd Stage	Pressione 3° stadio	Bar / Psi	225-3200	330-4700	225-3200	330-4700	225-3200	330-4700	80 – 1160		
Pressure 4th Stage	Pressione 4° stadio	Bar / Psi								225-3200	330-4700
Compressor Block Oil capacity	Capacità coppa dell'olio	Liter – gal[US]	3,5 – 0,924		3,5 – 0,924		3,5 – 0,924		3,5 – 0,924		
Speed Compressor	Giri Compressore	r.p.m.	1350		1350		1550		1550		
Oil Type	Tipo di Olio	Name – Nome	NARDI SYNTHETIC 150								
Environment working temperature	Temperatura ambiente di lavoro	°C / °F	From +5°C to +45°C / From +41°F to +113°F								
Max inclination of compressor	Max inclinazione del compressore	Grade – Gradi	5°		5°		5°		5°		
Max operating height	Max altezza dal livello del mare	Meter / Feet	2000 / 6500		2000 / 6500		2000 / 6500		2000 / 6500		
Power pump weight	Peso gruppo pompante	Kg. / lb	47 / 103		47 / 130		47 / 130		51 / 112		
Dry and oil intermediate separator	Separatori acqua olio	N°	2		2		2		3		
Filtration	Sistema Filtrante	Name – Nome	PAC 1 **		PAC 1 **		PAC 1 **		PAC 2 **		
Interstage coolers and after coolers	Tubi di raffreddamento	Material – Materiale	Acciaio Inox – Stainless Steel								
Breathing air	Aria respirabile	Directives – Direttive	UNI EN 12021:2000 – ANSI/CGA E – 2180								
Filling time single cylinder 10 L. 0-200 Bar	Tempo ricarica bombola 10 L. 0-200 Bar	Min.	14': 12"		09': 30"		08': 00"		06': 12"		
Electric Motor	Motore elettrico	Phase – Fasi	Mono		Three		Three		Three		
Operating Voltage	Tipo di Voltaggio	Volt / Hz	230		230 ⇒ 690		230 ⇒ 690		230 ⇒ 690		
Power	Potenza Motore	Kw	3		4		5,5		7,5		
Noise level	Pressione Sonora	dB	63		66						
Type of enclosure	Protezione	IP	54		54		54		54		
Current Rating	Assorbimento	Ampere	15,6 (230)		15,1(230)-8,7(400)		19(230)-11(400)		25,8(230)-15(400)		
Weight	Peso	Kg. / lb [US]	253 / 558		257 / 566		267 / 588		281 / 619		

* With oil pump (without oil pump Max 5°) – * Con pompa dell'olio (Senza pompa olio Max 5°)

** Standard filtration system - ** Sistema filtrante standard

MADE IN ITALY by NARDI COMPRESSORI

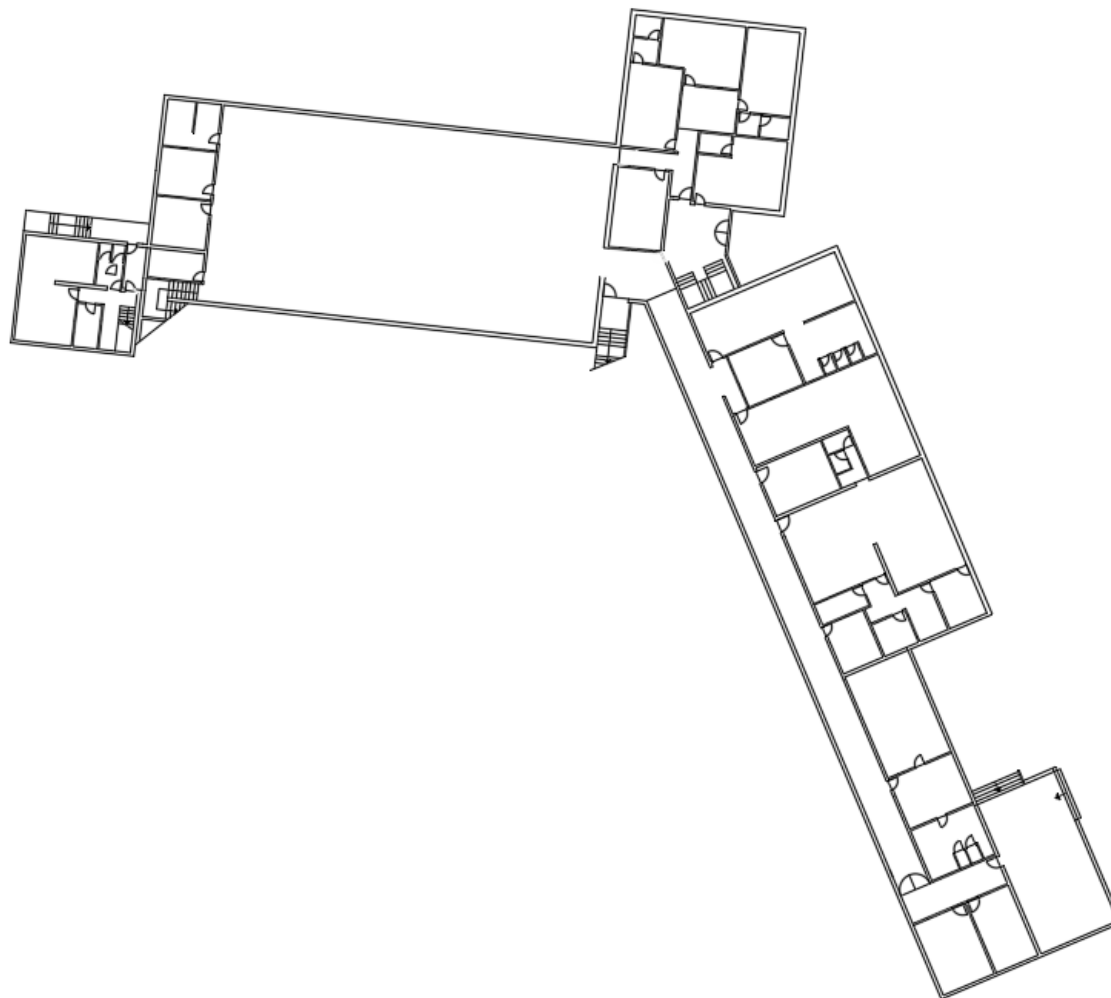
Anexo D – Tipo de equipamento e respetiva potência por zona

Equipamento	Potência [W]	Zona
Desktop	350	Gabinete comandante
Impressora	50	Gabinete comandante
Aquecedor elétrico de parede	1500	Gabinete comandante
3 Desktops	1050	Gabinete comando
Impressora	50	Gabinete comando
Aquecedor elétrico de parede	800	Gabinete comando
3 Desktops	1050	Sala de convívio
TV	200	Sala de convívio
2 Desktops	700	Central
Impressora	50	Central
2 TVs	400	Central
2 Aquecedor elétrico de parede	3000	Balneário masculino
TV	200	Camarata masculina
Aquecedor elétrico de parede	1500	Camarata masculina
TV	200	Bar
Balcão frigorífico	900	Bar
Máquina de lavar loiça	2700	Bar
Micro-ondas	1300	Bar
Arca frigorífica	21 (constante)	Bar
Vitrine frigorífica	21 (constante)	Bar
Máquina do café	3700	Bar
Recuperador de calor a pellets “First” de 10 Kw, com um rendimento de 90%	—	Bar
2 Arca congeladora	24,2 (constante)	Arrecadação
Frigorífico	15,41 (constante)	Balneário feminino
micro-ondas	1300	Balneário feminino
Radiador a óleo	800	Balneário feminino
TV	200	Camarata feminina
3 Desktops	1050	Secretaria
Impressora KonicaMinolta	1500	Secretaria
Radiador a óleo	800	Secretaria

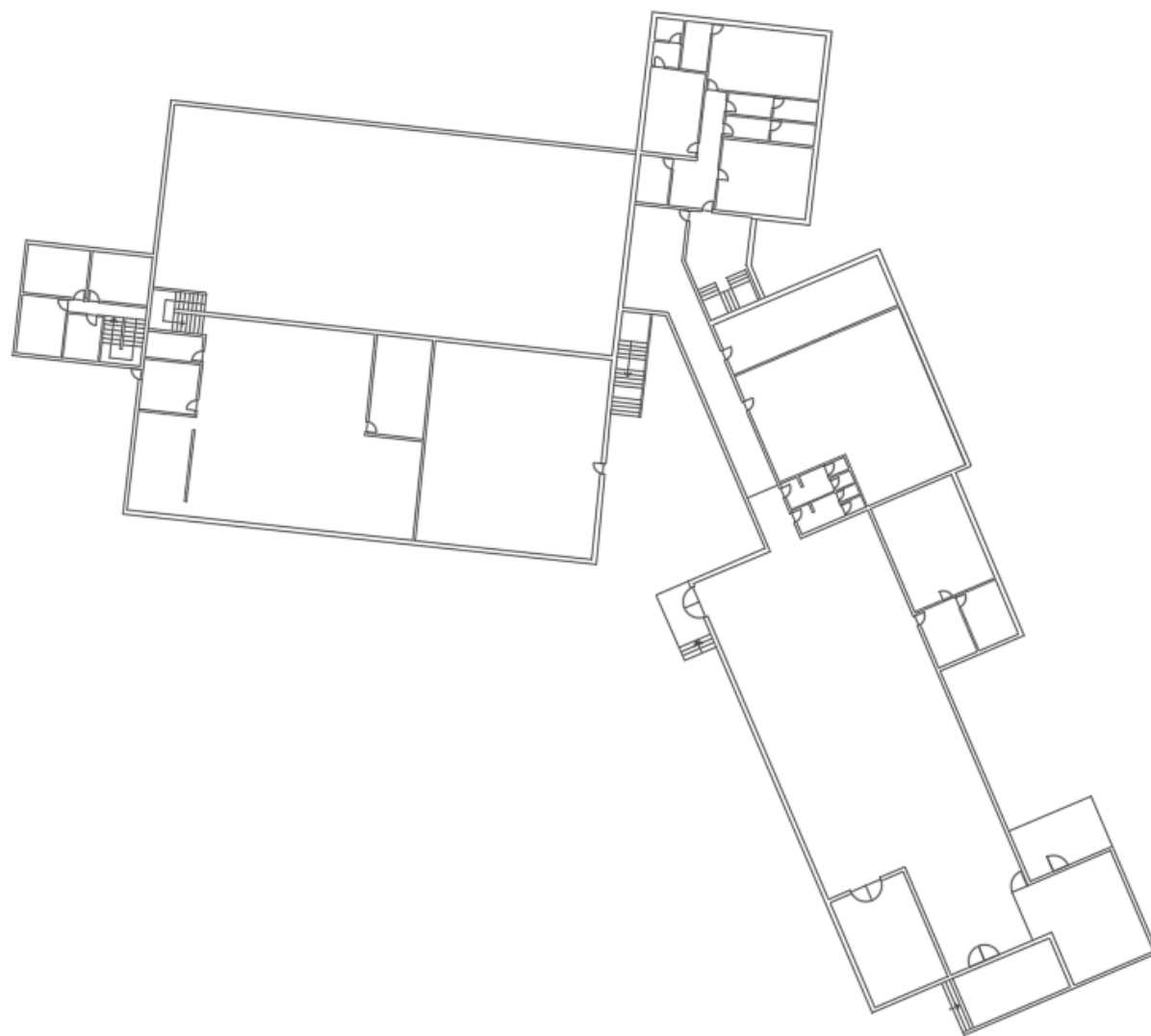
TV	120	Gabinete direção
Desktop	350	Gabinete direção
Impressora	50	Gabinete direção
Frigorífico	18,2 (constante)	Gabinete direção
Desktop	350	Salão nobre
Projeter Epson	272	Salão nobre
Desktop	350	Sala de formação
Projeter Epson	272	Sala de formação
3 Pioneer Kn30 passadeira	1200	Ginásio
2 BH fitness tesis bicicleta	300	Ginásio
Alpha NewFit elíptica	300	Ginásio
Aparelhagem de som	200	Ginásio
Plataforma elevatória viaturas	2200	Oficina
Pacific 250 carregador garrafas de ar comprimido	5500	Arrecadação
Radiador a óleo	800	Quarto 1
Radiador a óleo	800	Quarto 2
Radiador a óleo	800	Quarto 3

Anexo E – Plantas finais

Planta rés-do-chão



Planta piso 1



Anexo F – Valores retirados do termofluxímetro




Medição	Data	U(W/m ² K)	Ti (°C)	Te (°C)	ΔT (°C)	U x ΔT
1	14/05/2019	-8,462	22,6	26,7	-4,1	34,6942
2	14/05/2019	-9,254	22,6	25,9	-3,3	30,5382
3	14/05/2019	-15,785	22,4	25,3	-2,9	45,7765
4	14/05/2019	-7,597	22,2	24,5	-2,3	17,4731
5	14/05/2019	-25,646	21,9	23,3	-1,4	35,9044
6	14/05/2019	-20,145	22	22	0	0
7	14/05/2019	0,982	21,6	21,2	0,4	0,3928
8	14/05/2019	0,964	21,5	20,4	1,1	1,0604
9	14/05/2019	13,584	21,4	19,5	1,9	25,8096
10	14/05/2019	-13,95	21,2	18,6	2,6	-36,27
11	14/05/2019	2,399	21,1	17,1	4	9,596
12	14/05/2019	17,481	19,8	16,2	3,6	62,9316
13	14/05/2019	11,027	19,5	15,1	4,4	48,5188
14	14/05/2019	-18,42	19,4	14	5,4	-99,468
15	14/05/2019	1,21	19,1	13,4	5,7	6,897
16	14/05/2019	-6,497	18,7	12,7	6	-38,982
17	15/05/2019	8,147	18,5	11,9	6,6	53,7702
18	15/05/2019	6,457	18,1	10,9	7,2	46,4904
19	15/05/2019	-9,154	17,8	10,1	7,7	-70,486
20	15/05/2019	-5,627	17,6	9,4	8,2	-46,141
21	15/05/2019	4,12	17,5	8,5	9	37,08
22	15/05/2019	0,996	17,3	7,8	9,5	9,462
23	15/05/2019	12,264	17,1	7,1	10	122,64
24	15/05/2019	-16,578	16,9	6,5	10,4	-172,41
25	15/05/2019	12,49	16,8	6,1	10,7	133,643
26	15/05/2019	-14,571	16,6	5,6	11	-160,28
27	15/05/2019	-14,24	16,4	5,1	11,3	-160,91
28	15/05/2019	0,998	16,5	5,8	10,7	10,6786
29	15/05/2019	3,458	16,8	6,7	10,1	34,9258
30	15/05/2019	7,569	17,1	7,6	9,5	71,9055
31	15/05/2019	4,597	17,5	9,1	8,4	38,6148
32	15/05/2019	0,964	18	10,8	7,2	6,9408
33	15/05/2019	2,547	18,6	12	6,6	16,8102
34	15/05/2019	4,512	19,1	14,2	4,9	22,1088
35	15/05/2019	-12,447	19,6	15,1	4,5	-56,012
36	15/05/2019	1,859	20,1	16,7	3,4	6,3206
37	15/05/2019	2,014	20,6	17,9	2,7	5,4378

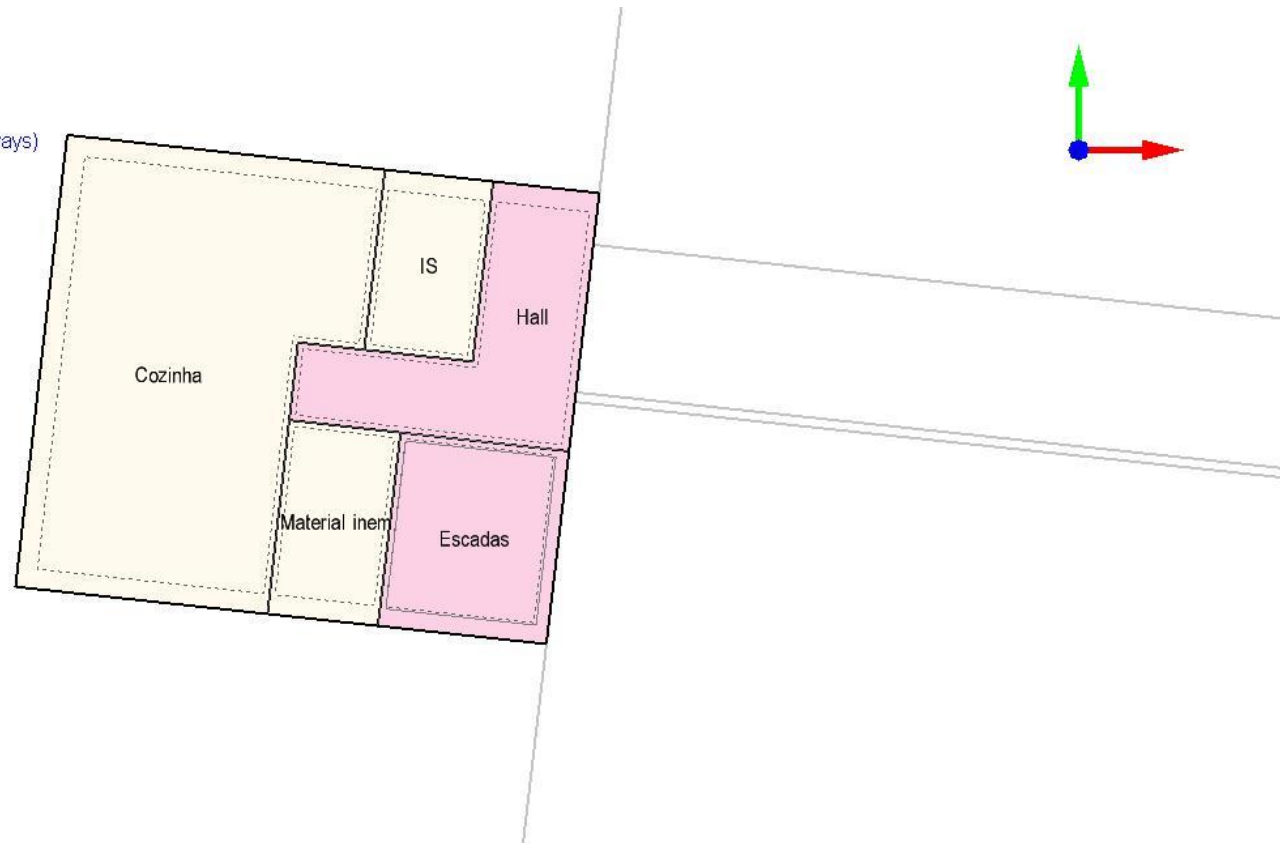
38	15/05/2019	4,597	21	18,8	2,2	10,1134
39	15/05/2019	1,247	21,2	19,6	1,6	1,9952
40	15/05/2019	3,264	21	21	0	0
41	15/05/2019	2,567	21,9	21,9	0	0
42	15/05/2019	-3,524	22	23,1	-1,1	3,8764
43	15/05/2019	-12,457	22,2	24,5	-2,3	28,6511
44	15/05/2019	-8,349	22,4	25,6	-3,2	26,7168
45	15/05/2019	-7,579	22,6	26,7	-4,1	31,0739
46	15/05/2019	-7,694	22,9	26	-3,1	23,8514
47	15/05/2019	-11,684	23,4	25,6	-2,2	25,7048
48	15/05/2019	-9,523	23,3	24,8	-1,5	14,2845
49	15/05/2019	-8,793	23,1	24,2	-1,1	9,6723
50	15/05/2019	-11,497	22,8	23,9	-1,1	12,6467
51	15/05/2019	-14,497	22,4	23,2	-0,8	11,5976
52	15/05/2019	-12,579	22,4	22,5	-0,1	1,2579
53	15/05/2019	-10,689	22,3	21,8	0,5	-5,3445
54	15/05/2019	-8,751	22,1	21,1	1	-8,751
55	15/05/2019	9,476	21,6	19,8	1,8	17,0568
56	15/05/2019	7,45	21,3	18,9	2,4	17,88
57	15/05/2019	6,154	21,1	17,9	3,2	19,6928
58	15/05/2019	-12,557	20,9	16,1	4,8	-60,274
59	15/05/2019	4,579	20,6	15,3	5,3	24,2687
60	15/05/2019	6,459	20,3	14,5	5,8	37,4622
61	15/05/2019	7,466	20,1	13,7	6,4	47,7824
62	15/05/2019	-9,867	19,7	13	6,7	-66,109
63	15/05/2019	-3,762	19,4	12,6	6,8	-25,582
64	15/05/2019	-3,897	19,1	12,3	6,8	-26,5
65	16/05/2019	5,472	18,8	11,9	6,9	37,7568
66	16/05/2019	4,467	18,6	11,5	7,1	31,7157
67	16/05/2019	2,768	18,3	11,1	7,2	19,9296
68	16/05/2019	-9,456	18	10,6	7,4	-69,974
69	16/05/2019	5,597	17,9	10,1	7,8	43,6566
70	16/05/2019	3,346	17,6	9,7	7,9	26,4334
71	16/05/2019	-12,649	17,4	9,3	8,1	-102,46
72	16/05/2019	1,687	17,1	9	8,1	13,6647
73	16/05/2019	-9,146	17,3	8,6	8,7	-79,57
74	16/05/2019	0,999	17,5	8,2	9,3	9,2907
75	16/05/2019	-10,475	17,4	7,5	9,9	-103,7
76	16/05/2019	3,154	17,6	8,2	9,4	29,6476
77	16/05/2019	6,459	17,9	9,4	8,5	54,9015
78	16/05/2019	1,023	18,2	10,5	7,7	7,8771

79	16/05/2019	1,467	18,5	11,9	6,6	9,6822
80	16/05/2019	-8,679	18,8	13,4	5,4	-46,867
81	16/05/2019	1,221	19,2	15	4,2	5,1282
82	16/05/2019	-9,794	19,6	17,4	2,2	-21,547
83	16/05/2019	2,467	19,9	18,1	1,8	4,4406
84	16/05/2019	2,988	20,2	19,4	0,8	2,3904
85	16/05/2019	-1,457	20,6	20,9	-0,3	0,4371
86	16/05/2019	-9,745	20,9	22,9	-2	19,49
87	16/05/2019	-8,491	21,1	23,6	-2,5	21,2275
88	16/05/2019	-3,142	21,4	24,3	-2,9	9,1118
89	16/05/2019	-1,23	21,9	24,9	-3	3,69
90	16/05/2019	-2,098	22	25,3	-3,3	6,9234
91	16/05/2019	-3,29	22	25,5	-3,5	11,515
92	16/05/2019	-5,398	22,2	25,8	-3,6	19,4328
93	16/05/2019	-6,495	22,5	25,9	-3,4	22,083
94	16/05/2019	-4,321	22,9	26,4	-3,5	15,1235
95	16/05/2019	-4,582	23,2	26,7	-3,5	16,037
96	16/05/2019	-2,412	23,1	26,8	-3,7	8,9244
97	16/05/2019	-2,109	22,9	26,7	-3,8	8,0142
98	16/05/2019	-3,489	22,6	25,9	-3,3	11,5137
99	16/05/2019	-3,952	22,4	25,3	-2,9	11,4608
100	16/05/2019	-4,002	22,3	24,5	-2,2	8,8044
101	16/05/2019	-3,421	22	23,3	-1,3	4,4473
102	16/05/2019	-6,49	22	22	0	0
103	16/05/2019	2,328	21,7	21,2	0,5	1,164
104	16/05/2019	1,52	21,5	20,4	1,1	1,672
105	16/05/2019	2,984	21,4	19,5	1,9	5,6696
106	16/05/2019	-7,459	21,2	18,6	2,6	-19,393
107	16/05/2019	2,975	19,9	17,1	2,8	8,33
108	16/05/2019	-9,579	19,7	19,8	-0,1	0,9579
109	16/05/2019	-8,547	19,5	18,9	0,6	-5,1282
110	16/05/2019	-7,865	19,4	17,9	1,5	-11,798
111	16/05/2019	1,952	19,1	16,1	3	5,856
112	16/05/2019	6,479	18,7	15,3	3,4	22,0286
113	17/05/2019	4,025	18,3	14,5	3,8	15,295
114	17/05/2019	3,014	17,9	13,7	4,2	12,6588
115	17/05/2019	3,841	17,6	13	4,6	17,6686
116	17/05/2019	2,649	17,4	12,7	4,7	12,4503
117	17/05/2019	-5,954	17,4	12,5	4,9	-29,175
118	17/05/2019	1,097	17,3	12,2	5,1	5,5947
119	17/05/2019	2,354	17,1	11,9	5,2	12,2408

120	17/05/2019	-9,687	16,9	10,9	6	-58,122
121	17/05/2019	0,975	16,8	10,1	6,7	6,5325
122	17/05/2019	5,649	16,6	9,4	7,2	40,6728
123	17/05/2019	1,597	16,6	9,2	7,4	11,8178
124	17/05/2019	-13,295	16,8	9,9	6,9	-91,736
125	17/05/2019	3,547	17,1	10,6	6,5	23,0555
126	17/05/2019	3,264	17,4	11,2	6,2	20,2368
127	17/05/2019	-8,579	17,8	12	5,8	-49,758
128	17/05/2019	2,359	18,4	13,1	5,3	12,5027
129	17/05/2019	3,497	18,9	14,2	4,7	16,4359
130	17/05/2019	8,659	19,4	15,1	4,3	37,2337
131	17/05/2019	-11,597	19,7	15,9	3,8	-44,069
132	17/05/2019	6,469	19,9	16,8	3,1	20,0539
133	17/05/2019	0,999	20,3	18	2,3	2,2977
134	17/05/2019	1,268	20,8	18,9	1,9	2,4092
135	17/05/2019	-13,426	21,2	19,7	1,5	-20,139
136	17/05/2019	3,21	21,9	20,9	1	3,21
137	17/05/2019	5,126	22,1	22,1	0	0
138	17/05/2019	-6,498	22,3	23,7	-1,4	9,0972
139	17/05/2019	-4,657	22,5	24,3	-1,8	8,3826
140	17/05/2019	-1,009	22,6	24,9	-2,3	2,3207
141	17/05/2019	-5,472	22,7	25,3	-2,6	14,2272
142	17/05/2019	-2,064	22,7	25,6	-2,9	5,9856
143	17/05/2019	-6,599	22,8	25,9	-3,1	20,4569
144	17/05/2019	-2,368	22,9	25,7	-2,8	6,6304
145	17/05/2019	-2,497	22,6	25,3	-2,7	6,7419
146	17/05/2019	-3,002	22,4	24,9	-2,5	7,505
147	17/05/2019	-2,782	22	24,1	-2,1	5,8422
148	17/05/2019	-10,84	21,5	23	-1,5	16,26
149	17/05/2019	-2,953	20,8	22,1	-1,3	3,8389
150	17/05/2019	-1,998	20,4	20,8	-0,4	0,7992

Anexo G – Zoneamento dos pisos

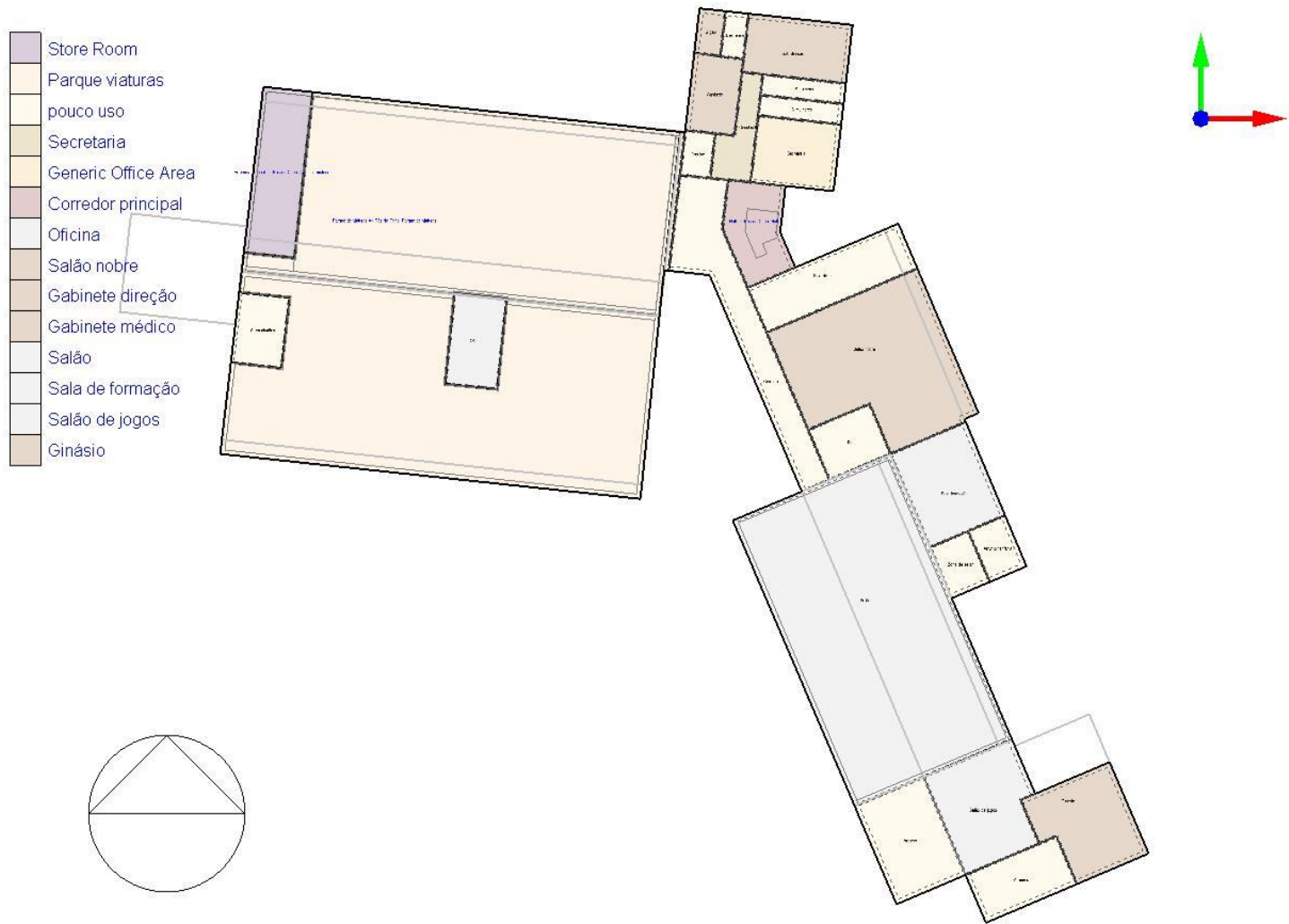
-  Cozinha
-  pouco uso
-  Circulation area (corridors and stairways)



Zoneamento rés-do-chão da casa do quarteleiro



Zoneamento do rés-do-chão




Zoneamento do Piso 1

Anexo H – Características técnicas das bombas de calor

DADOS TÉCNICOS		NUOS EVO 80
Capacidade nominal	l	80
Potência elétrica absorvida média bomba de calor	W	250
COP ar a 7°C (EN16147)		2,6
COP ar a 14°C (EN16147)		2,83
Tempo de aquecimento, ar a 7°C (EN16147)	h:min	5:35
Temperatura máxima bomba de calor	°C	62 (55 fábrica)
Temperatura ar min./máx.	°C	-5/42
Potência máx. absorvida	W	1.550
Caudal do ar nominal	m³/h	100-200
Volume mínimo do local (inst sem condutos ar)	m³	20
Potência resistência	W	1.200
Temperatura máx. resistência	°C	75 (65 fábrica)
Potência sonora (EN12102)	dB(A)	50
Pressão máx. de exercício	bar	8
Peso neto	kg	50
Tipo de refrigerante		R134a
Carga de refrigerante	g	500
GWP		1430
CO2 equivalente	tn	0,715

DADOS TÉCNICOS		NUOS EVO 150
Capacidade nominal	l	147
Potência elétrica absorvida média bomba de calor	W	250
COP ar a 7°C (EN16147)		2,90
COP ar a 14°C (EN16147)		3,15
Tempo de aquecimento, ar a 7°C (EN16147)	h:min	10:00
Temperatura máxima bomba de calor	°C	62 (55 fábrica)
Temperatura ar min./máx.	°C	-5/42
Potência máx. absorvida	W	1.550
Caudal do ar nominal	m³/h	100-200
Volume mínimo do local (inst sem condutos ar)	m³	20
Potência resistência	W	1.200
Temperatura máx. resistência	°C	75(65 fábrica)
Potência sonora (EN12102)	dB(A)	50
Pressão máx. de exercício	bar	8
Peso neto	kg	61
Tipo de refrigerante		R134a
Carga de refrigerante	g	600
GWP		1430
CO2 equivalente	tn	0,858

DADOS TÉCNICOS		NUOS PLUS 200
Capacidade	l	200
Potência elétrica absorvida média bomba de calor	W	700
CCOP ar a 7°C (EN16147)		3,05
COP ar a 14°C (EN16147)		3,28
Tempo de aquecimento, ar a 7°C (EN16147))	h:min	4:30
Tempo de aquecimento, ar a 14°C (EN16147)	h:min	3:38
Quantidade máx. água a 40°C numa única extracção (EN16147)	l	273
Temperatura máxima bomba de calor	°C	62(55 fábrica)
Temperatura ar mín./máx.	°C	-7/42
Potência máxima absorvida	W	2.500
Caudal de ar nominal	m³/h	650
Volume mínimo do local (inst. sem condutos ar)	m³	30
Potência resistência	W	1.000+1.500
Temperatura máx. resistência	°C	75 (65 fábrica)
Potência sonora (EN12102)	dB(A)	55(52 con silent)
Pressão máx. de exercício	bar	6
Peso neto	kg	90
Tipo de refrigerante		R134a
Carga de refrigerante	g	1.300
GWP		1430
CO2 equivalente	tn	1,859
DIMENSIONES		
h	mm	1.737
l	mm	550
NUOS PLUS		200
 Classe Erp		A+
Perfil de consumo		L