Universidade de Aveiro 2019 Departamento de Engenharia Civil

PEDRO TIAGO PINTO DA COSTA

SUSTENTABILIDADE ENERGÉTICA: IMPACTO DOS SISTEMAS GEOTÉRMICOS NA CLIMATIZAÇÃO DE EDIFÍCIOS ESCOLARES

Universidade de Aveiro 2019 Departamento de Engenharia Civil

PEDRO TIAGO PINTO DA COSTA

SUSTENTABILIDADE ENERGÉTICA: IMPACTO DOS SISTEMAS GEOTÉRMICOS NA CLIMATIZAÇÃO DE EDIFÍCIOS ESCOLARES

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil, realizada sob a orientação científica do Professor Doutor José Claudino de Pinho Cardoso, Professor Associado do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro e coorientação do Professor Engenheiro José Alberto Marques Lapa, Professor Auxiliar Convidado do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro e do Doutor Engenheiro António José Pereira de Figueiredo, Investigador do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro.

Dedico este trabalho à minha família.

O júri

O presidente

Prof.ª Doutora Maria Fernanda da Silva Rodrigues
professora auxiliar do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro

Doutor Tiago Manuel Rodrigues da Silva
investigador doutorado do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro

Prof. Doutor José Claudino de Pinho Cardoso
professor associado do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro

agradecimentos

É costume ouvir dizer que a Universidade é uma experiência que enriquece quem por lá passa. E hoje, passado estes anos, posso confirmar que isso é verdade. Não só se cresce a nível intelectual com todas as aprendizagens sobre o curso que se escolhe, mas também a nível pessoal e de relações interpessoais. Estes últimos anos foram marcados por pessoas incríveis e todas elas me ensinaram algo durante o meu percurso académico e, assim sendo, as próximas palavras são dedicadas a algumas dessas pessoas.

Ao NEBEC – Núcleo de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro da Associação Académica da Universidade de Aveiro, grupo que me fez crescer como pessoa, tanto nas passagens como membro bem como, mais tarde, coordenador. Daqui guardo o espírito de equipa gerado tal como a gratificação pessoal de trabalhar em prol de algo maior do que nós mesmos. Foi, sem qualquer dúvida, das melhores e maiores experiências passadas na minha vida académica.

Ao Nuno Gomes pelo constante apoio durante este trabalho e por todos os momentos passados durante três anos, e que ficarão sempre na memória, e por todos os anos de amizade que já passaram e ainda virão.

Ao Rafael Mendes pela amizade, por todas as palavras de apoio em vários momentos sobretudo nos mais difíceis e pelas memórias criadas durante todos estes anos.

Aos meus colegas de curso pelas experiências vividas que, de certeza, irão ser recordadas mais tarde.

À minha família pela oportunidade e pelo apoio incondicional.

Muito Obrigado

palavras chave Geotermia, sistemas de climatização tradicionais, sistemas geotérmicos, sustentabilidade térmica, conforto térmico, qualidade do ar, necessidades energéticas, consumos energéticos

resumo

Atualmente verifica-se cada vez mais o declínio das energias fósseis como os combustíveis e uma procura de alternativas que, usualmente, provêm de energias renováveis como é o caso da energia geotérmica. Este tipo de energia renovável possui diversas vantagens ao nível da climatização de edifícios.

O principal objetivo deste trabalho centra-se no estudo do uso dos sistemas geotérmicos para a redução dos consumos energéticos em edifícios escolares, procedendo-se à comparação entre os sistemas de climatização tradicionalmente utilizados e os sistemas de climatização com base na energia geotérmica.

O estudo realizado neste trabalho demonstra quais os ganhos entre os tipos de sistemas de climatização, através da modelação de um edifício departamental da Universidade de Aveiro, confrontando-se os valores de necessidades e de consumos energéticos obtidos com dois sistemas de fontes energéticas distintas.

Por último, realizaram-se inquéritos aos utilizadores de alguns edifícios do campus de Santiago da Universidade de Aveiro de forma a perceber se o tipo de sistema de climatização utilizado possui influência na perceção do conforto, qualidade do ar e da produtividade resultante dessas condições nos utilizadores.

keywords Geothermal, traditional climate systems, geothermal systems, thermal sustainability, thermal comfort, air quality, energy needs, energy consumption

abstract

Nowadays there is a growing decline of fossil fuels such as fuels and a search for alternatives that usually come from renewable energies such as geothermal energy. This type of renewable energy has several advantages in terms of building climate.

The main objective of this work is to study the use of geothermal systems to reduce energy consumption in school buildings, by comparing traditionally used climate systems with geothermal based systems.

The study carried out in this document demonstrates the gains between the types of air conditioning systems, through the modelling of a departmental building of the University of Aveiro, comparing the values of energy needs and consumptions obtained with two systems of distinct energy sources.

Finally, surveys were conducted with users of some buildings at the University of Aveiro's Santiago campus in order to determine whether the type of air conditioning system used has an impact on users' perception of comfort, air quality and productivity.

ÍNDICES

Índice Geral

Índice de Figuras ..... **iii**

Índice de Tabelas ..... **vii**

1. INTRODUÇÃO **1**

1.1 Enquadramento Geral *1*

1.2 Objetivos *4*

1.3 Organização da Dissertação *4*

2. CONCEITOS FUNDAMENTAIS DA GEOTERMIA **9**

2.1. Sistemas Geotérmicos em Edifícios *11*

2.1.1. Sistemas Geotérmicos Abertos 12

2.1.2. Sistemas Geotérmicos Fechados 13

2.1.2.1. Sistemas Geotérmicos Fechados Horizontais 14

2.1.2.2. Sistemas Geotérmicos Fechados Verticais 15

2.1.2.3. Sistemas Geotérmicos Fechados de fundações termo ativas 16

2.2. Funcionamento Geral dos Sistemas *17*

3. CASO DE ESTUDO: EDIFÍCIO DO COMPLEXO DE CIÊNCIAS DA COMUNICAÇÃO E IMAGEM **21**

3.1. Descrição Geral da Envolvente do Edifício *21*

3.2. Descrição Geral do Edifício *22*

3.2.1. Compartimentação Interior 23

3.2.2. Descrição dos Materiais Utilizados 25

3.3. Definição Geométrica Tridimensional e Simulação Térmica *27*

3.3.1. Definição Geométrica Tridimensional 27

3.3.2. Modelação Térmica 31

3.3.3. Necessidades Energéticas do Edifício 36

3.3.4. Sistemas Energéticos Tradicionais 44

3.3.4.1. Equipamento Compacto de Ar Condicionado 44

3.3.4.2. Equipamento Compacto de Bomba de Calor 49

3.3.5. Sistemas Energéticos Geotérmicos 53

3.3.6. Comparação de Sistemas de Climatização 61

4. INQUÉRITOS E ANÁLISE DE DADOS 67

4.1. Metodologia 67

4.2. Análise de Resultados 69

4.2.1. Análise Descritiva 69

4.2.2. Análise Estatística 77

4.2.3. Discussão de Resultados 83

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS 87

5.1. Conclusões 87

5.2. Desenvolvimentos Futuros 89

Referências Bibliográficas 93

Anexos 99

Anexo I – Materiais e dimensões 99

Anexo II – Paredes e suas características 105

Paredes Exteriores 105

Paredes Interiores 105

Anexo III – Inquérito 109

Anexo IV – Resultados do inquérito 113

Departamento de Engenharia Civil 113

Complexo Interdisciplinar de Ciências Físicas Aplicadas à Nanotecnologia e à Oceanografia 117

Complexo das Ciências da Comunicação e Imagem 121

Complexo de Laboratórios Tecnológicos 125

Índice de Figuras

Figura 1 – Valores percentuais da dependência energética em Portugal entre 2012 e 2016 [2] 2
Figura 2 – Produção anual de energia elétrica com base em FER, em Portugal, em 2016 3
Figura 3 – Produção anual de energia elétrica com base em FER, em Portugal, em 2018 3
Figura 4 – Sistema com furo de captação e injeção [6] 13
Figura 5 – Sondas geotérmicas dispostas em espiral [13] 14
Figura 6 – Sistema Geotérmico Fechado Horizontal [6] 14
Figura 7 – Sistema geotérmico fechado vertical [6] 15
Figura 8 – Sistema Geotérmico de Fundações Termo Ativas [6] 16
Figura 9 – Esquema do funcionamento de um sistema de bomba geotérmica [14] 17
Figura 10 – Local de implantação do edifício 21
Figura 11 – Vista lateral direita 22
Figura 12 – Vista lateral esquerda 22
Figura 13 – Planta da Cave (Fonte: Cypetherm Eplus) 23
Figura 14 – Planta do Piso 0 (Fonte: Cypetherm EPlus) 24
Figura 15 – Planta do Piso 1 (Fonte: Cypetherm EPlus) 24
Figura 16 – Planta do Piso 2 (Fonte: Cypetherm EPlus) 24
Figura 17 – Modelo 3D – Cave (Cypetherm Eplus) 28
Figura 18 – Modelo 3D – Piso 0 (Fonte: Cypetherm EPlus) 28
Figura 19 – Modelo 3D – Piso 1 (Fonte: Cypetherm EPlus) 29
Figura 20 – Modelo 3D – Piso 2 (Fonte: Cypetherm EPlus) 29
Figura 21 – Alçado Frontal (Fonte: Cypetherm EPlus) 29
Figura 22 – Alçado Posterior (Fonte: Cypetherm EPlus) 30
Figura 23 – Alçado Lateral Esquerdo (Fonte: Cypetherm EPlus) 30
Figura 24 – Alçado Lateral Direito (Fonte: Cypetherm EPlus) 30
Figura 25 – Implantação do edificio com os edificios adjacentes (Fonte: Cypetherm EPlus) 30
Figura 26 – Variação anual da temperatura (Fonte: Ficheiro EPW) 32
Figura 27 – Distribuição dos ventos na zona de Aveiro (Fonte: Ficheiro EPW) 32
Figura 28 – Valores de irradiação global sobre o plano horizontal (Fonte: Ficheiro EPW) 33
Figura 29 – Perfil de utilização adotado (Fonte: Cypetherm EPlus) 35
Figura 30 – Perdas e ganhos de energia através da transmissão térmica 36
Figura 31 – Necessidade energética para aquecimento e arrefecimento (kWh/mês) 39
Figura 32 – Potência útil instantânea mensal (kW) 40
Figura 33 – Variação da temperatura operativa (Cave) 40

Figura 34 – Variação da temperatura operativa (Piso 0) 41
Figura 35 – Variação da temperatura operativa (Piso 1) 41
Figura 36 – Variação da temperatura operativa (Piso 2) 41
Figura 37 – Variação da temperatura de conforto (Cave) – Sistema AC 46
Figura 38 – Variação da temperatura de conforto (Piso 0) – Sistema AC 47
Figura 39 – Variação da temperatura de conforto (Piso 1) – Sistema AC 48
Figura 40 – Variação da temperatura de conforto (Piso 2) – Sistema AC 48
Figura 41 – Variação da temperatura de conforto (Cave) – Sistema Bomba de Calor 50
Figura 42 – Variação da temperatura de conforto (Piso 0) – Sistema Bomba de Calor 50
Figura 43 – Variação da temperatura de conforto (Piso 1) – Sistema Bomba de Calor 51
Figura 44 – Variação da temperatura de conforto (Piso 2) – Sistema Bomba de Calor 51
Figura 45 – Variação da temperatura de conforto (Cave) – Sistema Bomba Geotérmica[1] 55
Figura 46 – Variação da temperatura de conforto (Piso 0) – Sistema Bomba Geotérmica[1] 56
Figura 47 – Variação da temperatura de conforto (Piso 1) – Sistema Bomba Geotérmica[1] 56
Figura 48 – Variação da temperatura de conforto (Piso 2) – Sistema Bomba Geotérmica[1] 57
Figura 49 – Variação da temperatura de conforto (Cave) – Sistema Bomba Geotérmica[2] 58
Figura 50 – Variação da temperatura de conforto (Piso 0) – Sistema Bomba Geotérmica[2] 59
Figura 51 – Variação da temperatura de conforto (Piso 1) – Sistema Bomba Geotérmica[2] 59
Figura 52 – Variação da temperatura de conforto (Piso 2) – Sistema Bomba Geotérmica[2] 60
Figura 53 – Conforto térmico durante o inverno (DECivil) 69
Figura 54 – Conforto térmico durante o verão (DECivil) 70
Figura 55 – Produtividade relativa ao conforto térmico e qualidade do ar (DECivil) 70
Figura 56 – Conforto térmico durante o inverno (CCCI) 71
Figura 57 – Conforto térmico durante o verão (CCCI) 71
Figura 58 – Produtividade relativa ao conforto térmico e qualidade do ar (CCCI) 72
Figura 59 – Conforto térmico durante o inverno (CICFANO) 73
Figura 60 – Conforto térmico durante o verão (CICFANO) 73
Figura 61 – Produtividade relativa ao conforto térmico e qualidade do ar (CICFANO) 74
Figura 62 – Conforto térmico durante o inverno (CLabTec) 75
Figura 63 – Conforto térmico durante o verão (CLabTec) 75
Figura 64 – Produtividade relativa ao conforto térmico (CLabTec) 76
Figura 65 – Produtividade relativa à qualidade do ar (CLabTec) 76
Figura 66 – Comparação entre edificios com e sem sistema geotérmico (CT - Inverno) 77
Figura 67 – Comparação entre edificios com e sem sistema geotérmico (CT - Verão) 78
Figura 68 – Comparação entre edificios com e sem sistema geotérmico (Produtividade – CT) 78

Figura 69 – Comparação entre edificios com e sem sistema geotérmico (Produtividade – QA)..... 79
Figura 70 – Comparação do conforto térmico durante o inverno 80
Figura 71 – Comparação do conforto térmico durante o verão..... 81
Figura 72 – Comparação da produtividade relativamente ao conforto térmico 82
Figura 73 – Comparação da produtividade relativamente à qualidade do ar 82

Figura A. 1 – Parede exterior (39 cm)..... 105
Figura A. 2 – Parede interior (15 cm) 105
Figura A. 3 – Parede interior (18 cm) 106
Figura A. 4 – Parede interior (23 cm) 106
Figura A. 5 – Parede interior (28 cm) 107
Figura A. 6 – Parede interior (31 cm) 107
Figura A. 7 – Parede interior (36 cm) 108
Figura A. 8 – Parede interior (51 cm) 108
Figura A. 9 – Nacionalidade (DECivil) 113
Figura A. 10 – Género (DECivil)..... 113
Figura A. 11 – Idade (DECivil)..... 114
Figura A. 12 – Função do Utilizador no Departamento (DECivil) 114
Figura A. 13 – Período de Ocupação (DECivil) 114
Figura A. 14 – Conforto Térmico percebido - Inverno (DECivil) 115
Figura A. 15 – Confoto Térmico percebido - Verão (DECivil) 115
Figura A. 16 – Tipo de espaço ocupado (DECivil)..... 115
Figura A. 17 – Utilização de Equipamentos Auxiliares (DECivil)..... 116
Figura A. 18 – Produtividade percebida – Conforto Térmico (DECivil)..... 116
Figura A. 19 – Produtividade percebida – Qualidade do Ar (DECivil) 116
Figura A. 20 – Nacionalidade (CICFANO) 117
Figura A. 21 – Género (CICFANO)..... 117
Figura A. 22 – Idade (CICFANO) 117
Figura A. 23 – Função do Utilizador no Departamento (CICFANO)..... 118
Figura A. 24 – Período de Ocupação (CICFANO) 118
Figura A. 25 – Conforto Térmico percebido - Inverno (CICFANO) 118
Figura A. 26 – Conforto Térmico percebido - Verão (CICFANO)..... 119
Figura A. 27 – Tipo de Espaço Ocupado (CICFANO) 119
Figura A. 28 – Utilização de Equipamentos Auxiliares (CICFANO)..... 119
Figura A. 29 – Produtividade percebida – Conforto Térmico (CICFANO)..... 120

Figura A. 30 – Produtividade percebida – Qualidade do Ar (CICFANO) 120
Figura A. 31 – Nacionalidade (CCCI) 121
Figura A. 32 – Género (CCCI) 121
Figura A. 33 – Idade (CCCI) 121
Figura A. 34 – Função do Utilizador no Departamento (CCCI) 122
Figura A. 35 – Período de Ocupação (CCCI) 122
Figura A. 36 – Conforto Térmico percebido - Inverno (CCCI) 122
Figura A. 37 – Conforto Térmico percebido - Verão (CCCI) 123
Figura A. 38 – Espaço de Ocupação (CCCI) 123
Figura A. 39 – Utilização de Equipamentos Auxiliares (CCCI) 123
Figura A. 40 – Produtividade percebida – Conforto Térmico (CCCI) 124
Figura A. 41 – Produtividade percebida – Qualidade do Ar (CCCI) 124
Figura A. 42 – Nacionalidade (CLabTec) 125
Figura A. 43 – Género (CLabTec) 125
Figura A. 44 – Idade (CLabTec) 125
Figura A. 45 – Função do Utilizador no Departamento (CLabTec) 126
Figura A. 46 – Período de Ocupação (CLabTec) 126
Figura A. 47 – Conforto Térmico percebido - Inverno (CLabTec) 126
Figura A. 48 – Conforto Térmico percebido - Verão (CLabTec) 127
Figura A. 49 – Tipo de Espaço Ocupado (CLabTec) 127
Figura A. 50 – Utilização de Equipamentos Auxiliares (CLabTec) 127
Figura A. 51 – Produtividade percebida – Conforto Térmico (CLabTec) 128
Figura A. 52 – Produtividade percebida – Qualidade do Ar (CLabTec) 128

Índice de Tabelas

Tabela 1 – Tabela adaptado do Diagrama de Lindal 11
Tabela 2 – Potências de arrefecimento e aquecimento das UTAN's instaladas no CCCI 54
Tabela 3 – Valores de consumo referentes ao aquecimento 61
Tabela 4 – Valores de consumo referentes ao arrefecimento 62
Tabela 5 – Valores de consumo energético totais 63

Capítulo 1

Introdução

1. INTRODUÇÃO

O declínio das energias fósseis aumenta a uma rapidez estonteante sendo urgente adquirir formas de maximizar o uso das energias renováveis de forma a torná-las rentáveis para a sociedade. Atualmente, já se encontra em movimento uma forte aposta nas energias renováveis como a energia solar e a energia eólica, com a aplicação de painéis solares nos edifícios e a aplicação de torres eólicas em locais estrategicamente escolhidos. Existem, no entanto, outros tipos de energias renováveis, como a energia geotérmica, que se tem verificado como muito promissora na resposta às necessidades energéticas de climatização dos edifícios e que, como tal, deverá ser altamente incentivada. O seu potencial permite ainda uma elevada redução na utilização de energias fósseis dado que a climatização dos edifícios é responsável por elevados consumos desse tipo de energia com a utilização de técnicas tradicionais do fornecimento energético.

O tema da presente dissertação abordará o uso dos sistemas geotérmicos para redução dos consumos energéticos em edifícios escolares e irá incidir no estudo do edifício do Complexo de Ciências da Comunicação e Imagem (CCCI) da Universidade de Aveiro (UA) bem como na análise de conforto térmico e qualidade do ar de vários edifícios departamentais da UA através de inquéritos realizados a utilizadores frequentes dos mesmos.

Neste capítulo apresenta-se um enquadramento ao tema da dissertação bem como os objetivos e a estrutura de todo o conteúdo.

1.1 Enquadramento Geral

Com as mudanças existentes em todo o mundo ao nível energético surge, cada vez mais, o pensamento e a preocupação de um desenvolvimento mais sustentável para a sociedade. O conceito de desenvolvimento sustentável define-se assim como o progresso que satisfaz as necessidades presentes, sem comprometer a capacidade das gerações futuras de suprir as suas próprias necessidades [1].

Existem fatores fundamentais que preservam os recursos, sejam estes de origem natural, cultural ou patrimonial, e que têm como objetivo a realização cautelosa e criteriosa dos mesmos. No entanto, Portugal está ainda longe de ser um país autossuficiente na produção de energia e, como tal, verifica-se uma dependência de importação de energia do estrangeiro.

O índice de dependência energética de Portugal, que avalia a exposição do país ao exterior para cumprimentos das necessidades de consumo de energia diminuiu nos últimos anos, sendo em 2016, ainda de 75% (figura 1) segundo dados da Direção Geral de Energia e Geologia (DGEG).

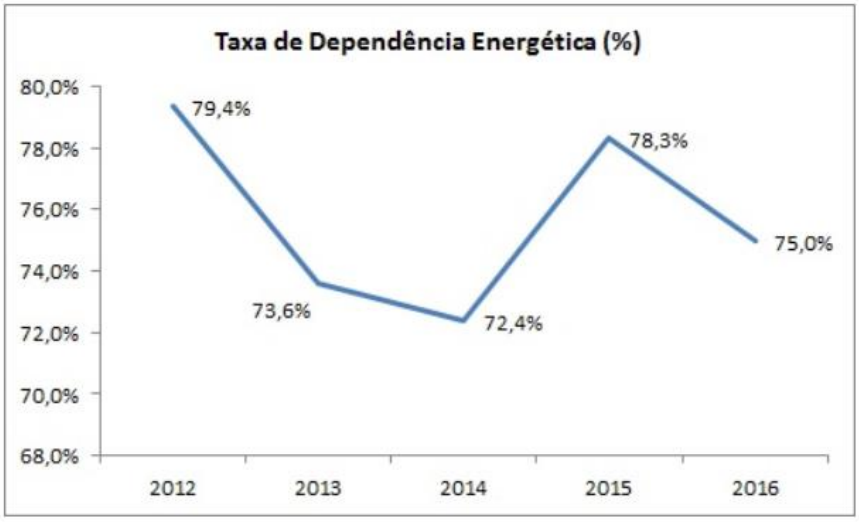


Figura 1 – Valores percentuais da dependência energética em Portugal entre 2012 e 2016 [2]

Através da figura 1, verifica-se que é necessário encontrar métodos que possibilitem a diminuição desta taxa de dependência energética pois, apesar de existir uma diminuição entre 2012 e 2016, não é um valor considerável.

Portugal Continental apresenta um potencial geotérmico bastante apreciável com uma geologia diversificada, no entanto, este aspeto evidencia a necessidade de novos estudos nesta temática. Existem vários locais onde a temperatura do solo é bastante elevada, fator que se deve a fatores relativos a águas termais subterrâneas, aproveitadas por exemplo para balneoterapia, e que em alguns locais atingem os 80ºC [3].

Devido ao aumento do custo dos combustíveis fosseis, verificou-se durante a última década uma grande evolução nos sistemas geotérmicos utilizados para climatização dos edifícios e para o aquecimento de águas quentes sanitárias (AQS) como por exemplo, as bombas de calor geotérmicas (BCG). Recentemente, tem-se verificado uma evolução na geotermia de baixa entalpia em Portugal, sendo este um recurso ainda subaproveitado e que se encontra em expansão [3].

Através de dados provenientes da DGEG, Portugal tem vindo a apostar na produção de energia através de fontes de energia renováveis (FER), no entanto as fontes geotérmicas ainda são pouco utilizadas para a produção de energia, como por exemplo, energia elétrica. Uma vez que o país possui inúmeras barragens e zonas montanhosas, é de esperar que uma boa parcela da energia produzida provenha do vento e da água presente nas barragens. Através da figura 2, referente ao ano de 2016,

é possível observar claramente a dedução anterior, uma vez que cerca de 88% da energia elétrica produzida provém da energia hídrica e eólica. Quando se observa a parcela proveniente da geotermia, o valor fica na ordem dos 0,5% (valor que corresponde a 29 MW de energia produzida).

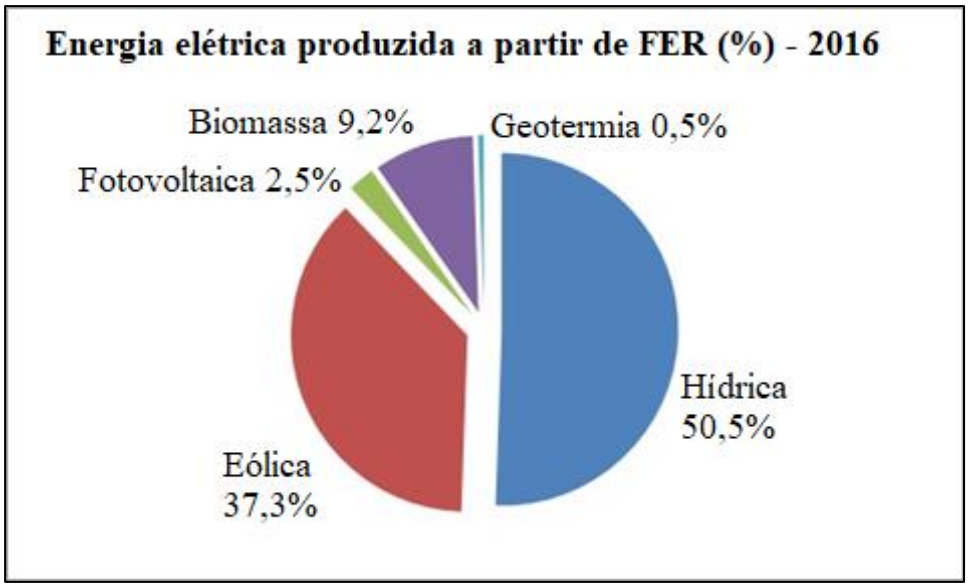


Figura 2 – Produção anual de energia elétrica com base em FER, em Portugal, em 2016 (adaptado de [2]*)*

Comparativamente com a figura anterior, a figura 3 apresenta a divisão das fontes de produção de energia elétrica em 2018 através de FER. Apesar de Portugal possuir, na sua maioria, zonas de baixa e muito baixa entalpia, seria de esperar um aumento (mesmo que pequeno) na percentagem proveniente da energia geotérmica. Se não se considerar o total de energia elétrica proveniente de fontes não renováveis, verifica-se que a parcela referente à geotermia possui um valor de 0,72%, verificando assim um aumento de 0,2% em dois anos.

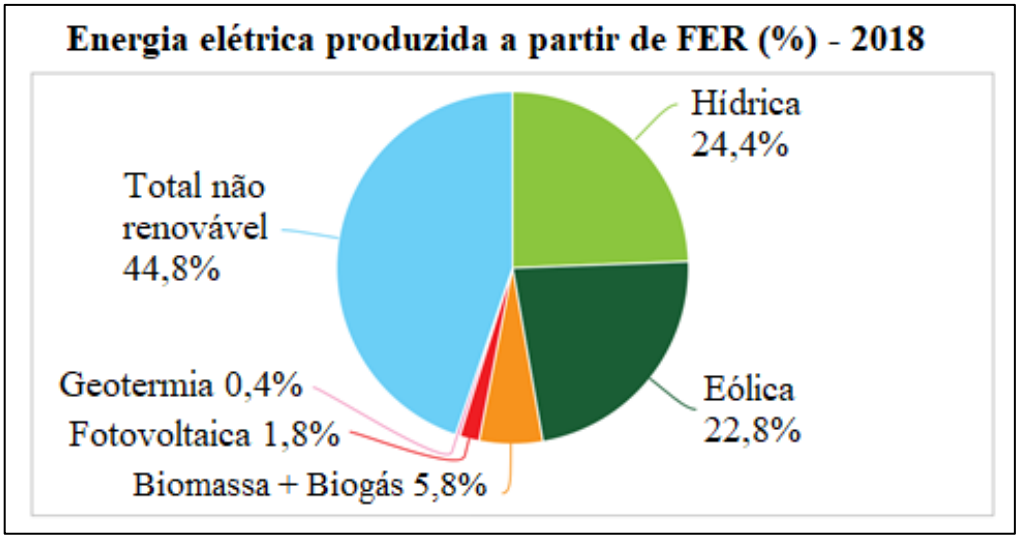


Figura 3 – Produção anual de energia elétrica com base em FER, em Portugal, em 2018 (adaptado de [4]*)*

Na presente dissertação aborda-se o uso dos sistemas geotérmicos para redução dos consumos energéticos em edifícios escolares. O caso de estudo será o Complexo de Ciências da Comunicação e Imagem (CCCI), departamento da Universidade de Aveiro.

1.2 Objetivos

O principal objetivo será a comparação entre os consumos energéticos dos sistemas de climatização tradicionais *versus* consumos energéticos dos sistemas geotérmicos do edifício em estudo. Para se atingir este objetivo, será realizada a modelação tridimensional de um edifício real, existente na Universidade de Aveiro, de forma a se realizar a simulação térmica de vários sistemas energéticos, quer tradicionais quer geotérmicos, realizando posteriormente uma comparação aos consumos obtidos.

Para além do objetivo principal realizar-se-ão inquéritos de opinião em vários departamentos da UA recolhendo a opinião dos utilizadores frequentes dos edifícios no que se refere à perceção do conforto térmico e qualidade do ar, realizando uma análise descritiva e estatística aos resultados obtidos.

1.3 Organização da Dissertação

A presente dissertação está dividida em cinco capítulos, sendo que cada um dos capítulos possui vários subcapítulos.

O primeiro capítulo desta dissertação engloba a introdução do trabalho realizado, bem como a descrição dos objetivos, um enquadramento geral do tema e a própria organização do presente documento.

Segue-se o segundo capítulo, onde se realiza um enquadramento teórico do tema do trabalho realizado abordando diversos conceitos e tipos de sistemas geotérmicos existentes.

No terceiro capítulo aborda-se o caso de estudo desta dissertação. Este capítulo divide-se em duas partes gerais: primeiramente realiza-se a descrição geral do edifício (desde divisões, materiais, sistemas de climatização, etc.) e, de seguida, apresenta-se toda a modelação tridimensional e análise térmica do edifício bem como a análise dos resultados obtidos.

O quarto capítulo refere-se à recolha de dados sobre a perceção dos utilizadores de vários edifícios da UA. Neste capítulo apresenta-se as metodologias e resultados dos inquéritos realizados nos vários departamentos estudados bem como as análises, descritiva e estatística, realizadas aos resultados obtidos.

No quinto e último capítulo apresentam-se as conclusões e os desenvolvimentos possíveis de serem executados futuramente de forma a complementar este trabalho.

Finaliza-se a estrutura desta dissertação com todas as referências bibliográficas consultadas e com os anexos pertinentes do trabalho realizado.

Capítulo 2

Conceitos Fundamentais da Geotermia

2. CONCEITOS FUNDAMENTAIS DA GEOTERMIA

A Terra encontra-se no limite de disponibilizar os seus recursos de forma sustentável, isto é, os recursos utilizados pelo Homem estão no limiar de deixarem de existir. Assim, urge em encontrar alternativas energéticas viáveis, sendo as energias renováveis a fonte mais exequível uma vez que não se esgotam nem poluem o planeta. O tipo de energia que se irá focar esta dissertação será a energia do solo que se denomina de energia geotérmica. O conceito de geotermia deriva de duas palavras gregas, *geo e terme*, que significam terra e calor, respetivamente, podendo-se dizer que significa o calor que provém da terra [5]. Através do Conselho Europeu de Energia Geotérmica, define-se geotermia como a energia armazenada na forma de calor sob a superfície terrestre [6].

Para um melhor entendimento dos conceitos associados à geotermia deve-se entender que a estrutura do nosso planeta varia desde o seu núcleo até à superfície. Tal como a estrutura, também as temperaturas variam, estimando-se que perto do núcleo se atinjam entre os 3000ºC e os 5000ºC enquanto que na camada mais superficial as temperaturas são bastante mais baixas, podendo-se verificar um aumento de temperatura de aproximadamente 3ºC por cada 100 metros de profundidade [6].

Os recursos geotérmicos podem ser divididos em duas grandes categorias relativamente à temperatura encontrada no solo ou na água subterrânea em diferentes fases físicas bem como o potencial de aproveitamento, dividindo-se nas seguintes temperaturas:

- Alta entalpia: temperaturas superiores a 150ºC;
- Baixa entalpia: temperaturas inferiores a 150ºC.

É importante também, ter conhecimento do conceito de entalpia que é uma grandeza física que procura medir a energia de um sistema termodinâmico que está disponível em forma de calor [5].

Existem outros autores que fazem uma maior divisão das categorias de entalpia encontradas [7].

- Alta entalpia: temperaturas superiores a 150ºC;
- Média entalpia: temperaturas entre os 90ºC e os 150ºC;
- Baixa entalpia: temperaturas entre os 30ºC e os 90ºC;
- Muito baixa entalpia: temperaturas inferiores a 30ºC.

Em Portugal Continental, é possível encontrar-se algumas localizações com alta entalpia, no entanto é mais corrente zonas com baixa e média entalpia, com potencial de utilização como fontes termais. No âmbito deste trabalho interessa a utilização do solo em condições de muito baixa entalpia.

Para além das categorias anteriormente referidas, pode-se referenciar a geotermia como profunda ou superficial consoante a profundidade utilizada e o fim a que se destina. A geotermia profunda situa-se na categoria das altas entalpias em que as profundidades são, habitualmente, superiores a 400 metros e têm o intuito de produzir eletricidade através de centrais geotérmicas (como, por exemplo, a central geotérmica que existe nos Açores), para processos industriais ou mesmo para uso direto na climatização [7]. Por outro lado, a geotermia superficial enquadra-se na categoria de baixa entalpia em profundidades inferiores a 400 metros. No entanto, habitualmente a profundidade mais utilizada é, no máximo, de 150 metros.

Os sistemas utilizados na geotermia superficial, as bombas de calor geotérmicas (BCG) e as estacas para captação de energia, são utilizadas para climatização de edifícios e sistemas de aquecimento de águas sanitárias (AQS) [6].

Salienta-se que, tal como todas as formas de energia, a energia geotérmica possui vantagens e desvantagens. No entanto, o número de vantagens é bastante superior ao número de desvantagens, o que faz da geotermia e da energia geotérmica uma forte alternativa às energias fósseis atualmente utilizadas. A grande desvantagem da energia geotérmica são os custos associados à instalação de todos os componentes associados e à sua prospeção [5]. No entanto, quando se abordam as vantagens, deixa de existir uma grande vantagem, mas existe um conjunto de vantagens a ter em conta tais como a diminuição do dióxido de carbono (CO_2) emitido, a diminuição da contribuição para as alterações climáticas, a criação de empregos e a contribuição para a diminuição das disparidades regionais [5].

2.1. Sistemas Geotérmicos em Edifícios

Em Portugal Continental encontram-se vários tipos de solos com as mais diversas características consoante o local geográfico em estudo. Tal como o tipo de solo, as temperaturas mais superficiais também variam com o lugar geográfico, sendo a temperatura média encontrada de, aproximadamente, 40ºC. Salienta-se que o valor mais baixo registado ronda os 20ºC sendo o valor mais elevado na ordem dos 70ºC a 80ºC em zonas com águas termais. [8] [9].

Tabela 1 – Tabela adaptado do Diagrama de Lindal (adaptado de [10]*)*

Água	Vapor Sobressaturado
Entre os 20ºC e os 100ºC	Entre os 100º e os 200ºC
- Aquecimento ambiental por bombas de calor geotérmicas (BCG) - Aquacultura - Aquecimento de piscinas - Aquecimento do solo - Produção animal, viveiros - Ar condicionado - Conservação de congelados - Aquecimento ambiental - Secagem de peixe, materiais orgânicos e vegetais - Secagem e cura de blocos de cimento	- Produção elétrica convencional e por ciclo binário - Refrigeração por ciclo de absorção - Secagem de farinha de peixe - Processamento de enlatados de alimentos - Secagem de madeira - Evaporação na refinação de açúcar - Extração de sais por evaporação

Através do diagrama adaptado, representado pela tabela 1, verifica-se de uma forma simples quais os diferentes recursos que se utilizam através de uma fonte de energia para as temperaturas existentes. No território nacional apenas é possível usufruir de temperaturas na categoria de baixa entalpia, sendo os sistemas geotérmicos utilizados para aquecimento e climatização. É de salientar que, em função das necessidades das estruturas a climatizar, os sistemas de energia térmica proveniente do solo variam sendo que o grande grupo de sistemas utilizados é o *Ground Energy Sistems* (GES), onde se englobam as bombas de calor geotérmico [11].

Usualmente, as BCG englobam-se nos sistemas de tipo *Ground Sistems Heat Pump* (GSHP) sendo que este grupo se divide em dois tipos distintos: *Ground Water Heat Pumps* (GWHP) e *Ground Couple Heat Pumps* (GCHP).

Estes sistemas são constituídos por três componentes principais: o circuito primário que fica em contacto com o próprio solo, o circuito secundário que está sempre no interior do edifício e, por fim, a bomba de calor que é composta por um evaporador, um compressor e um condensador e faz a ligação entre o circuito principal e o circuito secundário.

Para além dos sistemas anteriores, existem ainda um tipo de sistema que capta a energia térmica em profundidade que se denomina de *Ground Heat Exchanger* (GHE) [11].

Em Portugal são utilizados os sistemas geotérmicos superficiais. Estes podem atingir profundidades até 150 metros e onde o calor é retirado através dos sistemas já referidos anteriormente [12].

Os sistemas geotérmicos possuem diversas disposições consoante a sua fonte de aplicação, podendo ser divididos em dois grandes grupos: os sistemas geotérmicos abertos e os sistemas geotérmicos fechados.

2.1.1. Sistemas Geotérmicos Abertos

Os sistemas geotérmicos abertos dividem-se em dois grupos básicos, onde cada grupo possui disposições e configurações diferentes [11].

Primeiramente, o grupo dos sistemas geotérmicos convencionais abertos (ou *Convencional Open Loop Systems* – COL) onde é possível a sua utilização consoante a forma de captação da água presente no aquífero. Existem duas formas possíveis de utilização do sistema COL, sendo que uma delas o sistema possui a necessidade de, através de poços de captação de água, utilizar essa água presente nos aquíferos subterrâneos que, posteriormente, não é devolvida ao aquífero. A segunda forma de utilização dos sistemas COL necessita obrigatoriamente da realização de dois furos, uma vez que a água é captada através do furo de captação, onde entra e é conduzida pelo sistema sofrendo as trocas energéticas sendo reintroduzida no aquífero através do furo de injeção no final do processo [11].

O segundo grupo de sistemas geotérmicos abertos existentes denomina-se por *Standing Column* (SC) que funciona com base no sistema com reintrodução de água no aquífero, no entanto, cerca de

10% da água utilizada é descarregada na superfície e os restantes 90% são reintroduzidos de novo no aquífero numa zona mais superficial do furo de captação, mantendo-se assim a afluência de água numa zona mais profunda do aquífero de forma a que a temperatura da água introduzida não interfira com o mesmo [11].

Existem, no entanto, alguns autores onde a opinião diverge um pouco da informação descrita anteriormente. Alguns autores defendem a existência de três tipos de sistemas abertos distintos (sistemas onde se utilizam apenas poços de captação, sistemas que utilizam poços de injeção e captação e, por último, sistemas que utilizam massas de água superficiais). Para além das diferenças já descritas, vários autores não incluem os sistemas SC no grupo dos sistemas geotérmicos abertos, sendo que os designam como sistemas mistos [11].

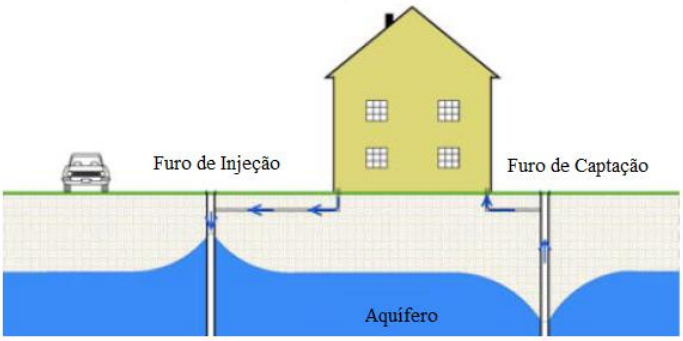


Figura 4 – Sistema com furo de captação e injeção [6]

2.1.2. Sistemas Geotérmicos Fechados

Os sistemas geotérmicos fechados, tal como os sistemas geotérmicos abertos, também possuem diversas configurações dividindo-se assim em três tipos diferentes: os sistemas geotérmicos fechados horizontais, verticais e de fundações termo ativas.

Neste tipo de sistema geotérmico não existe troca de matéria no sistema, ou seja, não existe qualquer troca entre o solo e o fluido de transporte da energia térmica verificando apenas transferência de energia [11].

2.1.2.1. Sistemas Geotérmicos Fechados Horizontais

Os sistemas geotérmicos fechados horizontais possuem sondas geotérmicas relativamente perto da superfície, normalmente a uma profundidade que varia entre os 0,5 metros e 2 metros de profundidade sendo que estas possuem diversas disposições tais como em espiral ou em laço [6].

Figura 5 – Sondas geotérmicas dispostas em espiral [13]

A construção deste tipo de sistema é bastante simples. Usualmente, as tubagens utilizadas devem possuir o devido espaçamento entre si de forma a cobrirem toda a área de solo. Para além deste aspeto, é necessário estar atento ao regime térmico do solo em questão, uma vez que tanto as variações de temperatura a superfície (sazonalidade) como as condições de pluviosidade do local podem interferir com a obtenção de calor pelo sistema [11] [14].

Figura 6 – Sistema Geotérmico Fechado Horizontal [6]

2.1.2.2. Sistemas Geotérmicos Fechados Verticais

Os sistemas geotérmicos fechados verticais caracterizam-se por perfurações verticais que podem ir de, aproximadamente, 80 metros até aos 200 metros com a existência de sondas geotérmicas no seu interior [6].

Neste tipo de sistema geotérmico verificam-se dois aspetos importantes. Primeiramente, o bom contacto entre a tubagem utilizada e o meio envolvente pois é necessário garantir a existência de uma boa condução do calor captado. O preenchimento do espaço por um material com boas propriedades de condução de calor pois este fator garante uma diminuição da resistência térmica existente levando, portanto, a um aumento da eficiência do sistema. O segundo aspeto está relacionado com o preenchimento do furo, pois permite a proteção das tubagens utilizadas [11] [14].

Figura 7 – Sistema geotérmico fechado vertical [6]

2.1.2.3. Sistemas Geotérmicos Fechados de fundações termo ativas

Os sistemas geotérmicos fechados de fundações termo ativas, também designados de geoestruturas termo ativas, caracterizam-se pelo facto de as sondas geotérmicas estarem instaladas nas fundações dos edifícios ou nas próprias estruturas enterradas no subsolo, quer estas sejam estacas, aterros, paredes moldadas, ou outro sistema em contacto com o solo.

Este é um fator bastante importante no uso destes elementos em construções novas pois, ao utilizar elementos já necessários ao nível estrutural do edifício, recorre-se a este método para a climatização do próprio edifício. No entanto, apesar de ser visível as vantagens deste tipo de sistema geotérmico fechado, é preciso ter algumas preocupações na sua utilização pois é necessário garantir que a sua introdução nos elementos estruturais não irá afetar a sua capacidade de carga [11] [14].

Figura 8 – Sistema Geotérmico de Fundações Termo Ativas [6]

2.2. Funcionamento Geral dos Sistemas

Tal como é verificado através de toda a informação já descrita anteriormente, os sistemas geotérmicos utilizados para climatização dos edifícios apresentam vários tipos de disposições sendo que, em todos eles, é utilizado uma vasta rede de tubagens, quer dispostas ao longo de uma dada área do solo quer ao longo dos elementos estruturais. No entanto, todos os sistemas são constituídos por três componentes principais: o circuito primário que fica em contacto com o próprio solo, o circuito secundário que está sempre no interior do edifício e, por fim, uma bomba de calor (que, usualmente, é composta por um evaporador, um compressor e um condensador) [11].

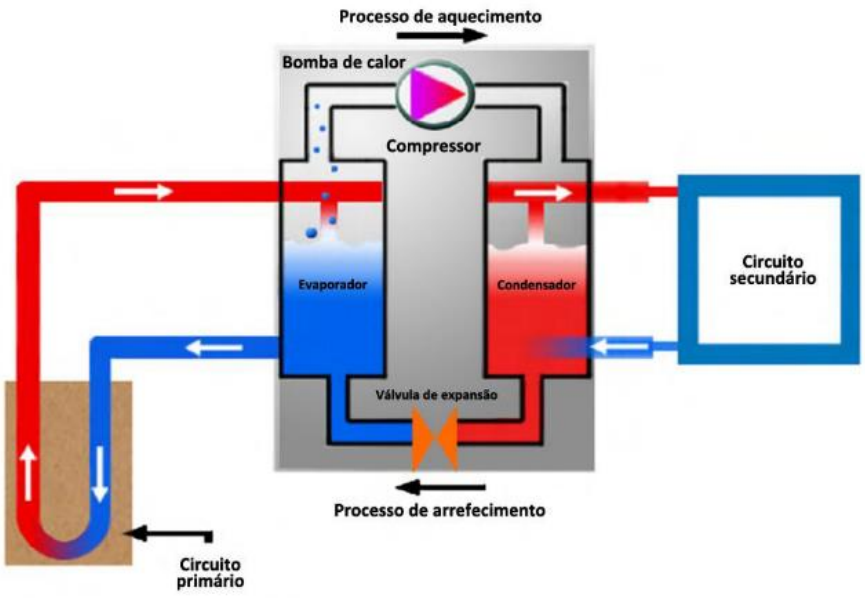


Figura 9 – Esquema do funcionamento de um sistema de bomba geotérmica [14]

O circuito primário, tal como referido anteriormente, é o circuito que fica em contacto com o próprio solo. Os principais componentes constituintes do circuito primário são os permutadores, sendo que é através destes componentes que são realizadas as trocas de energia térmica entre o solo e o sistema, sendo posteriormente transportada através do fluido que circula dentro das tubagens utilizadas.

O circuito secundário, uma vez que se encontra no interior dos edifícios, é o sistema que utiliza a energia térmica captada pelo circuito primário sendo o seu principal objetivo climatizar os edifícios. Entre o circuito primário e o circuito secundário existe a bomba de calor que é um dispositivo termodinâmico compostos por 3 componentes: um evaporador, um compressor e um condensador [14].

A principal função deste dispositivo é realizar a transferência da energia térmica captada pelo circuito primário, potenciando-a, para que possa ser utilizada no interior do edifício pelo circuito secundário [14].

É de salientar que na figura 9, se observa a indicação da existência de uma válvula de expansão. Esta válvula tem como função permitir a passagem do gás proveniente do circuito secundário, arrefecendo-o de forma a que este volte novamente ao estado líquido. Usualmente, encontra-se este dispositivo presente nas bombas de calor reversíveis [14].

Os sistemas geotérmicos têm o propósito de serem utilizados durante todo o ano, independentemente da estação do ano, sendo que durante o verão o intuito será a refrigeração e durante o inverno será o aquecimento. Durante o verão, o arrefecimento é realizado através do circuito secundário que, através da bomba de calor, envia o excesso de temperatura existente no edifício para o circuito primário realizando assim o arrefecimento pela dissipação de energia térmica. Já durante o inverno, o processo é claramente o contrário uma vez que o intuito é o aquecimento do edifício. A energia térmica captada pelo circuito primário é transmitida para o circuito secundário através da bomba de calor, sendo o edifício aquecido através na passagem do fluido transportador nas tubagens do sistema geotérmico [14].

Capítulo 3

Caso de Estudo: Edifício do Complexo de Ciências da Comunicação e Imagem

3. CASO DE ESTUDO: EDIFÍCIO DO COMPLEXO DE CIÊNCIAS DA COMUNICAÇÃO E IMAGEM

O edifício utilizado como caso de estudo para a presente dissertação foi o edifício do Complexo de Ciências da Comunicação e Imagem (CCCI), presente na Universidade de Aveiro, que se inclui no Departamento de Comunicação e Artes (DeCA). Neste terceiro capítulo abordar-se-á toda a descrição do CCCI, bem como o processo de definição geométrica tridimensional e de simulação térmica utilizando sistemas de climatização tradicionais bem como a utilização dos sistemas de climatização geotérmicos.

3.1. Descrição Geral da Envolvente do Edifício

Ao nível da localização geográfica o edifício do CCCI encontra-se na cidade de Aveiro inserido no Campus Universitário de Aveiro (figura 10), no terreno adjacente ao edifício do Departamento de Geociências e do Departamento de Comunicação e Arte (DeCA). O edifício encontra em toda a sua envolvente outros edifícios pertencentes ao campus universitário exceto a sudoeste que se verifica a existência de moradias particulares.

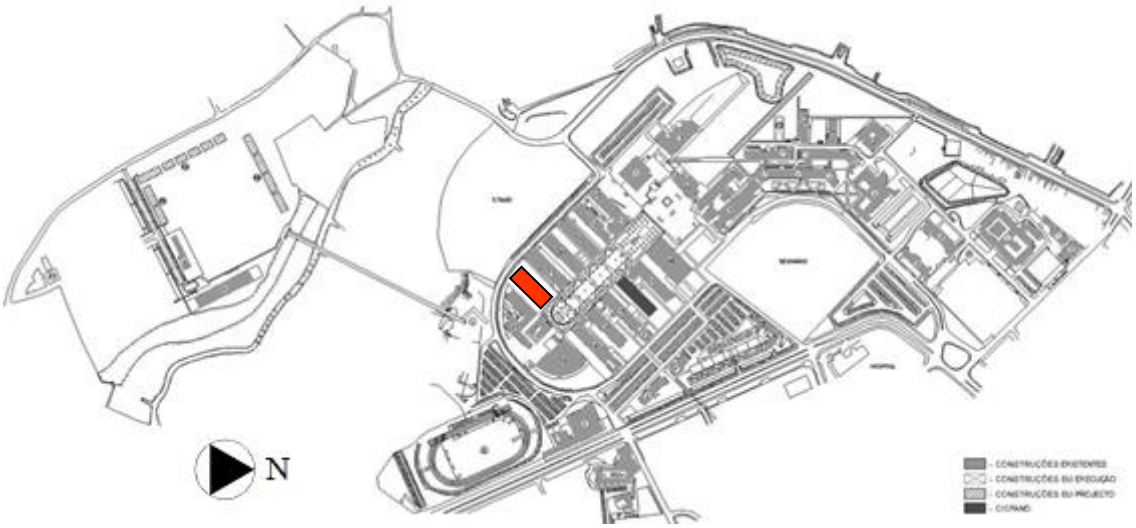


Figura 10 – Local de implantação do edifício

Em termos da localização geográfica, este terreno situa-se numa área usualmente plana, com as cotas a variarem entre os 10 metros e os 12 metros. Verifica-se ainda que o solo no local é constituído na sua maioria por areias (com grãos de vários diâmetros), com seixos e cascalho, sendo as cores

predominantes o castanho e o bege. Por outro lado, os finos encontrados centram-se em argilas siltosas de cor amarelada ou avermelhada [12] [15].

Ao nível hidrológico, verifica-se o nível freático a cerca de 2 metros de profundidade (segundo as sondagens efetuadas) sendo que sofre alguma variação na sua cota ao longo do ano [15].

3.2. Descrição Geral do Edifício

O edifício do CCCI apresenta-se no campus da Universidade de Aveiro com um corpo retangular com cerca de 80 metros de comprimento e 20 metros de largura, disposto na direção nascente/poente, criando um grande impacto visual no seu contexto sendo mantida a relação com a sua paisagem envolvente. Possui uma área útil total de 4 169 m^2, sendo o piso 0 e o piso 1 os que apresentam uma maior área útil (semelhante nos dois pisos) de aproximadamente 1 360 m^2.

Possui uma solução estrutural tipicamente utilizada pela UA neste tipo de edifícios onde a estrutura assenta num esqueleto (pilares e vigas) metálico sendo as lajes em betão e a cobertura inclinada de duas águas. Para além deste aspeto, a cobertura é realizada em chapa sandwich com isolamento térmico incorporado. No sentido longitudinal do edifício observam-se caleiras metálicas que descarregam para os tubos de queda ao longo do exterior do edifício.

Figura 11 – Vista lateral direita

Figura 12 – Vista lateral esquerda

Observando a fachada do edifício, verifica-se que esta é realizada em tijolo de face à vista, informação confirmada pela observação no local como indicam as figuras 11 e 12. Por outro lado, observando os documentos referentes ao edifício, as paredes interiores são constituídas por placas duplas de gesso cartonado com isolamento acústico incorporado entre as duas placas, sendo o revestimento utilizado tinta plástica exceto nas instalações sanitárias onde se utiliza azulejo. Observando ainda aspetos do interior do edifício, verifica-se que os tetos dos vários pisos são realizados como teto falso em placas de gesso cartonado, possuindo sempre isolamento acústico, sendo o acabamento com uma pintura de tinta plástica.

Ao nível do pavimento verifica-se, na maioria do edifício, um pavimento vinílico, também conhecido como piso de PVC, material conhecido pela sua fácil aplicação. Nas instalações sanitárias o pavimento vinílico é substituído por um pavimento formado por mosaico. Para além destes dois tipos de pavimentos, existe ainda em certas áreas, pavimento em betão com endurecedor [16] [17].

3.2.1. Compartimentação Interior

No piso da cave (figura 13) situam-se zonas técnicas e arrumos, bem como zonas de apoio ao auditório como camarins, sub-palco ou o fosso da orquestra [18].

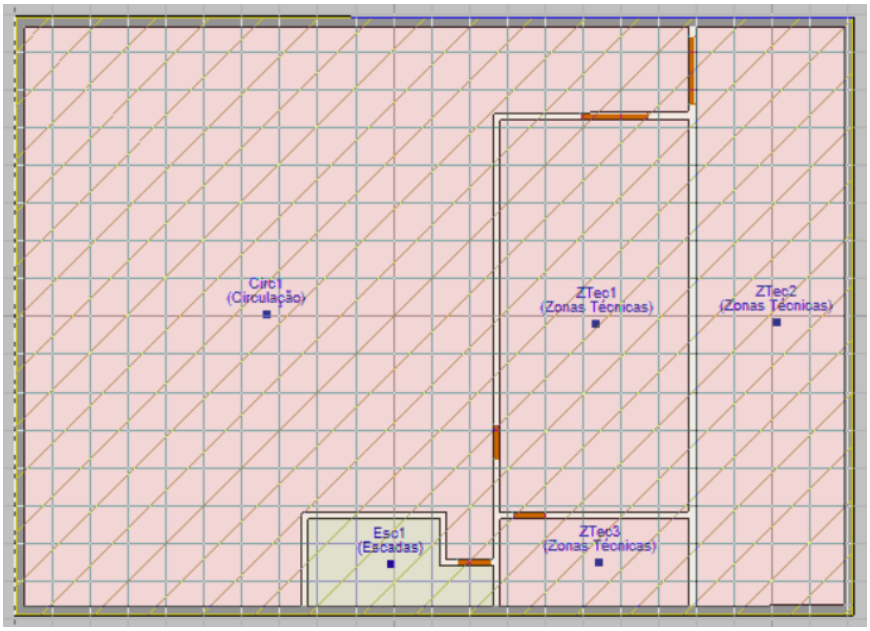


Figura 13 – Planta da Cave (Fonte: Cypetherm Eplus)

O piso do rés-do-chão (figura 14), para além do acesso ao próprio edifício possui várias salas polivalentes, como salas de aulas teórico-práticas, existindo ainda uma sala multimédia e um laboratório. Além disto, o CCCI apresenta, no seu piso 0, um acesso para cargas e descargas. Neste piso ainda é possível encontrar o auditório bem como as zonas técnicas de aquecimento, ventilação e ar condicionado (AVAC) e equipamentos elétricos.

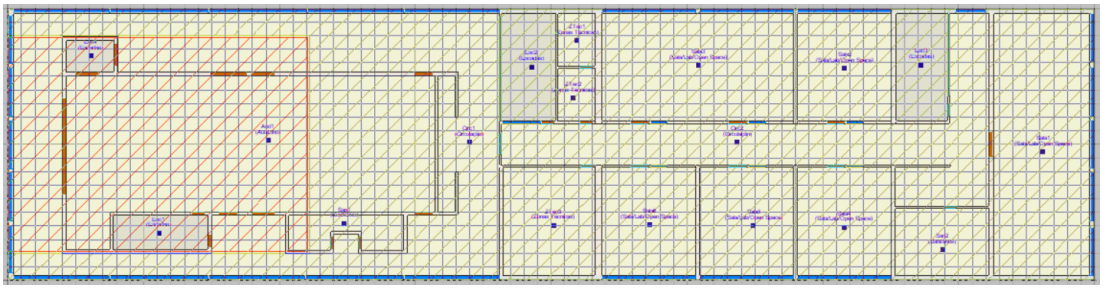


Figura 14 – Planta do Piso 0 (Fonte: Cypetherm EPlus)

Relativamente ao piso 1 (figura 15) e ao piso 2 (figura 16), ambos possuem a mesma disposição existindo salas laboratoriais, salas de computação bem como zonas de *open space*s usualmente ocupadas pelos utilizadores. Verifica-se ainda que na zona poente do edifício encontram-se áreas de trabalho de docentes e investigadores como por exemplos os gabinetes. Para além destas divisões também é possível encontrar zonas técnicas de AVAC [17] [18].

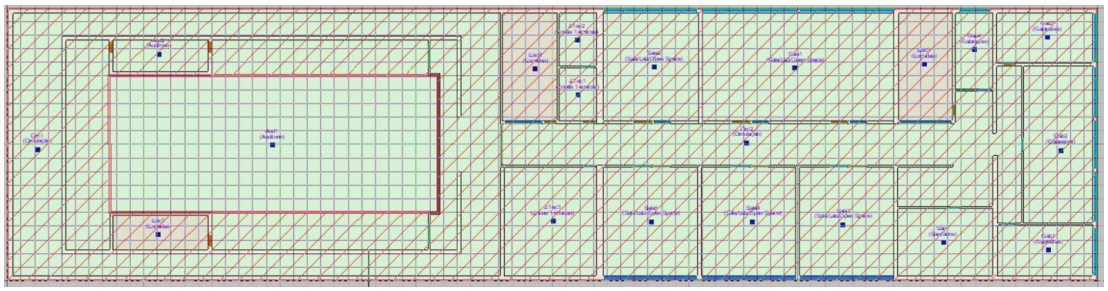


Figura 15 – Planta do Piso 1 (Fonte: Cypetherm EPlus)

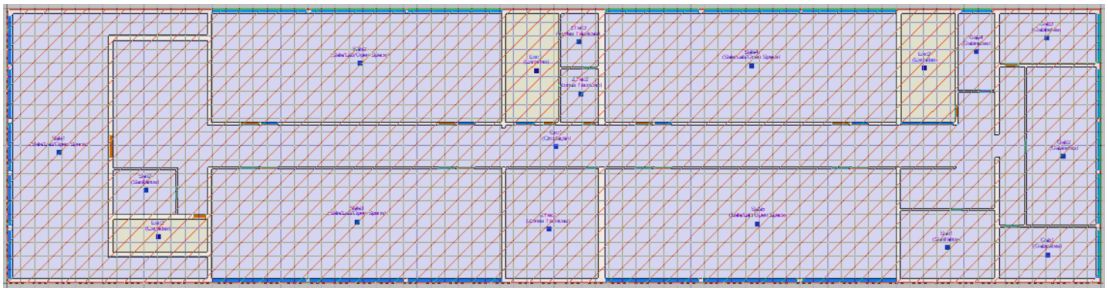


Figura 16 – Planta do Piso 2 (Fonte: Cypetherm EPlus)

3.2.2. Descrição dos Materiais Utilizados

Neste subcapítulo pretende-se abordar os materiais que compõem os elementos construtivos do edifício do CCCI, fundamentais na modelação tridimensional e análise térmica. É de salientar que esta abordagem é mais direcionada para os elementos não estruturais pois estes constituem a representatividade da envolvente térmica. Assim, serão abordados elementos como as paredes exteriores e interiores, pavimentos, envidraçados e vãos interiores e exteriores.

Primeiramente, abordam-se os elementos mais simples como as portas e os envidraçados exteriores e interiores.

Em relação às portas interiores encontradas no edifício em estudo verificam-se vários tipos de materiais e acabamentos. O mais usual é encontrar-se uma estrutura em réguas longitudinais e transversais em madeira, com o interior realizado em aglomerado de madeira em que ambas as faces apresentam uma placa de fibra de madeira sendo a orla realizada em madeira. Apresentam também acabamentos em folha de madeira natural com uma pintura em esmalte acrílico de acabamento acetinado [19].

Para além do tipo de porta descrito anteriormente, verificam-se mais dois tipos, ambos referentes a portas exteriores. O tipo mais comum é a porta em perfil quinado de chapa de aço eletrozincado com 1,5 milímetros de espessura, com painéis de chapa de aço eletrozincado de 0,8 milímetros possuindo no seu interior materiais acústicos e termo-isolantes e apresentando acabamentos em aço eletrozincado com pintura de metais [19].

Por fim, verifica-se a existência de portas com painéis compostos por uma estrutura de aço com perfis macho fêmea verticais em alumínio, com cor prateada e anodizado, de 15 microns de espessura, e selagem de borracha dupla. Apresenta ainda, de ambos os lados e fixo à estrutura, um painel de aglomerado de 16 milímetros de espessura com acabamento laminado preto [19].

No Anexo I, apresenta-se a tabela A.1, onde é possível consultar a lista dos elementos porta (P_x) bem como as suas dimensões e algumas características de cada elemento.

Aborda-se agora os envidraçados interiores, verificando-se uma semelhança em todos os elementos pois todos eles utilizam vidro laminado de 4 + 4 milímetros. Além deste aspeto, todos os elementos apresentam uma construção realizada em alumínio com um sistema de vidro exterior preso (VEP) o que significa que os vidros são previamente encaixilhados sendo, posteriormente, fixos na estrutura. A chapa de alumínio anodizado à cor do caixilho verifica-se também em todos os elementos juntamente com a chapa de revestimento e os elementos estruturais de fixação [20].

No Anexo I, apresenta-se a tabela A.2, onde é possível consultar os elementos referentes aos envidraçados interiores (Vi_x) e as suas dimensões (em metros).

Ao analisar a envolvente exterior do edifício verifica-se uma clara predominância de materiais e tipos de solução encontrados relativamente aos envidraçados exteriores. A esmagadora maioria dos envidraçados exteriores apresenta uma estrutura em alumínio, em sistema VEP, tendo isolamento térmico e acústico completo. Relativamente ao vidro, os envidraçados apresentam um vidro de 6 +6 milímetros com uma caixa de ar de 12 milímetros sendo que, no vidro exterior, verifica-se a existência de uma pelicula PVB standard de 0,38 milímetros [21].

No Anexo I, tabela A.3, é possível consultar cada elemento de envidraçado exterior (Ve_x) as suas dimensões (em metros) bem como algumas características.

Relativamente às paredes existentes verificaram-se diferentes soluções construtivas. A espessura das paredes encontradas varia consoante o seu tipo sendo, por norma, as maiores espessuras indicantes de paredes exteriores. No entanto observou-se a existência de uma parede interior que possuía uma espessura superior às paredes exteriores. As espessuras, dos vários tipos de paredes, variam entre os 15 centímetros e os 51 centímetros verificando-se a existência de coeficientes de transmissão térmica na ordem dos 0,38 $W/(m^{2}\cdot K)$.

No Anexo II, apresentam-se os modelos das paredes utilizadas para a modelação do edifício, através da figura A.1 à figura A.8, com a respetiva descrição dos materiais, espessura total da parede e coeficiente de transmissão térmica associada.

3.3. Definição Geométrica Tridimensional e Simulação Térmica

3.3.1. Definição Geométrica Tridimensional

A definição geométrica tridimensional do caso de estudo referido no subcapítulo anterior, edifício do CCCI, realizou-se através do *software CypeCAD*, através da sua ferramenta de definição geométrica *IFC Builder*.

Este é um programa gratuito fornecido pela *CYPE Ingenieros SA* que permite a criação e manutenção dos modelos IFC de edifícios, de forma integrada num fluxo de trabalho *Open BIM*. Permite introdução dos dados de forma gráfica, onde é possível utilizar a importação de ficheiros do tipo DXF e/ou DWG para a criação dos modelos tridimensionais dos edifícios obtendo-se assim uma maior otimização do tempo necessário à realização de projetos sendo possível, no entanto, modelar diretamente sem realizar a importação de ficheiros [22].

Primeiramente, ao se iniciar o projeto de modelação tridimensional do edifício, foi necessário um trabalho prévio de preparação de plantas de forma a serem utilizadas como máscaras dentro do *IFC Builder*. Nota-se que a sobreposição de *layers* dos elementos presentes nos ficheiros DWG das plantas também dificultou esta esta etapa pois tornava o ficheiro mais lento de executar.

Após a importação das máscaras criadas para o *IFC Builder*, criaram-se os planos correspondentes aos vários andares do edifício. A interface do *IFC Builder* é simples de se trabalhar, apresentando vários menus rápidos referentes à arquitetura, equipamentos, menus de edição e de resultados.

Após a criação dos vários *layers* (apenas com a espessura dos elementos) de paredes, lajes e cobertura, o processo de criação do modelo passa pela sobreposição do desenho dos elementos a modelar sobre as máscaras previamente importadas para o programa.

Finalizando a criação do modelo referente aos elementos parede, lajes e cobertura, procede-se novamente à criação dos vãos e envidraçados. O último passo realizado foi a definição dos vários compartimentos do edifício que foram definidos da seguinte forma:

- Sala / Lab / Open Space: referente a salas de aula, laboratórios e opens spaces;
- Zonas Técnicas: referentes às zonas onde se situam equipamentos acedidas apenas por pessoal autorizado;
- Escadas: referente aos vãos de escadas;
- Gabinetes: referente aos vários gabinetes existentes;

- Circulação: referente a todos os corredores existentes e zonas de circulação dos utilizadores;
- Sanitários: referentes às várias instalações sanitárias presentes nos diversos pisos;
- Auditório: referente ao auditório e zonas técnicas associadas ao auditório.

Para além dos passos já citados anteriormente definiram-se os vários edifícios adjacentes ao CCCI para recriar um modelo próximo do existente na realidade. Anteriormente já foram apresentadas as figuras 13 a 16 onde se observam as plantas dos vários pisos do edifício após a modelação tridimensional, que são agora complementadas através da figura 17 a 25, primeiramente piso a piso, e posteriormente os vários alçados do edifício do CCCI bem como uma vista com a incorporação dos edifícios adjacentes com o sombreamento de horizonte.

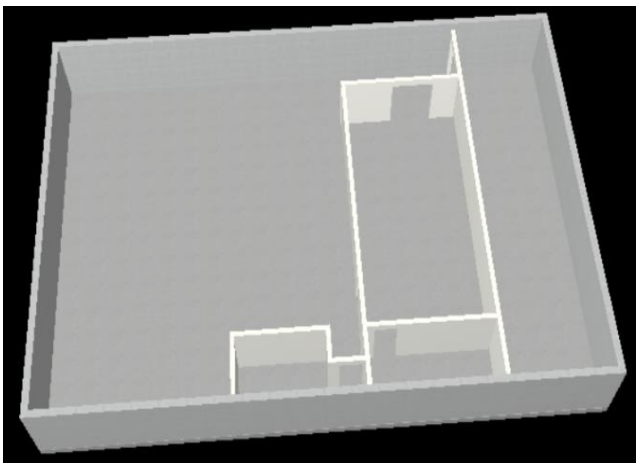


Figura 17 – Modelo 3D – Cave (Cypetherm Eplus)

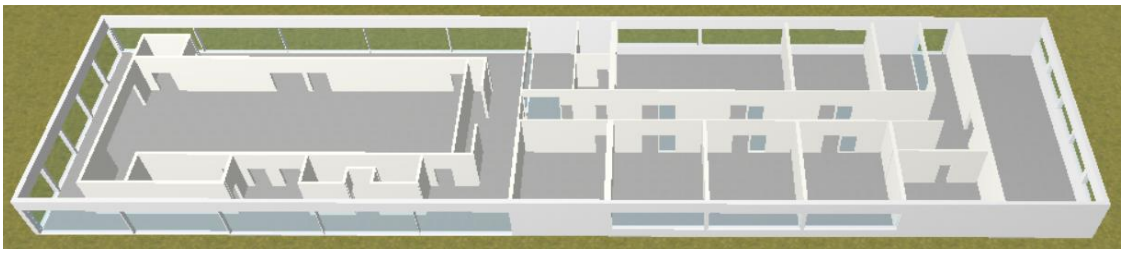


Figura 18 – Modelo 3D – Piso 0 (Fonte: Cypetherm EPlus)

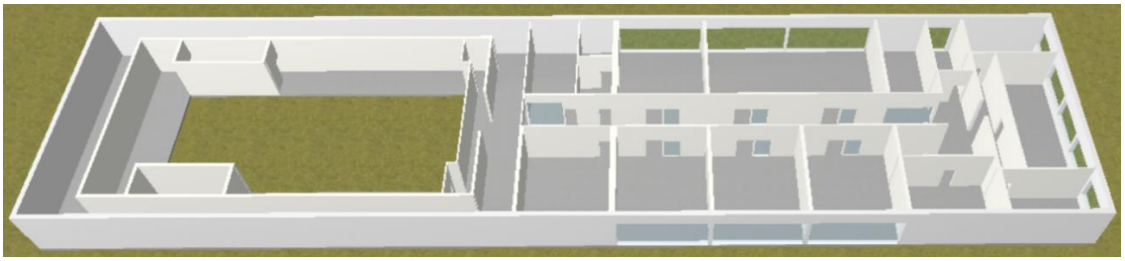


Figura 19 – Modelo 3D – Piso 1 (Fonte: Cypetherm EPlus)

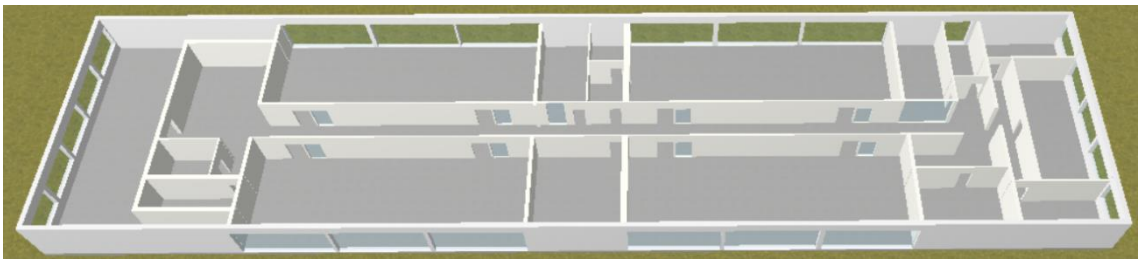


Figura 20 – Modelo 3D – Piso 2 (Fonte: Cypetherm EPlus)

Figura 21 – Alçado Frontal (Fonte: Cypetherm EPlus)

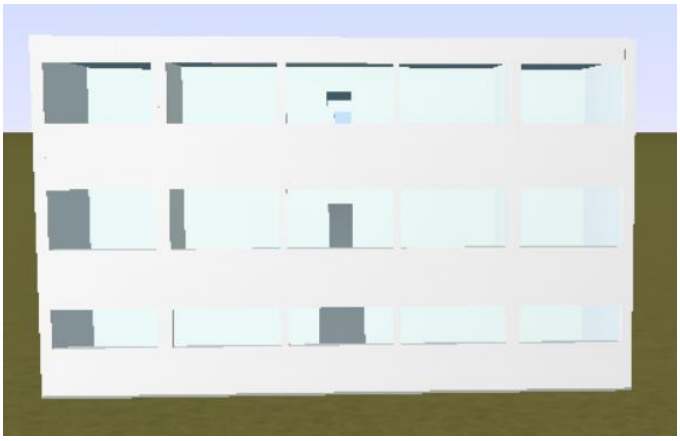


Figura 22 – Alçado Posterior (Fonte: Cypetherm EPlus)

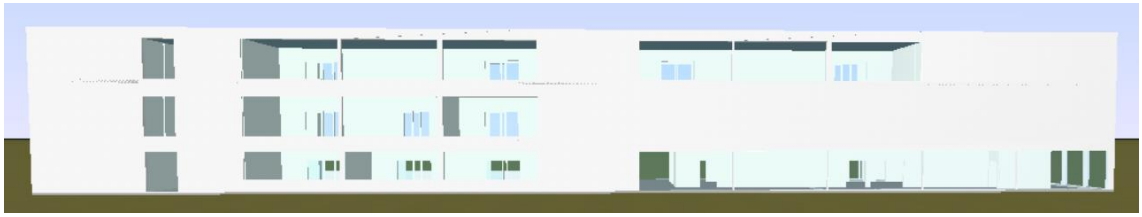


Figura 23 – Alçado Lateral Esquerdo (Fonte: Cypetherm EPlus)

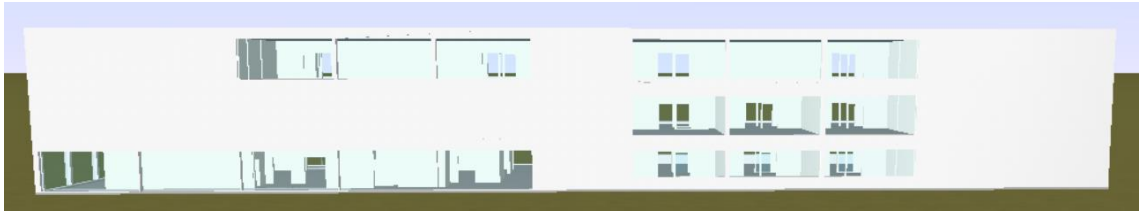


Figura 24 – Alçado Lateral Direito (Fonte: Cypetherm EPlus)

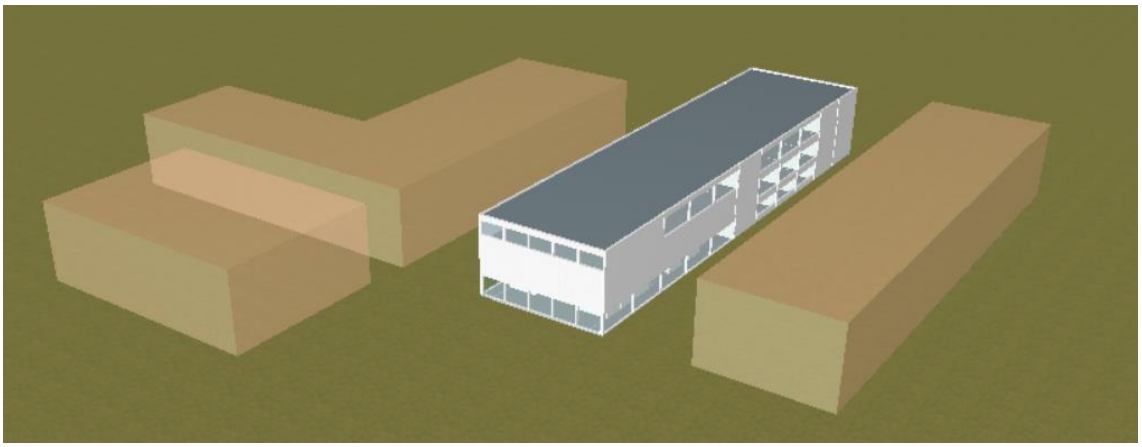


Figura 25 – Implantação do edificio com os edificios adjacentes (Fonte: Cypetherm EPlus)

3.3.2. Modelação Térmica

A modelação térmica do edifício em estudo, à semelhança da definição geométrica tridimensional, será realizada através do software *CypeCAD*, por uma das suas ferramentas de cálculo térmico denominada *CYPETHERM EPlus.* Este programa permite modelar e simular de forma energética os edifícios através do motor de cálculo *EnergyPlus*. De entre as várias potencialidades do programa salientam-se o cálculo dos coeficientes de transmissão térmica bem como cálculo das necessidades e consumos energéticos, etc [23].

Tal como na modelação tridimensional, é necessário atribuir vários parâmetros ao modelo tais como dados climáticos, definição dos vários materiais constituintes dos elementos utilizados, cálculo de pontes térmicas lineares, etc.

Para a realização da modelação térmica, iniciou-se o processo importando o ficheiro do modelo 3D realizado e apresentado no subcapítulo anterior.

O primeiro passo tomado após a importação do ficheiro IFC do modelo 3D foi a verificação da definição dos parâmetros gerais bem como a introdução do ficheiro EPW para obtenção dos dados climáticos referentes à localização do edifício.

Quanto aos dados climáticos utilizados (ficheiro EPW), utilizou-se o ficheiro criado através ficheiro *MS Excel* (versão 1.05 – retificado em 2014) proveniente do geoportal do Laboratório Nacional de Energia e Geologia (LNEG) onde se definiu a localização do edifício em Aveiro com as seguintes características:

- Altitude: 12 m;
- Orientação: 45º;
- Latitude: 40,70º;
- Longitude: -8,70º;
- Temperatura não perturbada do terreno: 18º (constante);
- Temperatura da água da rede: com uma temperatura média anual de 15º (constante).

Relativamente à temperatura exterior característica da região de Aveiro, verificou-se que a temperatura máxima diária registada de verão é de 32ºC (aproximadamente) sendo registada no final de julho e início de agosto, enquanto que durante o inverno se regista uma temperatura máxima de 22ºC durante o mês de fevereiro. Por outro lado, as temperaturas mínimas registadas situam-se na ordem dos 9ºC em junho (época de verão) e dos 2ºC registados tanto em janeiro como em dezembro (época de inverno). Relativamente à temperatura média registada em Aveiro, esta

oscila entre os valores atrás apresentados, conforme é possível verificar na figura 26 proveniente do ficheiro EPW utilizado no programa *Cypetherm EPlus.*

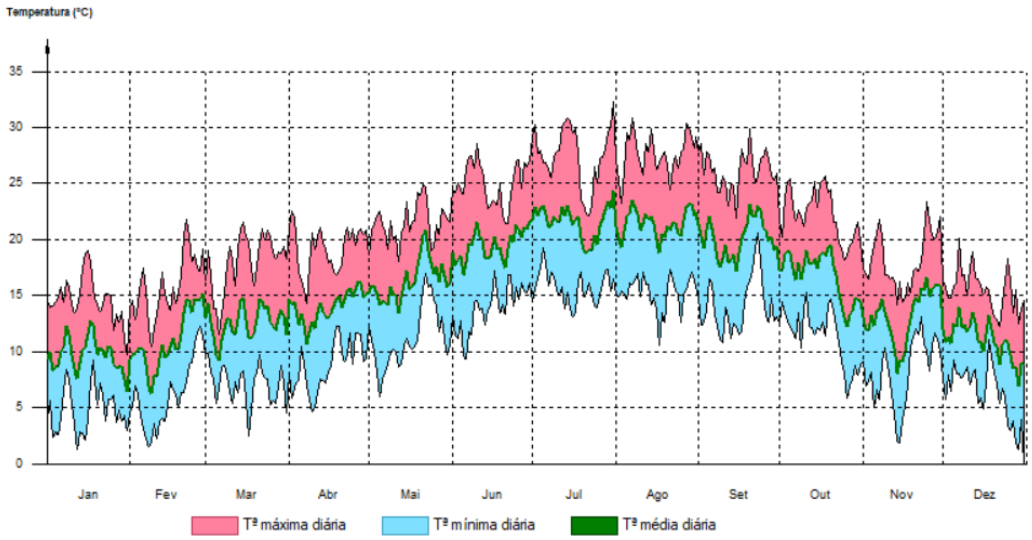


Figura 26 – Variação anual da temperatura (Fonte: Ficheiro EPW)

Relativamente à distribuição dos ventos na zona de Aveiro, verifica-se uma forte predominância pelo quadrante norte e noroeste numa percentagem de aproximadamente 60% existindo também ventos provenientes do quadrante este e sudeste. A figura 27 apresenta a distribuição do vento para a zona de Aveiro mais pormenorizadamente.

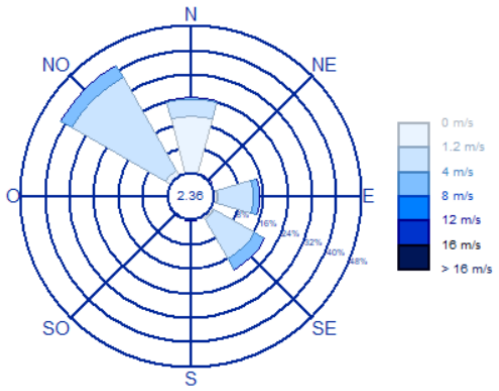


Figura 27 – Distribuição dos ventos na zona de Aveiro (Fonte: Ficheiro EPW)

Através do ficheiro EPW utilizado é ainda possível descrever a irradiação global existente no plano horizontal. Verifica-se a existência de irradiação de aproximadamente 1 000 W/m^2 durante os

meses de verão registado sempre entre as 9h00/10h00 da manhã e as 13h00 da tarde. Por outro lado, durante os meses frios os valores de irradiação registado diminui para valores na ordem dos 400 W/m^2, aproximadamente, registados no mesmo horário. Através da figura 28 é possível verificar-se a distribuição da irradiação global durante todo o ano de forma mais detalhada.

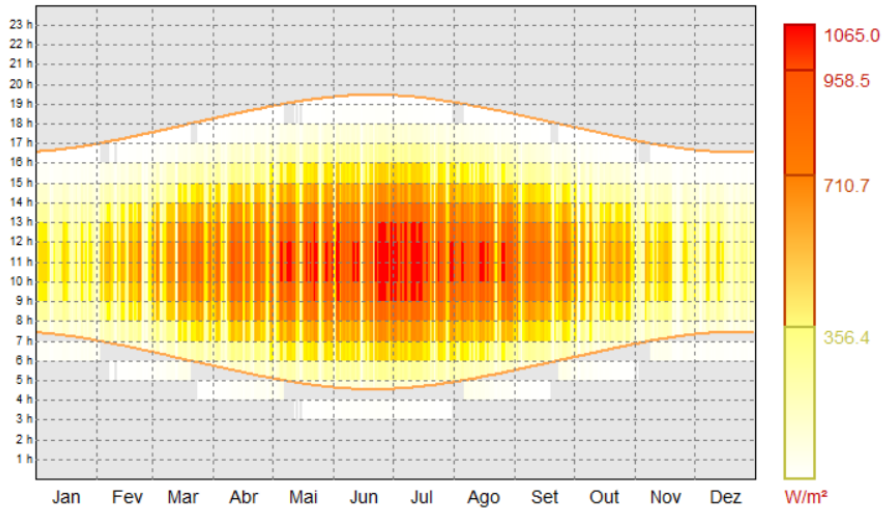


Figura 28 – Valores de irradiação global sobre o plano horizontal (Fonte: Ficheiro EPW)

Após as definições iniciais foi necessário realizar a definição do tipo dos compartimentos existentes, definindo-os numa de duas categorias: compartimentos habitáveis ou compartimentos não habitáveis. Para a categoria de compartimentos habitáveis foi necessário definir aspetos como ventilação, iluminação, ocupação, equipamentos internos existentes bem como os próprios perfis de ocupação.

Relativamente à ventilação foi necessário definir o número de renovações horárias dos espaços. Para isso, utilizou-se a biblioteca existente no programa para a sua definição. Segundo a norma ANSI/ASHRAE Standard 62.1-2013 [24], definiu-se que a ventilação para edifícios de educação, como universidades ou laboratórios, o caudal mínimo por pessoa seria 8,60 (dm^3/s)/pessoa. Uma vez que o modelo criado está simplificado e que o edifício real possui uma ligação, tanto a um bar com saída para o exterior como ao edifício mais antigo adjacente, este valor de ventilação é um valor dúbio. Assim, para se considerar um valor mais perto da realidade optou-se por majorar o valor do caudal mínimo de ventilação cerca de 3,5 vezes, definindo-se assim um valor de 30 (dm^3/s)/pessoa. Quanto à iluminação utilizou-se a norma ANSI/ASHRAE/IES Standard 90.1-2013 [25] definindo-se o tipo do edifício como escola/universidade e a categoria luminosa, considerando-se uma potência de iluminação de 9,40 W/m^2 e uma fração radiante de 0,67.

Relativamente à ocupação, tal como no aspeto relativo à ventilação, usou-se a norma ANSI/ASHRAE Standard 62.1-2013 [24] obtendo-se para um edifício do tipo universidade/laboratórios uma densidade de ocupação de 4,00 m^2/pessoa. Neste caso, verificou-se que, considerando a densidade de ocupação referida, o número de utilizadores por piso era superior a 300 utilizadores, o que por si não traduz de todo a realidade do mesmo. Assim, foi necessário corrigir este parâmetro e considerou-se um valor de densidade de ocupação de 8,00 m^2/pessoa, que reflete a utilização mais próxima da realidade do edifício. Ainda relativamente a este aspeto definiu-se um grau de atividade presente no edifício. Neste caso optou-se por considerar o edifício com uma atividade leve uma vez que se trata de um edifício escolar em que existe, na sua maioria, movimentação de alunos, tanto em aulas como a utilizar o edifício para outros fins. Além disso, considerou-se que a percentagem homem/mulher presente no edifício seria equivalente situando-se nos 50% para cada género. Assim, obteve-se um nível de atividade de 115 W/pessoa e uma fração radiante de 0,60. Por fim, definiu-se os equipamentos internos utilizados. Através da norma anterior, considerou-se que a carga dos equipamentos internos seria média, obtendo-se uma potência de cálculo de 10,80 W/m^2, uma fração radiante de 0,20 e assumiu-se que o tipo energético utilizado seria a eletricidade.

Para os compartimentos da categoria não habitáveis realizou-se também a definição da ventilação e iluminação existente. Relativamente à ventilação considerou-se um nível de estanquidade com pequenas aberturas de ventilação obtendo-se assim um valor de uma renovação horária. Quanto à iluminação existente utilizaram-se as mesmas definições de iluminação do que nos compartimentos habitáveis. Uma vez que este tipo de compartimentos são zonas de passagem (neste caso escadas) optou-se pela não utilização de equipamentos internos uma vez que o tempo que os utilizadores utilizam este compartimento é desprezável.

Um aspeto bastante importante a ser definido é o perfil de utilização dos compartimentos. Definiu-se assim um perfil de utilização do tipo laboral (segunda-feira a sexta-feira) / fim de semana (sábado e domingo) em que, no período laboral, o edifício está a ser utilizado enquanto que no período de fim de semana não existe qualquer utilização do edifício. O período de ocupação decorre desde as 07h00 da manhã até às 20h00 da noite, apresentando uma ocupação de 100% entre as 09h00 da manhã e as 18h00 da tarde. Até se atingir a ocupação máxima verifica-se um crescimento gradual de 35% (na primeira hora de utilização) e 70% (na segunda hora) e vice-versa quando se atinge as últimas horas de utilização (figura 29).

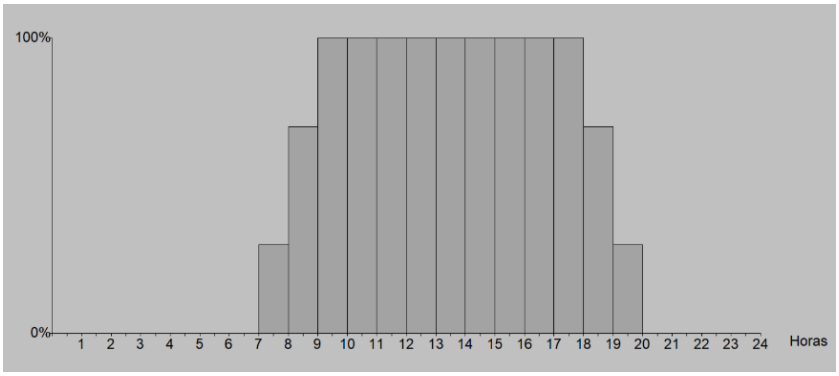


Figura 29 – Perfil de utilização adotado (Fonte: Cypetherm EPlus)

De seguida, procedeu-se a definição dos materiais constituintes das paredes, tanto exteriores como interiores. Para isso, utilizou-se a biblioteca de materiais proveniente do Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) [26] existente no *Cypetherm EPlus*, através da qual é possível realizar a caracterização dos materiais definindo a espessura dos mesmos sendo que os restantes parâmetros de cada material já se encontram pré-definidos.

De forma a terminar a caracterização dos materiais referentes ao modelo em estudo, foi necessário definir manualmente os seguintes aspetos:

- Vãos opacos: coeficiente de transmissão térmica (U = 2,10 W/(m^{2}K);
- Vãos envidraçados verticais: coeficiente de transmissão térmica – U = 1,72 W/(m^2 K) e fator solar g = 0,62.

Por fim, foi necessário definir os valores ψ para as pontes térmicas lineares. Para isso, foi utilizado o assistente de cálculo presente no *Cypetherm EPlus*. Definiu-se que para o cálculo das pontes térmicas lineares seria utilizado o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH) [27].

É de salientar que este método é simplificado e que o programa apresenta também a opção de poder definir as pontes térmicas lineares manualmente uma de cada vez.

O último aspeto geral definido no modelo térmico foi o sistema de AQS. Uma vez que o importante no estudo em questão são os sistemas de climatização utilizados (sistema tradicional *versus* sistema geotérmico), optou-se por definir um sistema de AQS genérico, movido a gás natural, apresentando um rendimento médio estacional de calor de 0,75 e uma potência nominal de 150 kW em todas as zonas do edifício.

3.3.3. Necessidades Energéticas do Edifício

As necessidades energéticas de um edifício variam consoante o número de utilizadores, os materiais que compõem os seus elementos, tipo de equipamentos utilizados e mesmo para o próprio fim a que se destina. Neste caso de estudo, o CCCI é um edifício escolar, onde na sua maioria é utilizada salas de aulas, laboratórios, gabinetes, existindo ainda um auditório.

O edifício apresenta, na sua totalidade, uma necessidade energética para aquecimento de 2,59 kWh/m$^{2.}$ano para aquecimento e de 52,55 kWh/m$^{2.}$ano para arrefecimento.

Para complementar a informação da tabela anterior, é possível verificar através da figura 30 a perda ou ganho de transmissão térmica através de variados fatores de uma forma mensal. Na análise da figura 30 salienta-se que os valores positivos indicam energia fornecida e os negativos são relativos às perdas energéticas da zona de cálculo.

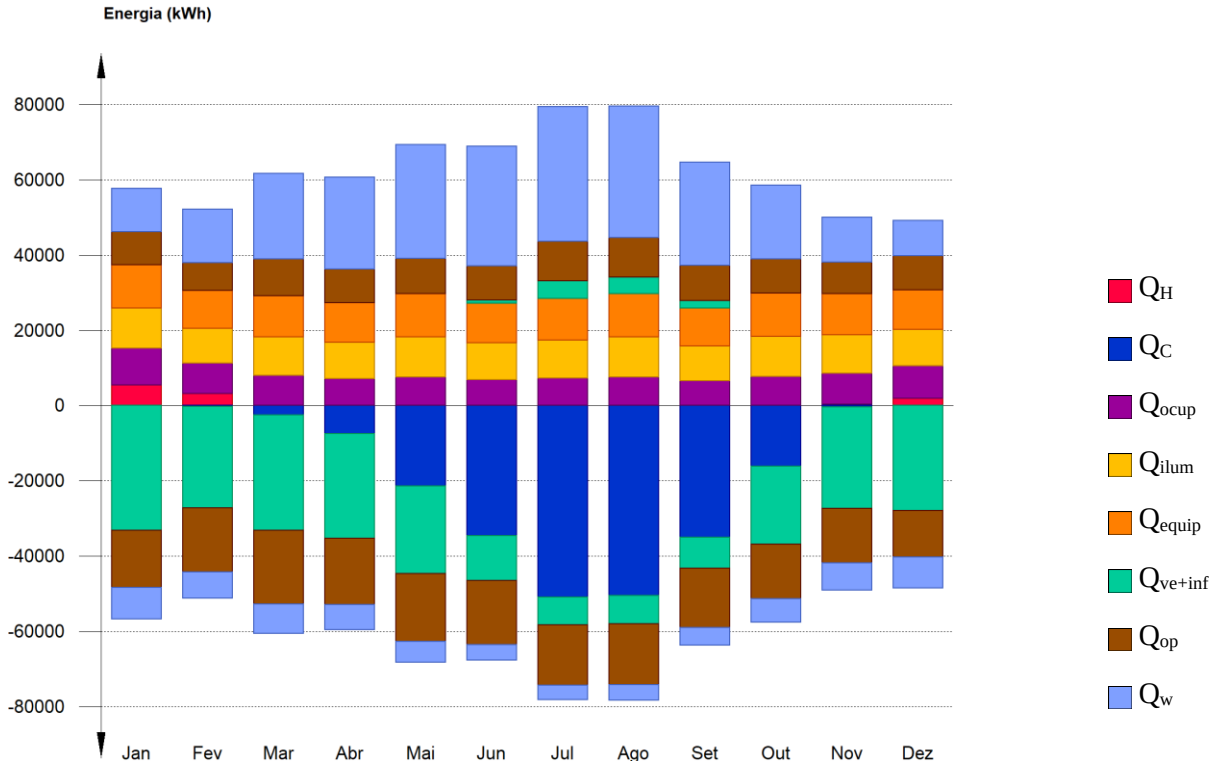


Figura 30 – Perdas e ganhos de energia através da transmissão térmica

Onde:

Q_{op}: Transferência de energia correspondente à transmissão térmica através de elementos pesados em contacto com o exterior, kWh/m²·ano.

Q_{w}: Transferência de energia correspondente à transmissão térmica através de elementos leves em contacto com o exterior, kWh/m²·ano.

Q_{ve+inf}: Transferência de energia correspondente à transmissão térmica por ventilação, kWh/m²·ano.

Q_{equip}: Transferência de energia correspondente ao ganho interno de calor devido ao equipamento interno, kWh/m²·ano.

Q_{ilum}: Transferência de energia correspondente ao ganho interno de calor devido à iluminação, kWh/m²·ano.

Q_{ocup}: Transferência de energia correspondente ao ganho interno de calor devido à ocupação, kWh/m²·ano.

Q_{H}: Energia fornecida de aquecimento, kWh/m²·ano.

Q_{C}: Energia fornecida de arrefecimento, kWh/m²·ano.

Através da figura 30, apresentado anteriormente, é possível verificar alguns aspetos sobre o edifício do CCCI e a sua necessidade energética. O edifício possui inequivocamente dois espaços de tempo em que requer energia para aquecimento e arrefecimento, sendo que se observa que em dezembro, janeiro e fevereiro é necessário fornecer energia para aquecimento do edifício apresentando valores inferiores a 10 000 kWh em cada mês referido. Por outro lado, entre março e outubro, o edifício necessita de energia para realizar o arrefecimento do mesmo, no entanto os valores necessários já são mais significativos quando comparados com os valores de energia necessária para aquecimento. Verifica-se que à medida que a época quente se inicia os valores de energia necessária para arrefecimento do edifício aumentam gradualmente atingindo o seu pico, em pleno verão, registando valores superiores a 50 000 kWh necessários, valor este que vai diminuindo a medida a que estação quente vai terminando.

Relativamente à ventilação observa-se claramente que esta possui uma função de arrefecimento durante todo o ano, apresentando valores mais elevados durante a época fria devido ao ar exterior se encontrar a uma temperatura mais baixa do que durante a época quente.
No entanto verifica-se que entre junho e setembro para além de arrefecimento, a transmissão térmica através da ventilação também realiza aquecimento pois a temperatura do ar durante o dia é elevada fazendo com que os espaços ventilados do edifício sofram um aumento de temperatura. A parcela da

transmissão térmica correspondente a arrefecimento durante a época quente acontecerá durante a noite quando a temperatura exterior é mais baixa.

Quando se observa a transmissão térmica através da ocupação dos espaços verifica-se, tal como esperado, que esta mantém um valor constante ao longo de todo o ano (uma vez que não se definiu qualquer período de interrupção de utilização do edifício exceto fins de semana) e que funciona apenas para aquecimento. O mesmo se observa quando se aborda a transmissão térmica devido aos sistemas de iluminação e aos equipamentos internos.

A transmissão térmica devido aos elementos pesados (divisórias das respetivas zonas) e leves (vãos e envidraçados) do edifício verifica-se praticamente constante durante todo o ano, apresentando tanto valores para arrefecimento como para aquecimento. Relativamente à transferência de energia para aquecimento verifica-se que os elementos pesados em contacto com o exterior apresentam um valor constante durante todo o ano enquanto que os elementos leves apresentam valores mais elevados entre maio e setembro (época quente). Quanto à transmissão térmica referente ao arrefecimento, verifica-se que tanto para os elementos pesados como para os elementos leves em contacto com o exterior, estes apresentam valores constantes ao longo de todo o ano, sendo os valores referentes aos elementos pesados mais elevados.

É importante também, analisar a necessidade energética mensal, tanto para aquecimento como para arrefecimento, ao longo da simulação anual efetuada focando em dois aspetos que são primordiais quando se aborda o tema da necessidade energética de edifícios: as necessidades energéticas e a potência útil instantânea.

Abordando primeiramente o aspeto sobre as necessidades energéticas do CCCI, é necessário referir que o edifício foi modelado de uma forma simplificada em alguns aspetos, como por exemplo a não ativação dos elementos de sombreamento, uma vez que neste caso se obteve uma situação mais gravosa do que a existente na realidade. Através do figura 31, é possível verificar que a necessidade energética para aquecimento é bastante inferior à necessidade energética para arrefecimento. Por um lado, este aspeto pode dever-se às simplificações anteriormente referidas como também aos fatores internos do edifício como a presença diária dos utilizadores, como equipamentos, etc. Em termos da necessidade energética para aquecimento, esta centra-se na época fria (inverno) nomeadamente entre novembro e fevereiro sendo que apenas em janeiro se verifica uma necessidade um pouco superior a 5 000 kWh e que em novembro é valor é bastante residual. Pelo contrário, quando se observa a necessidade energética para arrefecimento os valores máximos atingidos são cerca de dez vezes superiores aos valores máximos registados para o aquecimento. Verifica-se a existência de uma necessidade praticamente residual nos meses de fevereiro e novembro, atingindo-se valores superiores a 50 000 kWh/mês em julho e agosto (época quente).

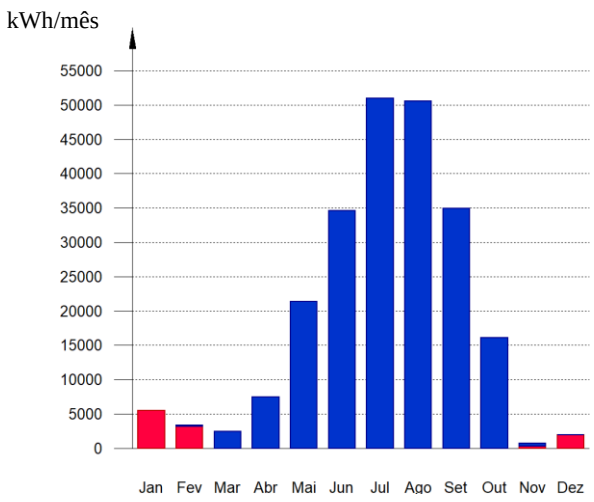


Figura 31 – Necessidade energética para aquecimento e arrefecimento (kWh/mês)

É possível obter uma relação entre a necessidade energética (figura 31) e a potência útil instantânea (figura 32): quanto maior a necessidade energética existente, maior será a potência útil instantânea para suprimir essas necessidades.

Analisando a figura 32, verifica-se que quando se refere a aquecimento do edifício as potências não ultrapassam os 100 kW com a exceção de alguns dias pontuais em que se verifica um aumento da potência sendo que nunca é ultrapassado o valor de 150 kW. Por outro lado, relativamente ao arrefecimento, as potências úteis aumentam gradualmente entre março e junho, 100 kW até aproximadamente 225 kW, atingindo o seu pico entre julho e setembro onde se observam valores que chegam a atingir os 300 kW. Com o término da época quente, já durante o mês de outubro, volta-se a valores de potência útil mais baixos verificando cerca de 150 kW, observando-se uma diminuição gradual à medida que se começa a entrar novamente na época fria.

Complementando a informação anterior e analisando a figura 32, verifica-se ainda a existência de potências úteis instantâneas para arrefecimento nos meses de fevereiro e novembro, na ordem dos 25 kW que se podem dever a registos de temperatura provenientes do ficheiro EPW utilizado e da informação contida no mesmo.

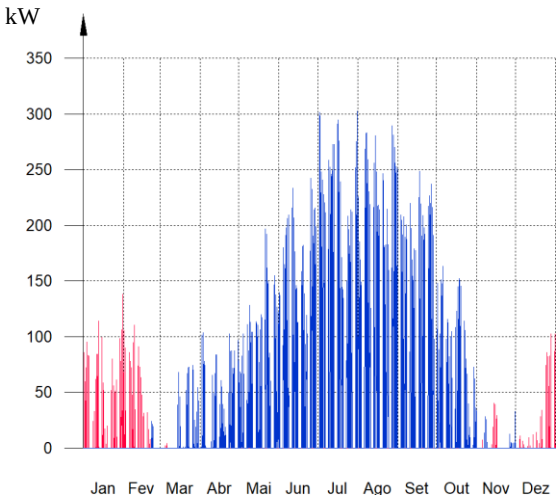


Figura 32 – Potência útil instantânea mensal (kW)

Por último, é importante analisar a evolução da temperatura operativa interior (temperatura registada, normalmente uniforme, num compartimento preto imaginário, no qual o utilizador troca as mesmas quantidades de calor do que no ambiente considerado [28] [29]) das zonas modeladas bem como as temperaturas mínimas, médias e máximas em cada zona do edifício. De uma forma mais simples é possível considerar este valor de temperatura operativa como a temperatura existente numa determinada zona do edifício caso o edifício fosse desprovido de qualquer utilização ou sistema de climatização.

Através das figuras 33 a 36 consegue-se ter uma visão mensal, analisando ao longo do ano a diferença entre as diferentes temperaturas já citadas.

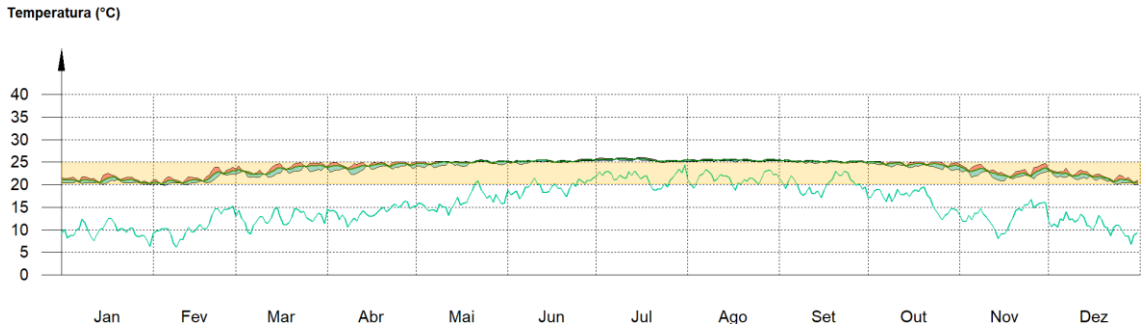


Figura 33 – Variação da temperatura operativa (Cave)

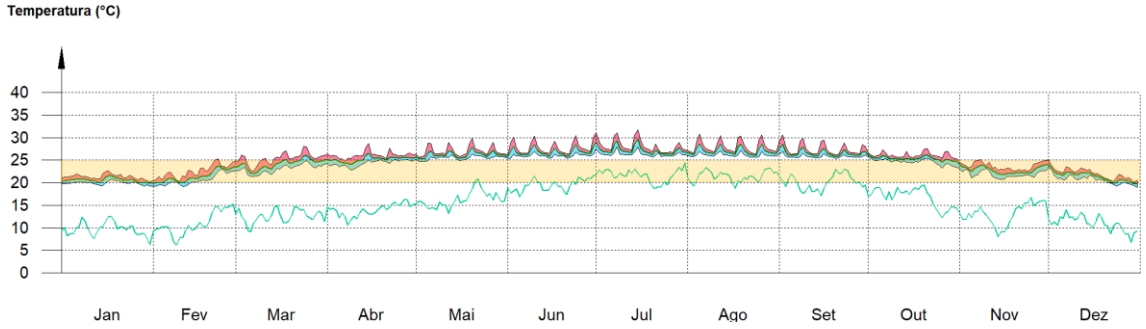


Figura 34 – Variação da temperatura operativa (Piso 0)

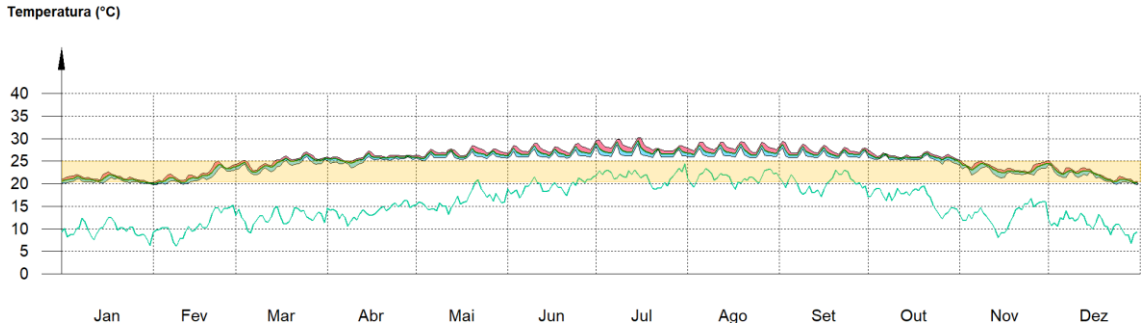


Figura 35 – Variação da temperatura operativa (Piso 1)

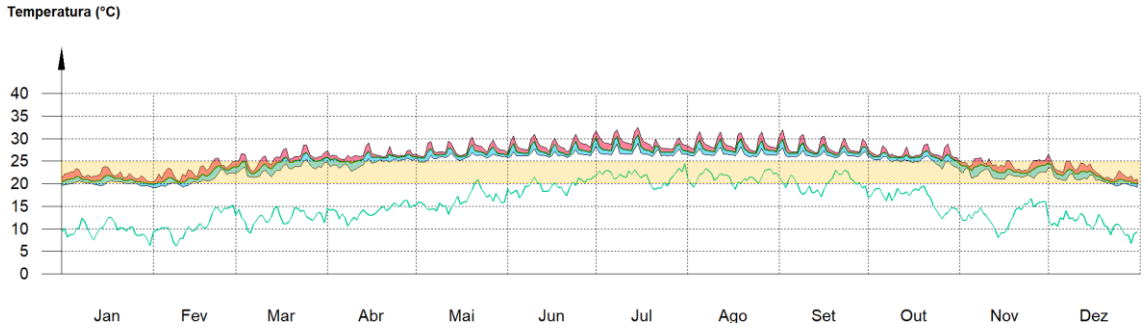


Figura 36 – Variação da temperatura operativa (Piso 2)

Temperatura máxima Temperatura média Temperatura mínima Temperatura operativa

Observando as figuras anteriores verifica-se que as temperaturas mínimas, médias e máximas referentes a cada zona do edifício, provenientes do ficheiro EPW utilizado para modelação, variam registando-se as temperaturas mais elevadas tanto no piso 0 como no piso 1. A zona com temperaturas mais constantes é a cave pois está abaixo da linha do solo. Atentando na linha referente à temperatura operativa, o edifício possuirá um maior conforto térmico por si só quanto menores forem as diferenças entre as temperaturas registadas para a temperatura operativa e as temperaturas registadas para a temperatura média. Verificou-se assim que esta diferença é inferior durante a época

quente enquanto que durante a época fria se registam maiores amplitudes. No entanto convém salientar que, relativamente às figuras 33 a 36, o problema que será mais fulcral resolver quando se definirem os sistemas de climatização a utilizar será o sobreaquecimento, principalmente durante a época de verão.

Ainda dentro do tópico sobre as necessidades energéticas, optou-se por incorporar mais uma ferramenta presente no *CypeCAD*, o *Cypetherm Loads*, onde foi possível obter as cargas térmicas para cada zona do edifício modelado. Através deste programa é possível realizar o cálculo das cargas térmicas dos edifícios através de diversas normas como a ASHRAE, a EN ISO 10456, entre outras, permitindo também gerar as pontes térmicas lineares bem como os seus coeficientes de transmissão, em função da descrição do edifício segundo a análise térmica das zonas, espaços, etc [30].

Optou-se então por realizar a análise das cargas térmicas (quantidade de calor que se adiciona ou retira a um determinado ambiente climatizado, neste caso as zonas do edifício modelado, para que consigam manter as condições de temperatura e humidade que se pretende) ao edifício em estudo através do modelo realizado previamente no *IFC Builder*. A análise foi realizada para cada zona definida, ou seja, para cada piso.

Primeiramente definiram-se vários aspetos relativos à ventilação, iluminação, ocupação e equipamentos internos encontrados em cada zona sendo que estes também já tinham sido definidos anteriormente, com a exceção dos seguintes parâmetros:

- Humidade relativa de dimensionamento em arrefecimento: 50%;
- Humidade relativa de dimensionamento em aquecimento: 30%;
- Condições de cálculo: climatizado.

Através da análise dos relatórios de carga térmica obtidos verificou-se que a maior parcela de carga térmica, em qualquer uma das zonas do edifício, corresponde a compartimentos de circulação uma vez que se assumiu que os valores de ocupação destes compartimentos seriam na mesma ordem das restantes zonas utilizadas. Na realidade, o valor da quantidade de espaço referente a cada utilizador nas zonas de circulação deveria ser superior ao dos restantes espaços de ocupação pois estes locais são de passagem rápida e não de permanência prolongada. No entanto, optou-se por utilizar um valor mais baixo por se tratar de uma medida mais gravosa, aumentando assim o número de utilizadores presentes no espaço.

Iniciando a análise da zona referente à cave verificou-se a existência da uma carga máxima de arrefecimento de, aproximadamente, 23 kW, sendo a sua maioria referente a compartimentos de circulação tal comos zonas apresentadas de seguida.

Em termos de evolução horária verificou-se que a carga máxima de arrefecimento é mais acentuada no período da tarde, entre as 15h00 e as 20h00, período em que existirá maior número de utilizadores e equipamentos internos em uso no edifício. Tal como na zona referente à cave, também nas restantes zonas do edifício se verifica a mesma situação. Relativamente à carga térmica máxima de aquecimento, na zona da cave, é um pouco superior à carga térmica para arrefecimento verificando-se uma pequena diminuição nos compartimentos referentes a zonas de circulação e, consequentemente, um aumento nos compartimentos referentes a zonas técnicas. A carga térmica máxima de aquecimento atinge valores de 34 084 W, valor superior aos 23 kW registados para a carga térmica de arrefecimento.

Ao analisar a zona relativa ao piso 0, verificou-se um aumento substancial da carga térmica associada uma vez que a área útil deste piso é também bastante superior à área útil da zona da cave. Tal como na zona anterior, também no piso 0 a carga térmica associada às zonas de circulação praticamente atinge os 50% da carga térmica total no que se refere ao arrefecimento, sendo, no entanto, de 42,4% no que se refere a aquecimento. Este facto pode ser justificado devido à área relativamente superior dos compartimentos relativos à circulação comparativamente com os restantes compartimentos. No total, obteve-se um valor de carga térmica máxima de arrefecimento de, aproximadamente, 158 kW e de 175 kW para aquecimento.

Relativamente a zona correspondente ao piso 1 verifica-se uma diminuição da carga térmica máxima de arrefecimento para 118 kW bem como uma diminuição ligeira da carga térmica máxima para aquecimento para os 166 kW.

Por fim, analisando os resultados referentes à zona correspondente ao piso 2, verificaram-se valores totais de carga máxima para arrefecimento de 153 kW e de 170 kW para aquecimento.

3.3.4. Sistemas Energéticos Tradicionais

Neste subcapítulo descreve-se a definição de alguns sistemas tradicionais tipicamente usados em edifícios deste uso e que foram usados no modelo tridimensional realizado e descrito no capítulo anterior.

Assim definiram-se dois tipos diferentes de sistemas de climatização:

- Sistema de climatização de equipamento compacto através de bomba de calor;
- Sistema de climatização de equipamento compacto através de ar condicionado.

O grande objetivo de testar os vários sistemas, quer sejam tradicionais quer seja o sistema de geotermia, é comparar quais os consumos associados a cada tipo de sistema para colmatar as necessidades existentes do modelo realizado.

Nos próximos subcapítulos abordar-se-ão todos os aspetos referentes a cada um dos tipos de sistemas utilizados, bem como valores de consumo associados.

3.3.4.1. Equipamento Compacto de Ar Condicionado

O primeiro sistema de climatização testado foi um sistema de equipamento compacto de ar condicionado (sistema AC) completamente elétrico. Em cada zona do modelo realizado definiram-se unidades deste tipo de equipamento que será responsável pela climatização da zona associada.

Na definição dos aspetos referentes a cada unidade estas serão todas semelhantes apresentando para aquecimento uma bateria de calor através de eletricidade enquanto que para arrefecimento funcionará com a potência necessária ao cumprimento das necessidades do edifício modelado, onde a cada uma das unidades referidas equivale um rácio de eficiência energética (EER) de 3,50.

Para este tipo de sistema de climatização verificou-se a existência de consumos para aquecimento entre novembro e março enquanto que para arrefecimento se verificaram consumos entre os meses de fevereiro e dezembro sendo, no entanto, o valor referente a dezembro é tão diminuto que poderá ser desprezado bem como nos meses de novembro e fevereiro uma vez que os valores de consumo registados são bastante inferiores quando comparados com os restantes meses do ano em que existiu consumo de energia para arrefecimento.

Analisando os consumos de energia obtidos ao nível anual obtiveram-se os seguintes resultados:

- Aquecimento: 1,51 kWh/m$^{2.}$ano;
- Arrefecimento: 19,73 kWh/m$^{2.}$ano;
- Consumos Energéticos Totais: 21,24 kWh/m$^{2.}$ano.

Tal como referido anteriormente, o modelo realizado possui quatro zonas sendo cada uma referente a um dos pisos do edifício (desde cave até ao piso 2). Relativamente à zona referente à cave, que possui uma área útil de 313,26 m^2, foi possível suprimir na totalidade as necessidades existentes sendo que não existiu um único período, com o sistema de climatização em funcionamento que não se conseguisse atingir as temperaturas de *set point* definidas para aquecimento e arrefecimento de 20ºC e 25ºC, respetivamente. O mesmo sucede no piso 1, apesar de a área útil ser cerca de quatro vezes superior à área útil da cave (1 120,40 m^2). No entanto, este facto já não se verifica ao analisar tanto o piso 0 como o piso 2. Relativamente ao piso 0, que apresenta uma área útil de 1 357,72 m^2, verifica-se a existência de períodos em que o sistema de ar condicionado não consegue atingir as exigências de temperaturas de conforto definidas. Em dezembro verificou-se a existência de 06h00 em que o sistema esteve em funcionamento, mas não conseguiu manter a temperatura de *set point* da respetiva zona. O mesmo aconteceu em janeiro durante 10h00 e em fevereiro durante 12h00. Também no piso 2, que apresenta uma área útil semelhante (1 377,18 m^2), observou-se o mesmo acontecimento verificando-se em dezembro cerca de 03h00, em janeiro cerca de 05h00 e em fevereiro aproximadamente 08h00 em que o sistema não conseguiu manter a temperatura de *set point* definida. Este aspeto pode ser provocado em períodos em que se registou pouca radiação solar incidente e, uma vez que em ambos os pisos existe uma grande área de envidraçados, é possível que haja transmissão de energia térmica através dos envidraçados levando a que o sistema de ar condicionado idealizado não consiga suportar essas transmissões térmicas. Este problema não se verifica no piso 1 pois é uma zona com uma menor área de envidraçados do que os pisos referidos anteriormente e na cave não existe este problema pois é um piso subterrado em que as transmissões térmicas por radiação são nulas uma vez que a temperatura de toda a envolvente da cave se encontra constante durante todo o ano.

É importante referir qual o comportamento da temperatura no interior dos espaços uma vez que o objetivo do sistema de climatização será manter a temperatura nos valores de *set point* definidos previamente.

Relativamente à zona referente à cave, tal como referido anteriormente, verificaram-se períodos em que a temperatura definida não foi atingida, ou seja, em que o sistema de climatização não

conseguiu manter essa temperatura. Na figura 37 observa-se a distribuição da temperatura exterior como a temperatura no interior da zona e a sua distribuição ao longo do ano.

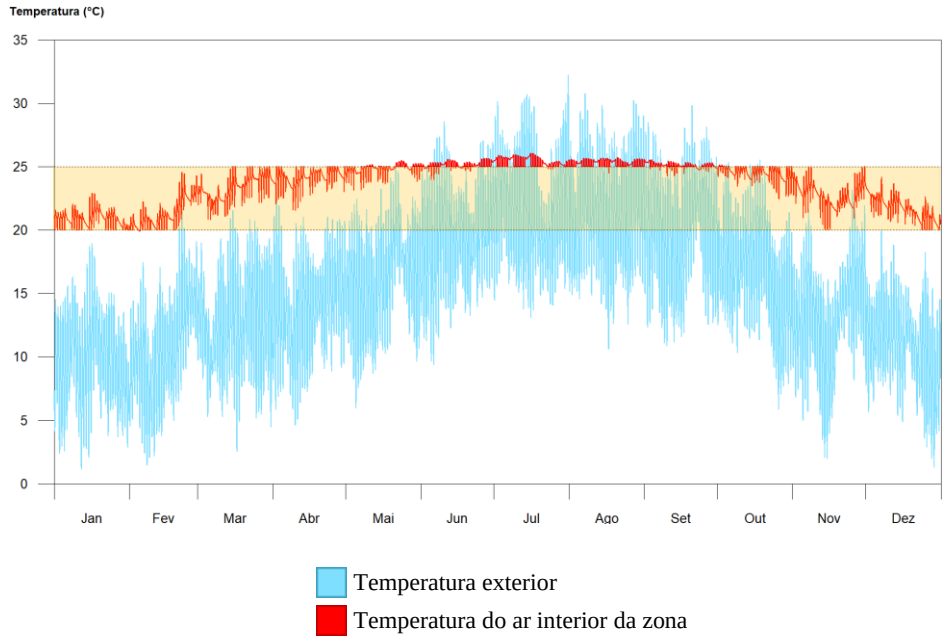


Figura 37 – Variação da temperatura de conforto (Cave) – Sistema AC

Observando a figura 37, verifica-se que a temperatura da zona ultrapassa as temperaturas de *set point* definidas, no entanto, isso não significa que o sistema definido não esteja a cumprir as exigências pretendidas. Tal como já foi referido anteriormente, o sistema de climatização possui um perfil de utilização para o qual estará em funcionamento e que coincide com o perfil de utilização do edifício, ou seja, funcionará de segunda-feira a sexta-feira enquanto que ao fim de semana estará desligado pois, uma vez que não existirão utilizadores no edifício, iria corresponder a um gasto de energia desnecessário.

Assim, ao observar atentamente, é possível verificar a existência de picos que correspondem ao período noturno (período em que o sistema de climatização não está em funcionamento) fazendo com que a temperatura aumente e diminua consoante a época do ano. Ao observar os meses correspondentes à época quente verifica-se o aspeto referido anteriormente. É possível observar claramente quando o sistema está em funcionamento pois a temperatura mantém-se nos 25ºC (uma vez que sem sistema a temperatura seria bastante superior, principalmente nos pisos seguintes) apenas aumentando no período noturno e de fim de semana, períodos estes em que o sistema não possui qualquer efeito sobre a temperatura sentida na zona pois está desligado. As figuras 38 a 40, referentes às restantes zonas do edifício, facilitam a observação da análise anterior.

A temperatura mais baixa sentida dentro da zona foi 19,90ºC durante o mês de fevereiro enquanto que a temperatura mais elevada registada foi de 26,07ºC e ocorreu em julho. Salienta-se que estas temperaturas ocorreram em período noturno ou de fim de semana uma vez que, tal como já foi referido, o sistema cumpriu na totalidade os requisitos uma vez que foram atingidas as temperaturas de *set point*.

Relativamente aos restantes pisos, os gráficos relativos a variação anual da temperatura exterior e interior da zona assumem todos o mesmo tipo, verificando-se vários picos de temperatura, especialmente durante a época quente, que correspondem a períodos em que o sistema de climatização se encontra desativado.

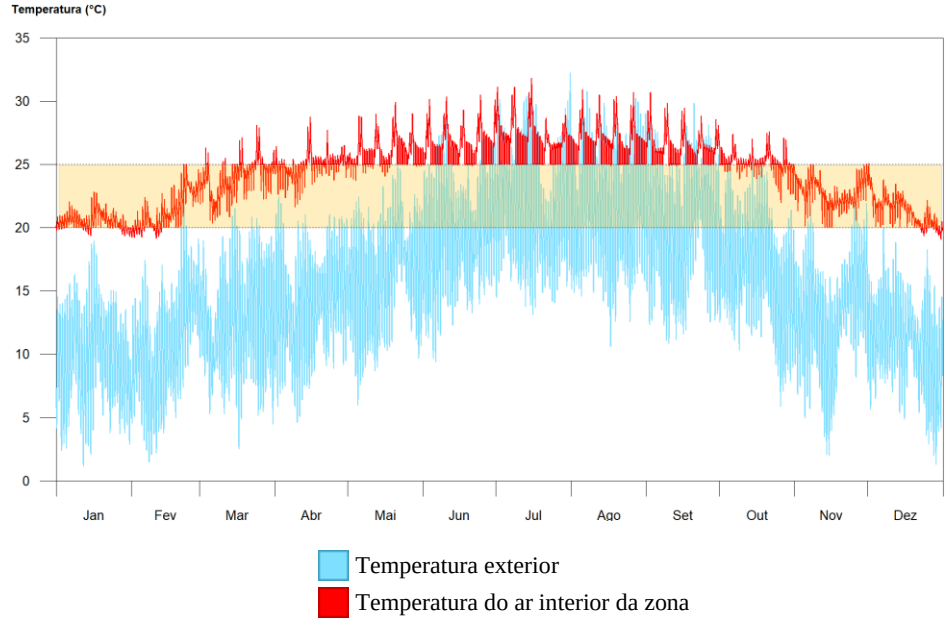


Figura 38 – Variação da temperatura de conforto (Piso 0) – Sistema AC

Através da figura 38 é possível comprovar a existência de períodos em que o sistema não conseguiu manter a temperatura de *set point* de aquecimento (já referidas anteriormente) entre dezembro e fevereiro, tal como nos restantes meses do ano também apresenta valores superior à temperatura máxima definida. A temperatura mais baixa sentida dentro da zona foi 19,05ºC durante o mês de dezembro enquanto que a temperatura mais elevada registada foi de 31,81ºC e ocorreu em julho (sendo facilmente observável pela análise da figura 38 que esta ocorre num pico de temperatura que corresponde a um período de fim de semana e que o sistema não estaria em funcionamento).

Para o piso 1, tal como já foi referido anteriormente, o sistema cumpriu na totalidade as necessidades existindo temperaturas inferiores e superiores às temperaturas de *set point* registadas em período de não funcionamento do sistema (figura 39).

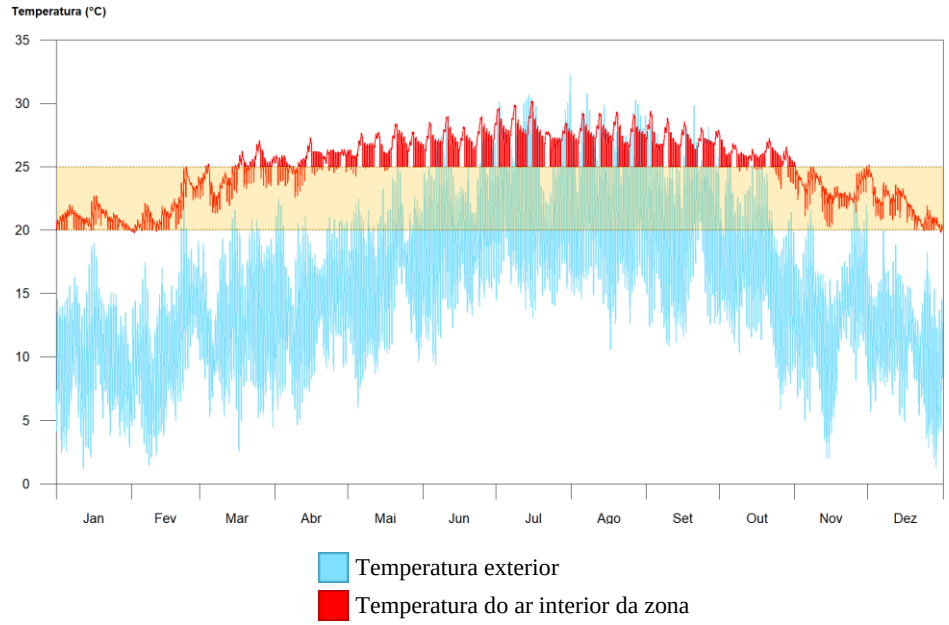


Figura 39 – Variação da temperatura de conforto (Piso 1) – Sistema AC

As temperaturas máximas e mínimas sentidas no interior da zona foram de 30,21ºC e 19,76ºC, respetivamente.

Relativamente ao piso 2, tal como referido, verificaram-se períodos em que o sistema foi ineficaz no que toca ao aquecimento, uma vez que em certos períodos as temperaturas de *set point* não foram atingidas durante o funcionamento do sistema.

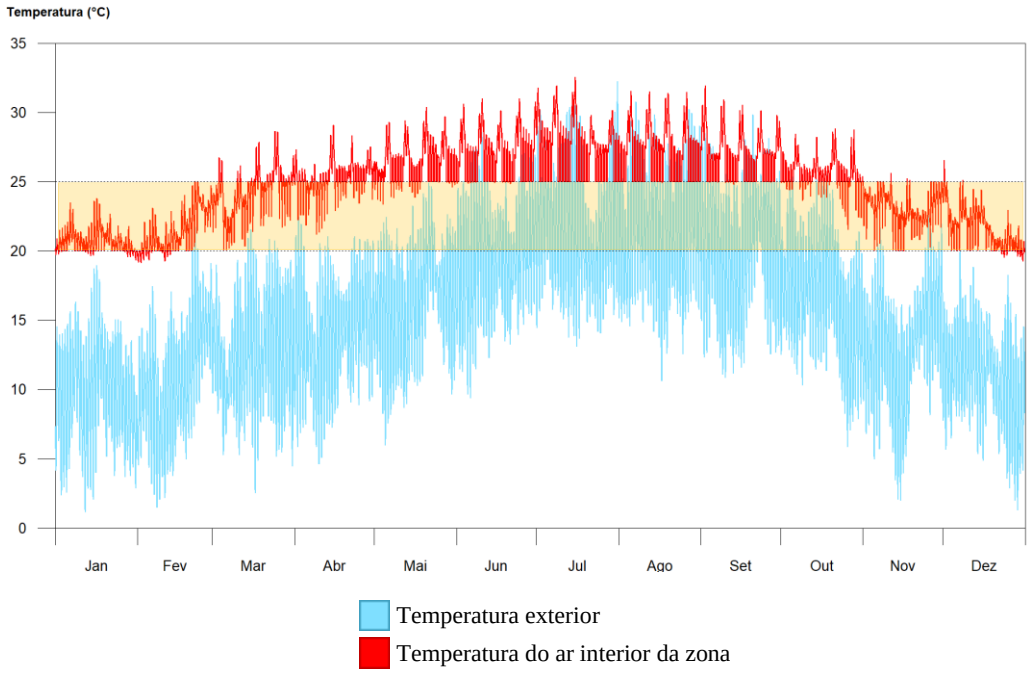


Figura 40 – Variação da temperatura de conforto (Piso 2) – Sistema AC

As temperaturas máximas e mínimas sentidas no interior da zona foram de 32,54ºC e 19,13ºC, respetivamente, mais uma vez em períodos de não funcionamento do sistema.

3.3.4.2. Equipamento Compacto de Bomba de Calor

O segundo sistema de climatização tradicional testado foi um sistema de equipamento compacto de bomba de calor. Definiram-se quatro bombas de calor para o edifício modelado sendo que cada uma delas estará inserida numa única zona do edifício. Cada um dos equipamentos de bomba de calor definido possui um EER de 2,85 e um coeficiente de desempenho (COP) de 2,50 sendo que não foi definida qualquer potência nominal associada às bombas de calor, ou seja, a potência utilizada foi a potência prevista pelo programa utilizado para o cálculo energético.

Tal como aconteceu com o sistema de climatização anterior, também ao utilizar um equipamento de bomba de calor se verifica a existência de meses com consumo de energia para aquecimento e arrefecimento, no entanto, os consumos registados para março e dezembro, referentes a aquecimento e arrefecimento respetivamente, são desprezáveis devido a estarem bastante próximos de valores nulos. Em termos de arrefecimentos verifica-se ainda nos meses de fevereiro e novembro valores bastante baixos relativamente aos sentidos nos restantes meses do ano.

Analisando os consumos de energia obtidos ao nível anual obtiveram-se os seguintes resultados:

- Aquecimento: 1,61 kWh/$m^{2.}$ano;
- Arrefecimento: 24,23 kWh/$m^{2.}$ano;
- Consumos Energéticos Totais: 25,84 kWh/$m^{2.}$ano.

Ao contrário do que sucedeu com o sistema de climatização anterior, o sistema de bomba de calor cumpriu todas as necessidades do edifício modelado, não existindo assim qualquer período em que as temperaturas de *set point* não fossem atingidas. No entanto quando se verificam os gráficos das temperaturas no interior de cada zona (figura 41 a 44) observa-se que existem períodos em que as temperaturas das várias zonas ultrapassam as temperaturas de conforto definidas, no entanto este aspeto apenas ocorre em períodos noturnos ou de fim de semana que correspondem a períodos de não funcionamento do sistema de climatização. No piso referente à cave, este aspeto apenas se verifica durante a época quente (entre maio e setembro) altura em que a temperatura do solo aumenta devido à temperatura ambiente, aumentando assim a temperatura da zona interior.

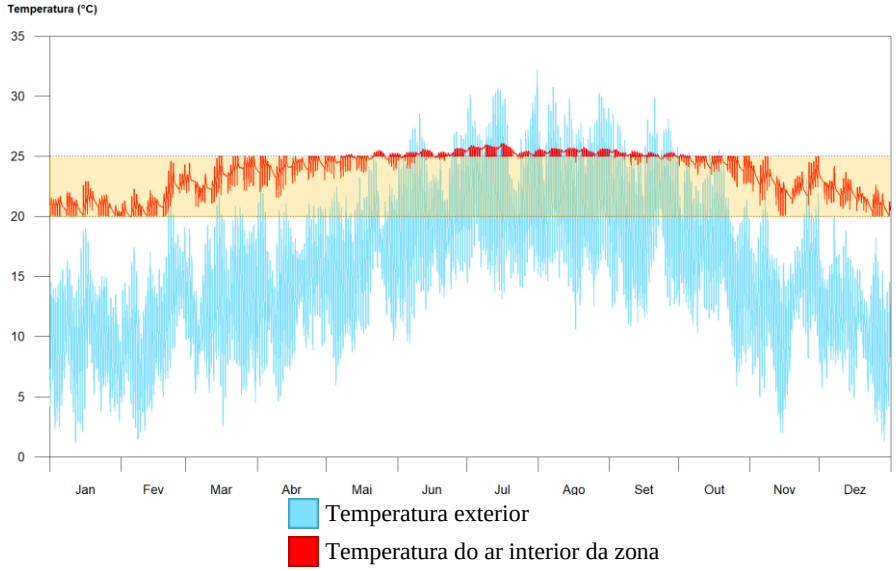


Figura 41 – Variação da temperatura de conforto (Cave) – Sistema Bomba de Calor

As temperaturas máximas e mínimas sentidas no interior da zona foram de 26,07ºC e 19,93ºC, respetivamente.

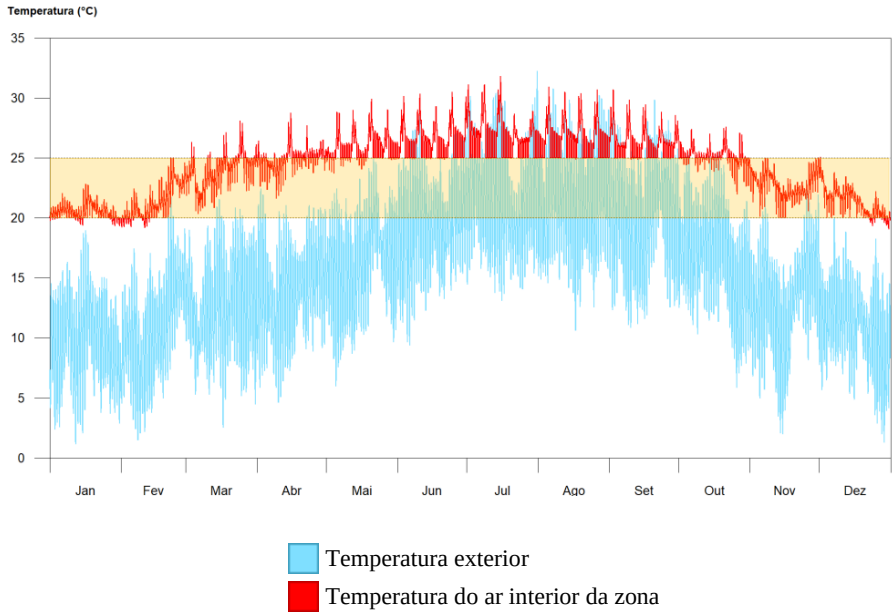


Figura 42 – Variação da temperatura de conforto (Piso 0) – Sistema Bomba de Calor

Relativamente ao piso 0 verifica-se facilmente que entre março e outubro as temperaturas máximas são ultrapassadas sendo, no entanto, cumpridas as temperaturas de *set point* definidas durante os períodos de utilização e de funcionamento do sistema de climatização.

As temperaturas máximas e mínimas sentidas no interior da zona foram de 31,81ºC e 19,05ºC, respetivamente.

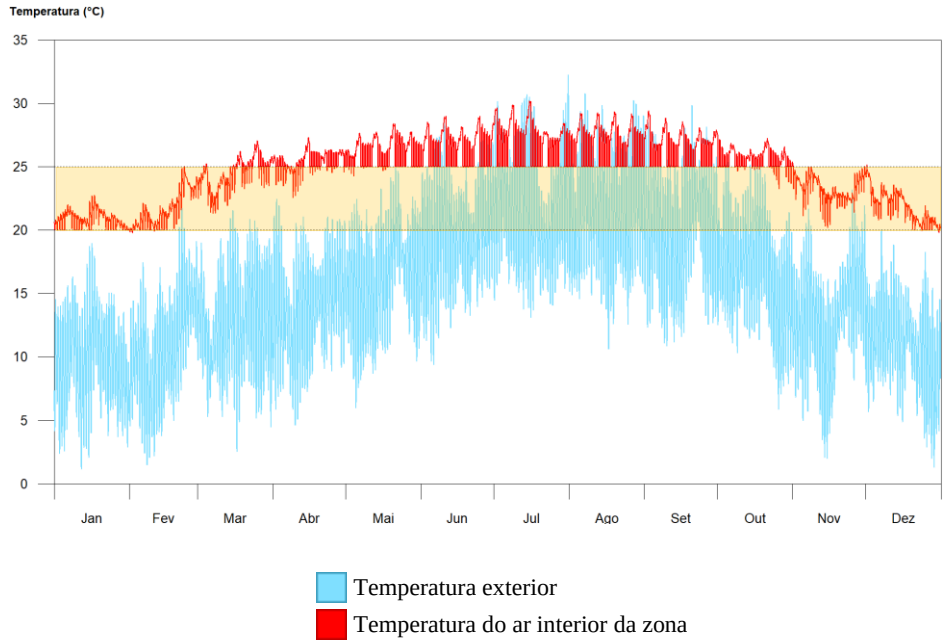


Figura 43 – Variação da temperatura de conforto (Piso 1) – Sistema Bomba de Calor

As temperaturas máximas e mínimas sentidas no interior da zona foram de 30,21ºC e 19,79ºC, respetivamente.

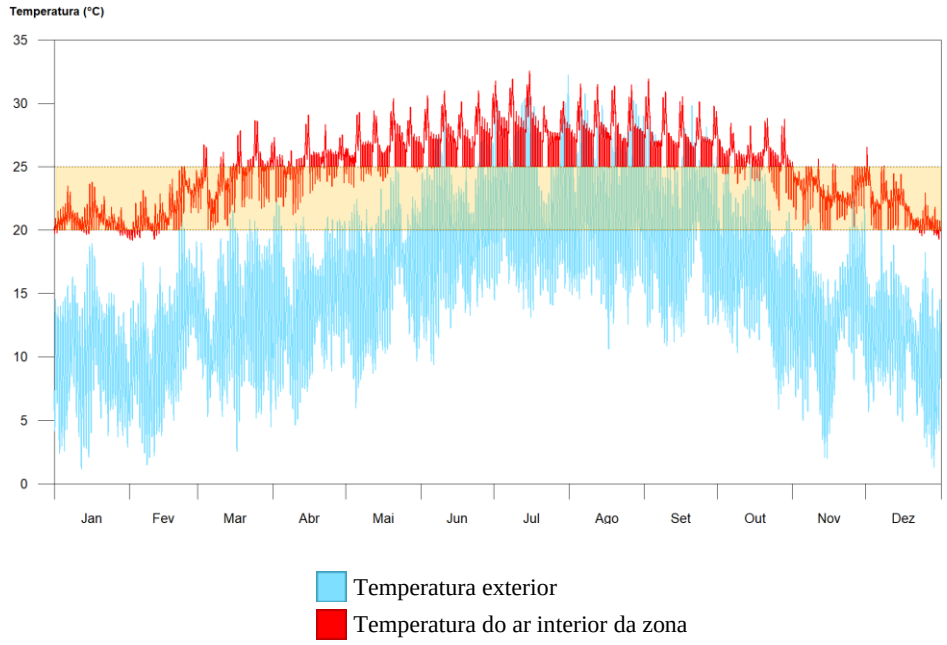


Figura 44 – Variação da temperatura de conforto (Piso 2) – Sistema Bomba de Calor

As temperaturas máximas e mínimas sentidas no interior da zona foram de 32,54ºC e 19,16ºC, respetivamente. Tal como no piso 0, também nos pisos superiores se verificou que as temperaturas de *set point* são ultrapassadas em períodos de não utilização do edifício e em que o sistema de climatização não se encontra a funcionar.

3.3.5. Sistemas Energéticos Geotérmicos

Neste subcapítulo aborda-se a solução de sistema geotérmico existente no edifício bem como todos os componentes auxiliares e a solução definida no modelo realizado através do programa *IFC Builder*.

Antes da apresentação dos resultados de consumo através do modelo realizado é necessário descrever quais os sistemas que existem na realidade no edifício em estudo. Assim a solução para climatização que se encontra adotada no CCCI conta com uma bomba de calor do tipo água/água instalada na zona da cave que possui uma potência de arrefecimento e aquecimento de 219,00 kW, um ERR de 4,20 e um COP de 3,50 [18], possuindo a função de distribuição tanto de água quente como água fria aos vários circuitos existentes.

Existe duas unidades *roof-top* situadas na cobertura que apenas funcionam para climatização das zonas do auditório e que, para além do aquecimento e arrefecimento realizado, possuem funções de renovação do ar ambiente de forma automática consoante a ocupação existente [18]. As unidades instaladas possuem uma potência total de arrefecimento de 15,60 kW e 52,30 kW enquanto que a potência de aquecimento se situa nos 9,00 kW e 45,30 kW. Para além das unidades *roof-top,* a zona dos bastidores do auditório encontra-se equipada com uma unidade *split* (só de arrefecimento) de forma a manter a temperatura interior constante a 22ºC que possui uma potência de arrefecimento total de 2,20 kW [18].

Uma vez que se trata do uso de uma bomba de calor geotérmica é necessário considerar ainda os conversores de energia térmica que são utilizados no edifício. A distribuição da água quente ou refrigerada proveniente da bomba de calor é realizada através de pavimentos radiantes (malha de tubagem instalada sob o pavimento) sendo a regulação do caudal utilizado realizado através de uma electroválvula *on/off*. Para além dos pavimentos radiantes, o edifício do CCCI conta com um conjunto de sete unidades de tratamento de ar novo (UTAN), utilizadas para ventilação, e que possuem a missão de insuflar o ar exterior e a exaustão do ar viciado interior (tabela 2).

Tabela 2 – Potências de arrefecimento e aquecimento das UTAN's instaladas no CCCI

Designação	Potência de Arrefecimento (kW)	Potência de Aquecimento (kW)
UTAN 1	11,10	9,20
UTAN 2	12,00	9,90
UTAN 3	10,90	9,00
UTAN 4	10,30	8,50
UTAN 5	13,90	11,50
UTAN 6	19,20	15,90
UTAN 7	12,00	10,00

Para além dos sistemas referidos anteriormente, o edifício do CCCI conta ainda com ventiladores de exaustão (na zona referente à cave e instalações sanitárias), ventiladores de pressurização nas caixas de escadas (em caso de sinistro) e os grupos electro bomba, tanto de caudal constante como de caudal variável [18].

Devido à complexidade da definição de todos os sistemas utilizados e incompatibilização no próprio programa de cálculo, o estudo dos consumos realizados pelo sistema de climatização geotérmico atrás descrito foi simplificado para a utilização de uma bomba de calor com valores de EER e COP mais elevados uma vez que a grande diferença entre as bombas de calor e as bombas de calor geotérmicas está na fonte utilizada para gerar a energia. Enquanto que as bombas de calor tradicionais, por norma, são do tipo ar/água, as bombas de calor geotérmica são do tipo água/água, pois é através da água proveniente dos furos geotérmicos que se obtém a energia necessária para a climatização dos edifícios. Assim, no estudo efetuado relativamente ao sistema de climatização geotérmico para o modelo realizado definiu-se um sistema de climatização do tipo bomba de calor modificando os valores associados ao EER e ao COP.

Em primeira análise, utilizou-se coeficientes EER e COP com iguais aos já apresentados anteriormente (sistema de bomba geotérmica 1). Analisando os consumos energéticos obtidos ao nível anual obtiveram-se os seguintes resultados:

- Aquecimento: 1,18 kWh/m$^{2.}$ano;
- Arrefecimento: 16,44 kWh/m$^{2.}$ano;
- Consumos Energéticos Totais: 17,62 kWh/m$^{2.}$ano;

Nas figuras 45 a 48 apresentam-se os resultados da variação anual da temperatura exterior e temperatura interior da zona em análise. Nas diversas zonas do edifício verificou-se que o sistema utilizado supriu completamente as necessidades existentes, no entanto, tal como nos sistemas analisados anteriormente, também se verifica a existência de períodos em que as temperaturas de *set point* são ultrapassadas, facto provenientes de períodos em que o sistema de climatização definido se encontra desligado e que corresponde a períodos onde não existe utilização do edifício por parte dos utilizadores.

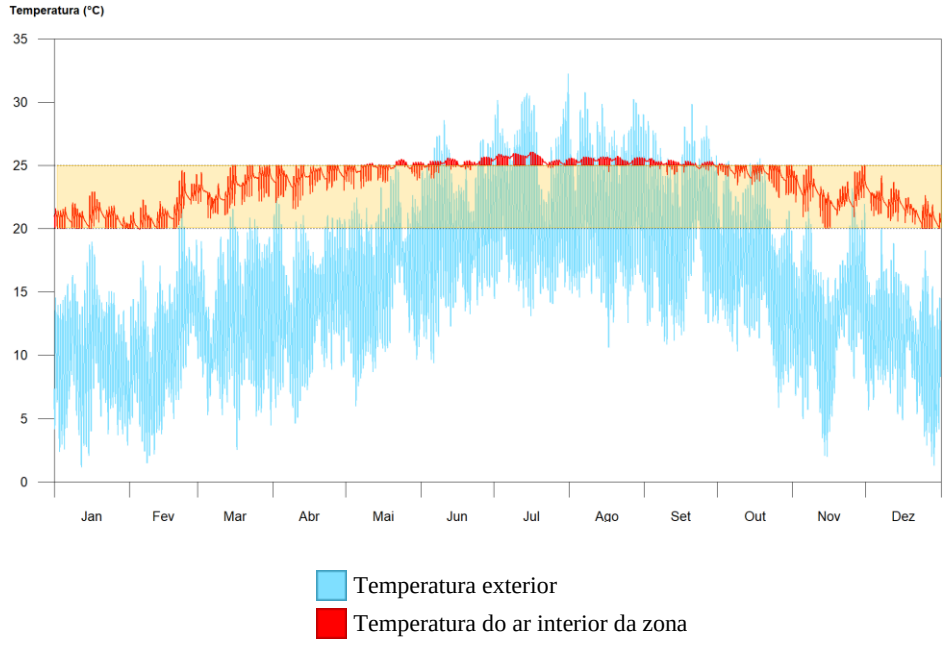


Figura 45 – Variação da temperatura de conforto (Cave) – Sistema Bomba Geotérmica 1

Na zona referente à cave observaram-se temperaturas interiores máximas de 26,07ºC e mínimas de 19,93ºC.

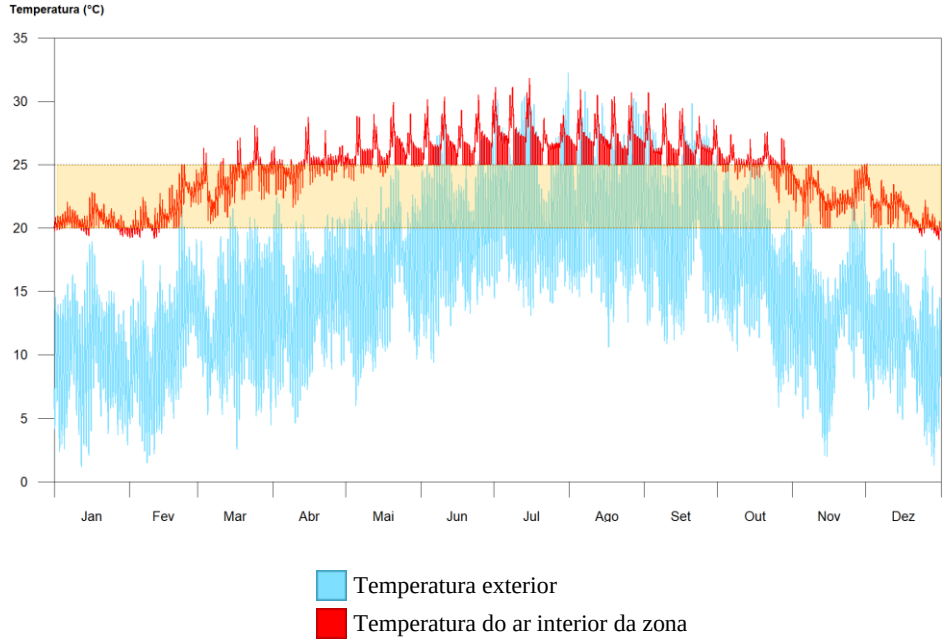


Figura 46 – Variação da temperatura de conforto (Piso 0) – Sistema Bomba Geotérmica 1

No piso 0 verificam-se temperaturas máximas do ar interior de 31,81ºC e mínimas de 19,05ºC.

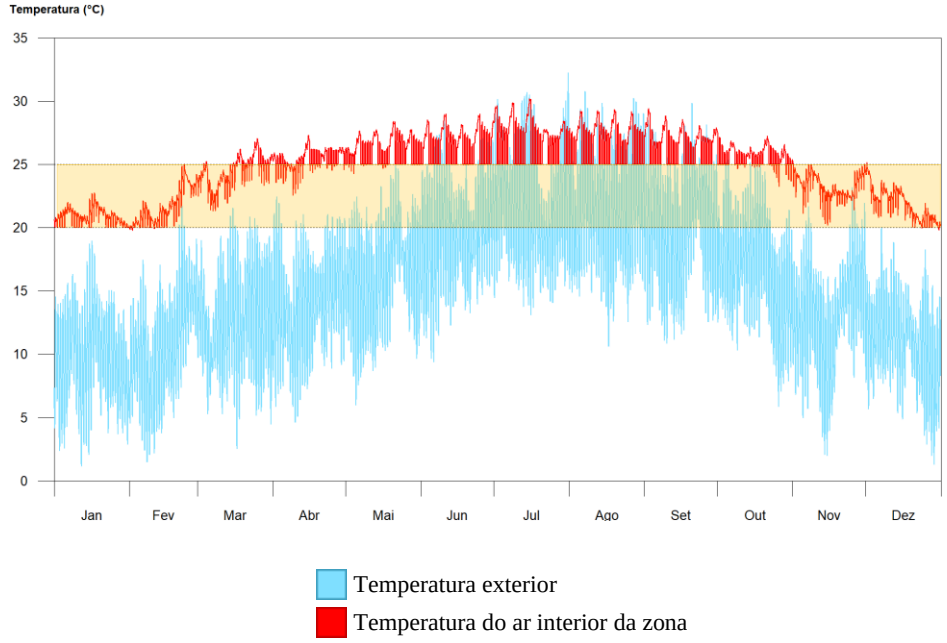


Figura 47 – Variação da temperatura de conforto (Piso 1) – Sistema Bomba Geotérmica 1

No piso 1 verificaram-se 30,21ºC e 19,79ºC de temperatura interior máxima e mínima, respetivamente.

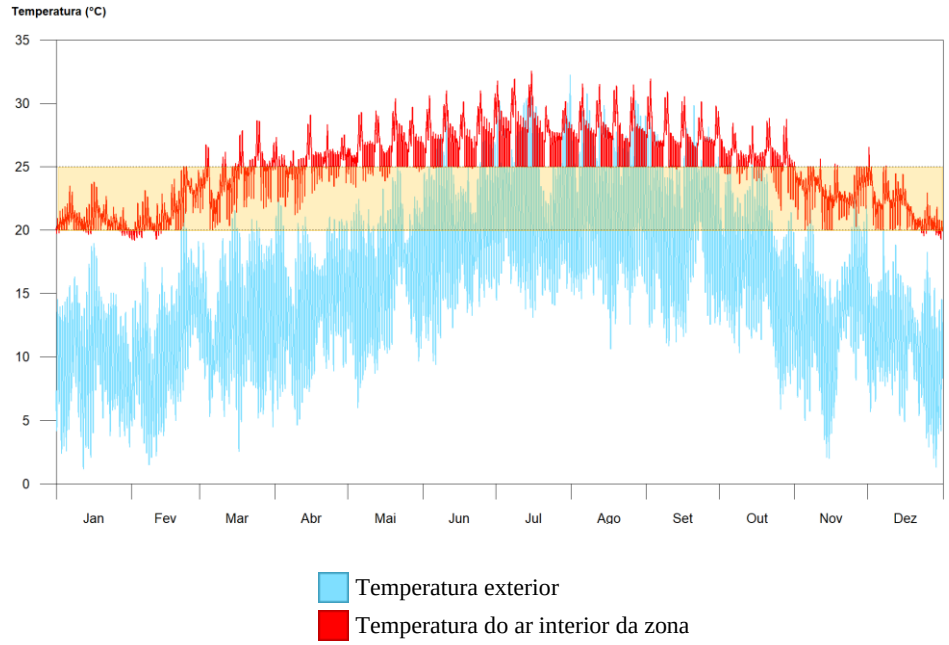


Figura 48 – Variação da temperatura de conforto (Piso 2) – Sistema Bomba Geotérmica 1

No piso 2 a temperatura máxima atingida foi de 31,93ºC e mínima de 19,16ºC.

Em segunda análise utilizaram-se valores de EER e COP iguais a 8 (sistema de bomba geotérmica 2), o que fará os consumos serem bastante inferiores aos anteriores. É de salientar que, em termos de investimento, uma bomba de calor geotérmica já representa um aumento de custo relativamente a uma bomba de calor tradicional e, quanto maior for o EER e COP associados, maior será ainda o custo da bomba.

Analisando os consumos de energia obtidos ao nível anual obtiveram-se os seguintes resultados:

- Aquecimento: 0,57 kWh/m$^{2.}$ano;
- Arrefecimento: 8,63 kWh/m$^{2.}$ano;
- Consumos Energéticos Totais: 9,20 kWh/m$^{2.}$ano.

Apresenta-se de seguida, através das figuras 49 a 52, a variação da temperatura do ar interior da zona em análise através do sistema de climatização em estudo.

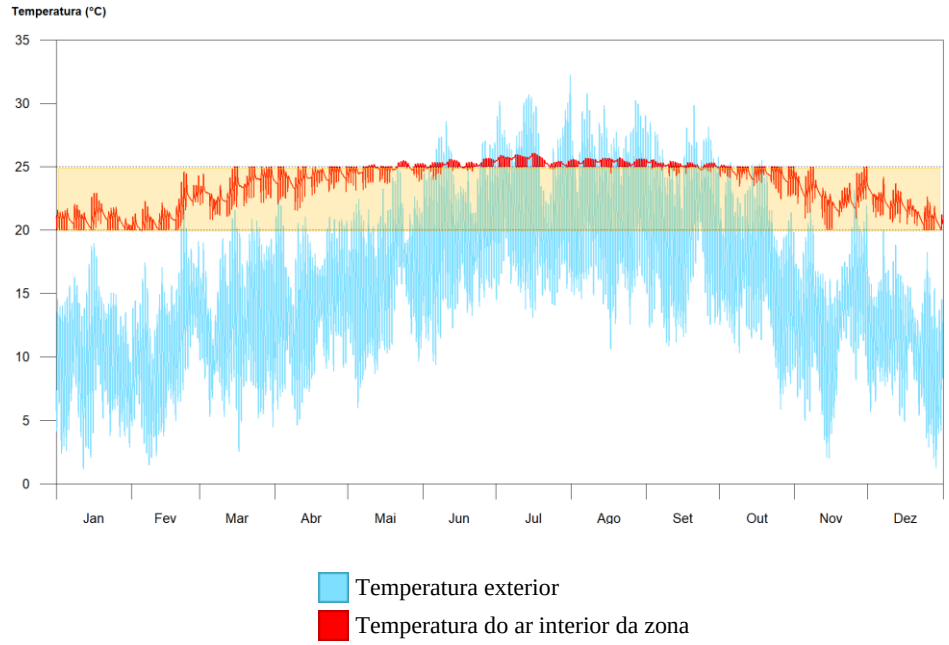


Figura 49 – Variação da temperatura de conforto (Cave) – Sistema Bomba Geotérmica 2

Na zona referente à cave observaram-se temperaturas interiores máximas de 26,07ºC e mínimas de 19,93ºC.

Tanto para os sistemas apresentados anteriormente, como neste caso, verificou-se que a temperatura máxima de *set point* foi ultrapassada, facto observável em períodos em que o sistema de climatização se encontra desligado. No entanto, este facto é possível uma vez que o edifício possui uma grande área de envidraçados a poente, o que pode provocar aumento da temperatura durante o período de fim de semana (picos existentes nas figuras apresentadas relativamente aos pisos superiores), altura em que, tal como já foi referido, o edifício não está a ser utilizado nem o sistema de climatização se encontra em funcionamento.

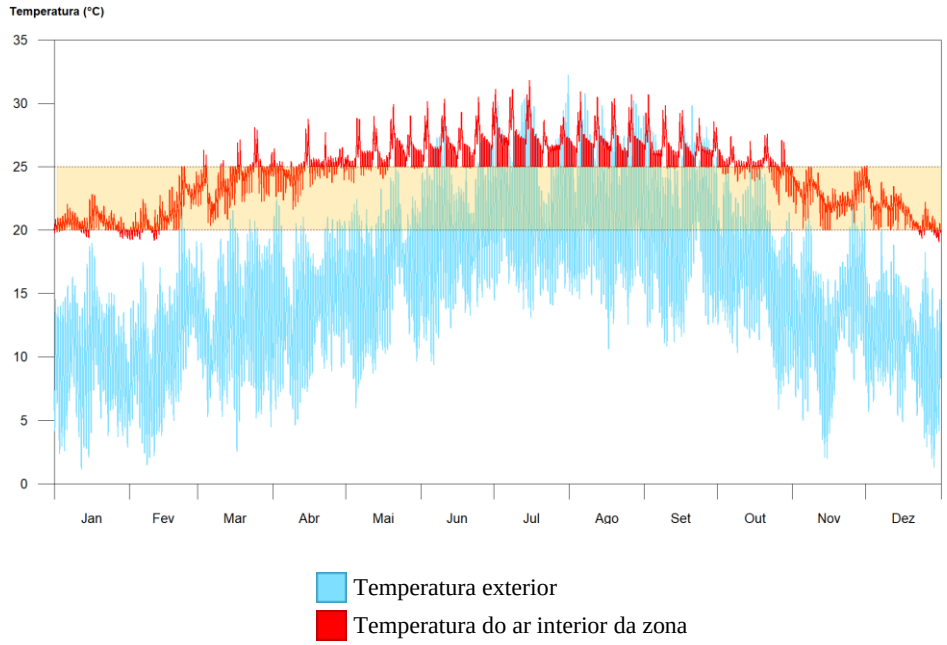


Figura 50 – Variação da temperatura de conforto (Piso 0) – Sistema Bomba Geotérmica 2

Na zona referente ao piso 0 observaram-se temperaturas interiores máximas de 31,81ºC e mínimas de 19,05ºC.

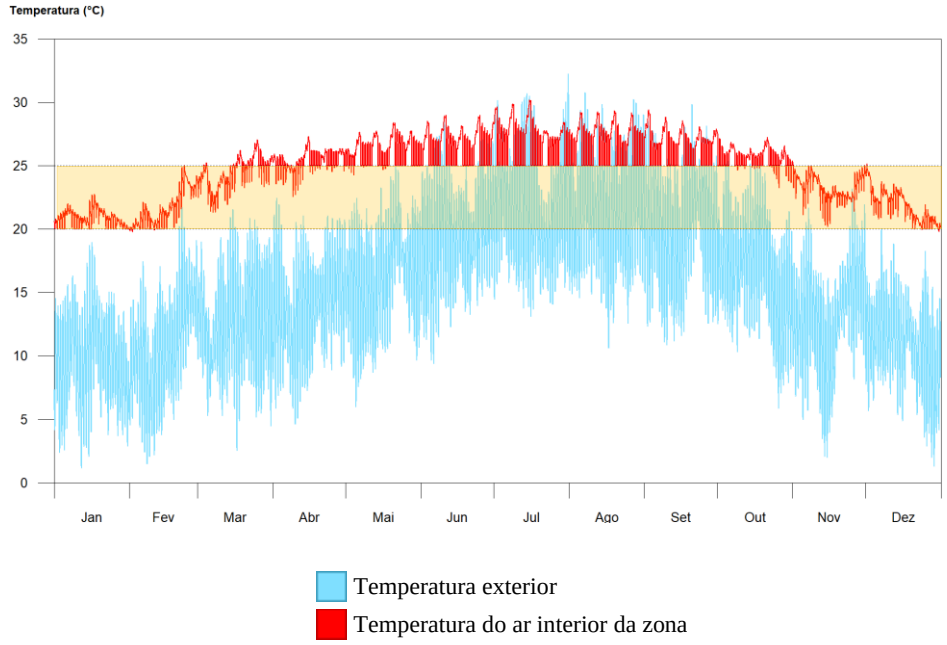


Figura 51 – Variação da temperatura de conforto (Piso 1) – Sistema Bomba Geotérmica 2

No piso 1 verificaram-se 30,21ºC e 19,79ºC de temperatura interior máxima e mínima, respetivamente.

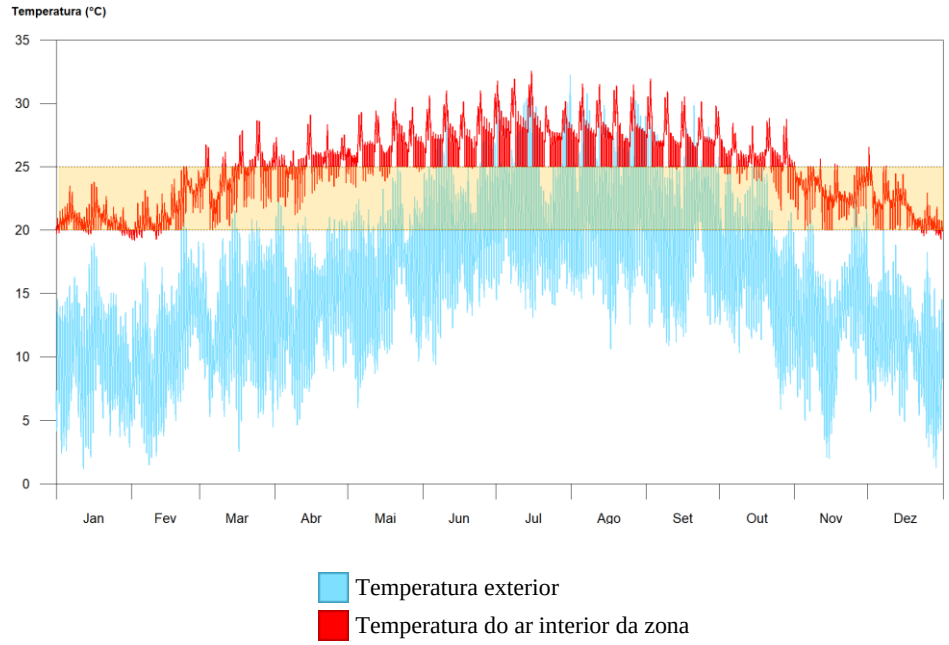


Figura 52 – Variação da temperatura de conforto (Piso 2) – Sistema Bomba Geotérmica 2

No piso 2 a temperatura máxima atingida foi de 32,54ºC e mínima de 19,16ºC.

Um aspeto que é necessário salientar é que apesar de a bomba de calor possuir um EER e um COP superiores aos valores respetivos do sistema de climatização anterior, várias temperaturas mínimas e máximas registadas nas várias zonas são semelhantes o que indica que o aumento dos coeficientes referentes ao EER e ao COP não está diretamente ligado às temperaturas sentidas, mas sim apenas ao consumo existente. Para além disso, tanto a temperatura máxima como a temperatura mínima registada acontecem durante períodos de não ocupação do edifício e em que o sistema de climatização se encontra desligado.

3.3.6. Comparação de Sistemas de Climatização

Para finalizar a exposição dos dados referentes aos sistemas de climatização testados no modelo é necessário realizar uma comparação entre eles.

Atendendo primeiramente apenas aos consumos de aquecimento podem-se comparar os diversos valores de consumos anuais obtidos através da tabela 3.

Tabela 3 – Valores de consumo referentes ao aquecimento

	$C_{ef,total}$ (kWh/ano)	$C_{ef,total}$ (kWh/m^2.ano)
Sistema AC	6 293,40	1,51
Sistema Bomba de Calor	6 723,30	1,61
Sistema Bomba Geotérmica[1]	4 915,80	1,18
Sistema Bomba Geotérmica[2]	2 374,10	0,57

[1] Sistema de climatização composto por bomba geotérmica com EER de 4,2 e COP de 3,5

[2] Sistema de climatização composto por bomba geotérmica com EER e COP iguais a 8

Onde:

$C_{ef,total}$: Consumo energético total

Observando a tabela 4, verifica-se que, ao nível do aquecimento, os sistemas com maior vantagem são claramente os sistemas de climatização com bombas geotérmicas. Em parte, o sistema de climatização através de ar condicionado nem se poderia considerar uma opção pois, tal como já foi referido, não cobre a totalidade das necessidades do edifício em período de ocupação uma vez que existem períodos em que não consegue manter as temperaturas de *set point* definidas.

Relativamente ao sistema de climatização através de bomba de calor verifica-se que este, apesar de cumprir na totalidade as necessidades do modelo realizado, apresenta consumos superiores aos consumos referentes ao sistema de climatização por AC. Assim, observa-se que o sistema de climatização que apresenta melhores consumos foi o sistema de climatização através das bombas de calor geotérmicas, verificando-se que para o caso em que se utilizaram valores dos coeficientes de EER e COP superiores, os valores de consumo tenderam a diminuir cerca de 50% dos valores de consumo referentes ao EER e COP da bomba realmente instalada no edifício.

Assim, atendendo aos vários aspetos referidos anteriormente, em termos de consumos para aquecimento o melhor sistema de climatização a utilizar seria o sistema através de bomba de calor geotérmica com EER e COP mais elevados, apesar do maior custo inicial que iria acarretar.

Relativamente aos consumos registados para arrefecimento é possível compará-los através da tabela 4.

Tabela 4 – Valores de consumo referentes ao arrefecimento

	$C_{ef,total}$ (kWh/ano)	$C_{ef,total}$ (kWh/m^2.ano)
Sistema AC	82 250,40	19,73
Sistema Bomba de Calor	101 009,30	24,23
Sistema Bomba Geotérmica[1]	68 542,00	16,44
Sistema Bomba Geotérmica[2]	35 984,60	8,63

[1] Sistema de climatização composto por bomba geotérmica com EER de 4,2 e COP de 3,5

[2] Sistema de climatização composto por bomba geotérmica com EER e COP iguais a 8

Onde:

$C_{ef,total}$: Consumo energético total

Quando se refere a arrefecimento, todos os sistemas de climatização testados corresponderam na totalidade cumprindo totalmente as necessidades do edifício modelado. Assim, atendendo na tabela 4 apresentada anteriormente, verifica-se que os sistemas que apresentaram menores consumos foram os sistemas possuidores de bombas geotérmicas sendo que, no caso da bomba com maiores coeficientes EER e COP os consumos diminuíram novamente na ordem dos 50% relativamente aos consumos da bomba geotérmicas com menores coeficientes EER e COP.

Tal como se verifica para os consumos de aquecimento, para o arrefecimento o sistema de climatização composto por AC apresenta consumos inferiores ao sistema composto por bomba de calor tradicional. No entanto, a tendência mantém-se, e os sistemas compostos por bombas de calor geotérmicas apresentam consumos bastante inferiores às bombas de calor tradicionais sendo ainda mais percetível este fator quanto maiores forem os coeficientes EER e COP associadas à bomba.

Assim, atendendo aos vários aspetos referidos anteriormente e tal como verificado para o aquecimento, em termos de consumos para arrefecimento o melhor sistema de climatização a utilizar seria o sistema através de bomba de calor geotérmica com EER e COP mais elevados.

Por fim, comparando os consumos energéticos totais obtidos para os vários sistemas testados apresentam-se os valores na tabela 5.

Tabela 5 – Valores de consumo energético totais

	$C_{ef,total}$ (kWh/ano)	$C_{ef,total}$ (kWh/m^2.ano)
Sistema AC	88 543,80	21,24
Sistema Bomba de Calor	107 732,60	25,84
Sistema Bomba Geotérmica[1]	73 457,90	17,62
Sistema Bomba Geotérmica[2]	38 358,60	9,20

[1] Sistema de climatização composto por bomba geotérmica com EER de 4,2 e COP de 3,5

[2] Sistema de climatização composto por bomba geotérmica com EER e COP iguais a 8

Onde:

$C_{ef,total}$: Consumo energético total

Analisando o resultado dos consumos energéticos totais obtidos verificou-se que os sistemas de climatização através de bombas de calor geotérmicas apresentam grandes vantagens relativamente aos sistemas de climatização tradicionais. Utilizando os consumos do sistema de climatização de bomba geotérmica com os coeficientes EER e COP iguais ao da bomba instalada no edifício e comparando-os com os sistemas tradicionais verificam-se que os consumos são inferiores em cerca de 17% relativamente ao sistema de ar condicionado e em cerca de 31% relativamente ao sistema de bomba de calor tradicional. Se a comparação for realizada a partir do sistema de bomba geotérmica com maiores coeficientes de EER e COP, o consumo diminui em, aproximadamente, 56% relativamente ao sistema de AC e 64% relativamente ao sistema de bomba de calor tradicional.

É também importante referir qual o ganho em termos de consumos comparando o sistema de climatização da bomba geotérmica com coeficientes de EER e COP mais baixos e do sistema com a bomba geotérmica com EER e COP mais elevados. Assim, verifica-se que o sistema com bomba de EER e o COP mais elevados possui consumos inferiores em cerca de 47% relativamente ao sistema em que a bomba possui EER e COP iguais ao da bomba geotérmica instalada no próprio edifício.

Finalizando a comparação entre os vários tipos de sistemas de climatização testados no modelo realizado verifica-se que o sistema com maiores ganhos ao nível de consumo é o sistema com bomba geotérmica com coeficientes EER e COP mais elevados, apesar de o investimento inicial necessário para a sua aquisição e aplicação ser mais elevado. É de salientar que o facto de o investimento inicial ser maior, pode ser colmatado com a redução de custos do consumo energético registado fazendo com que o tempo de retorno do investimento diminua.

Capítulo 4

Inquéritos e Análise de Dados

4. INQUÉRITOS E ANÁLISE DE DADOS

4.1. Metodologia

Os inquéritos foram realizados em quatro departamentos da Universidade de Aveiro, nomeadamente o Departamento de Engenharia Civil (DECivil), o Complexo de Ciências da Comunicação e Imagem (CCCI), o Complexo de Laboratórios Tecnológicos (CLabTec), e o Complexo Interdisciplinar de Ciências Físicas Aplicadas à Nanotecnologia e à Oceanografia (CICFANO). Entre os dias 11 de janeiro de 2019 e 21 de janeiro de 2019 realizou-se os inquéritos no DECivil e no CCCI. No CICFANO recolheram-se os inquéritos no dia 25 de janeiro de 2019 e no CLabTec foram recolhidos no dia 28 de janeiro de 2019. O modelo do inquérito realizado encontra-se disponível no Anexo III, no final do presente documento.

O inquérito realizado possui dez questões de resposta rápida em que se abordam múltiplas variáveis referentes ao utilizador (nacionalidade, género, idade), referentes ao espaço que utilizam no seu dia-a-dia (período de ocupação, tipo de espaço que utilizam e a utilização de equipamentos auxiliares) e referentes à auto perceção de conforto de cada utilizador (sensação de conforto térmico tanto durante o inverno como de verão e classificação da sua produtividade relativamente ao conforto térmico e à qualidade do ar que sentem nos seus espaços de trabalho).

No que diz respeito à análise dos dados recolhidos, foi primeiramente realizada uma análise descritiva dos resultados através das respostas dadas pelos utilizadores em cada um dos departamentos analisados. Sendo esta análise realizada de uma forma descritiva, é esperada uma análise simples baseada unicamente nas respostas e gráficos obtidos.

De seguida, com o objetivo de compreender a influência dos sistemas geotérmicos nos edifícios, no conforto térmico e produtividade percebida dos utilizadores recorreu-se a diferentes análises estatísticas no software SPSS Statistics (versão 25), disponibilizado gratuitamente pela Universidade de Aveiro.

Após se verificar que os dados recolhidos não apresentavam uma distribuição normal, usando o teste de *Shapiro-Wilk*, optou-se pelo uso de estatística não paramétrica, a qual é tida como robusta à violação do princípio da normalidade [31]. Os testes utilizados foram:

- Teste de *Mann-Whitney*: Teste não paramétrico utilizado para comparar as funções de distribuição de uma variável ordinal medida em duas amostras independentes [31];

- Teste de *Kruskal-Wallis*: Teste apropriado para comparar as distribuições de variáveis ordinais observadas em duas ou mais amostras independentes [31].

No que diz respeito ao teste de *Mann-Whitney*, este foi utilizado para realizar comparações entre dois grandes grupos: departamentos com sistemas geotérmicos e departamentos sem sistemas geotérmicos.

Quanto ao teste de *Kruskal-Wallis*, este foi utilizado para realizar a comparação entre todos os departamentos em estudo. Nos dois testes referidos anteriormente, as comparações realizadas centraram-se nas seguintes variáveis:

- Conforto térmico percebido durante o inverno;
- Conforto térmico percebido durante o verão;
- Produtividade percebida em relação ao conforto térmico;
- Produtividade percebida em relação à qualidade do ar.

4.2. Análise de Resultados

4.2.1. Análise Descritiva

Primeiramente, procedeu-se à análise dos resultados no Departamento de Engenharia Civil (DECivil), departamento onde foi possível a recolha de 51 respostas sendo que 96% dos inquiridos são de nacionalidade portuguesa. No entanto, também se verificaram respostas de utilizadores com nacionalidade brasileira e síria. Dois aspetos importantes para este estudo, são o género e a idade dos utilizadores uma vez que isso pode influenciar a sensação de conforto térmico de cada pessoa. Observou-se que a maioria dos inquiridos é do género masculino (61%) e que a janela de idades mais presente nas respostas obtidas se situa entre os 17 e os 25 anos de idade (61%). A maioria dos inquiridos no DECivil são estudantes (57%) e investigadores/bolseiros (25%). Observando os dados, pode-se afirmar que a utilização do departamento se dá, maioritariamente, em período laboral (08h00 às 19h00), uma vez que apenas 11% dos inquiridos afirma utilizar o DECivil em período noturno (19h00 às 08h00).

No DECivil verificou-se que os espaços utilizados são maioritariamente *open spaces* (53%) e salas de aulas (33%).

Observando as respostas obtidas quanto ao conforto térmico percebido durante o inverno, verificou-se que os utilizadores se sentem pouco confortáveis (Média, M = 1,80), como pode ser observado pela figura 53.

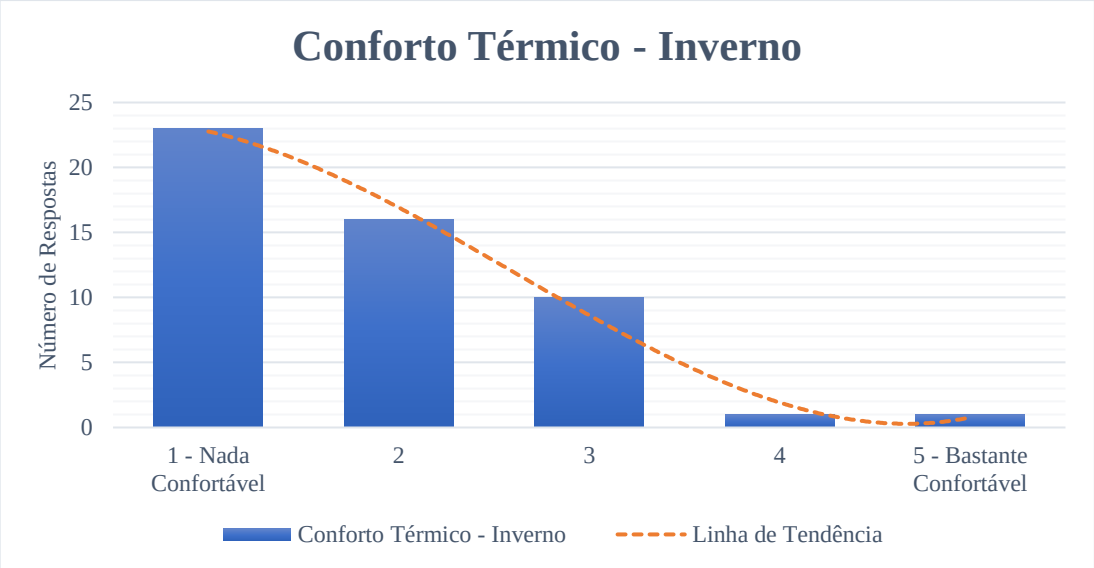


Figura 53 – Conforto térmico durante o inverno (DECivil)

Verificou-se ainda que mais de metade dos inquiridos utiliza equipamentos auxiliares como aquecedores individuais (53%).

No que diz respeito aos dados relativos ao conforto térmico percebido durante o verão, a média sobe para 3,20 (figura 54).

Figura 54 – Conforto térmico durante o verão (DECivil)

Relativamente à produtividade de cada utilizador em relação ao conforto térmico e à qualidade do ar sentidos no seu espaço de trabalho (figura 55), verifica-se que a maioria dos utilizadores do DECivil não considera possuir uma produtividade suficiente (M = 2,20) relativamente ao conforto térmico sentido no edifício quanto ao segundo tópico abordado, a classificação dos utilizadores relativamente à qualidade do ar é superior ao tópico anterior (M = 3,10).

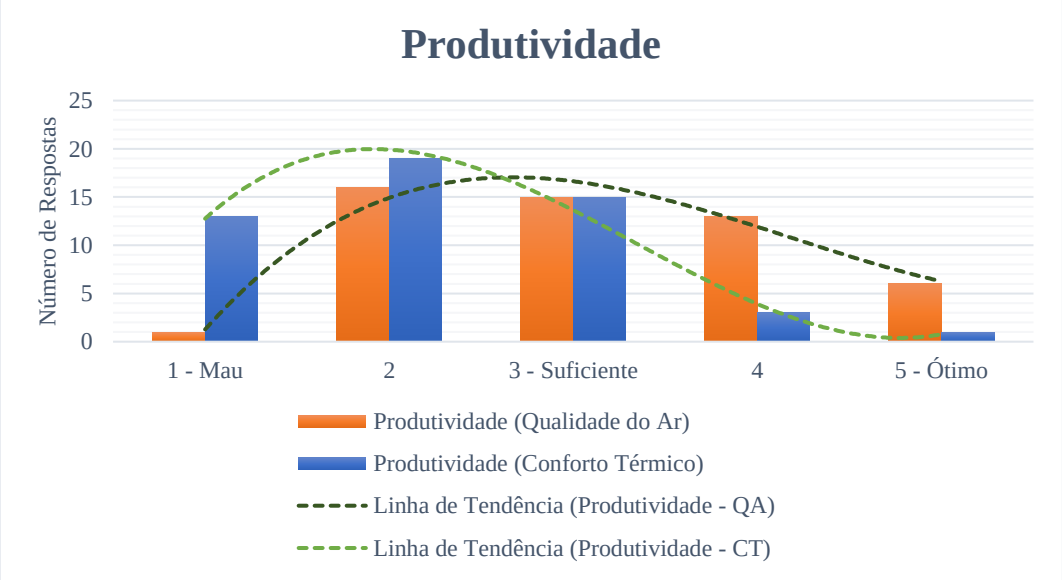


Figura 55 – Produtividade relativa ao conforto térmico e qualidade do ar (DECivil)

Relativamente ao edifício do CCCI, obteve-se uma amostra de 90 respostas, 98% dos inquiridos possuem nacionalidade portuguesa, sendo mais de metade do género feminino (66%) e com idades compreendidas entre os 17 e os 25 anos (69%). Verificou-se ainda que 81% dos inquiridos são alunos e/ou investigadores/bolseiros sendo o período de maior ocupação do CCCI o período laboral (08h00 às 19h00) com 82% das respostas.

Neste edifício verificou-se que os espaços mais utilizados são as salas de aula (66%) e os *open spaces* (18%). Observando a figura 56, apresentada de seguida, verificou-se que durante o inverno, o conforto térmico percebido pelos utilizadores apresenta uma média M = 3,20.

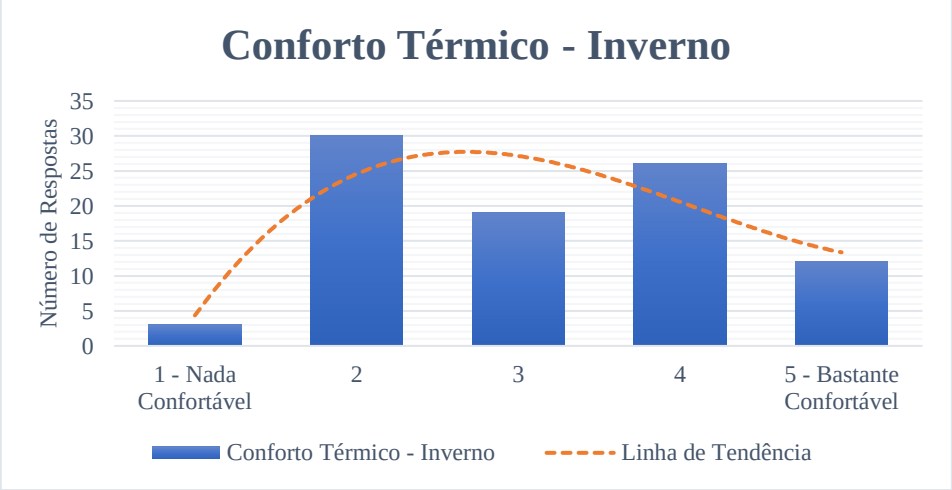


Figura 56 – Conforto térmico durante o inverno (CCCI)

Analisando a figura 57 e comparando-a à figura 56, verifica-se uma diminuição do valor médio do conforto térmico percebido pelos inquiridos (M = 3,00).

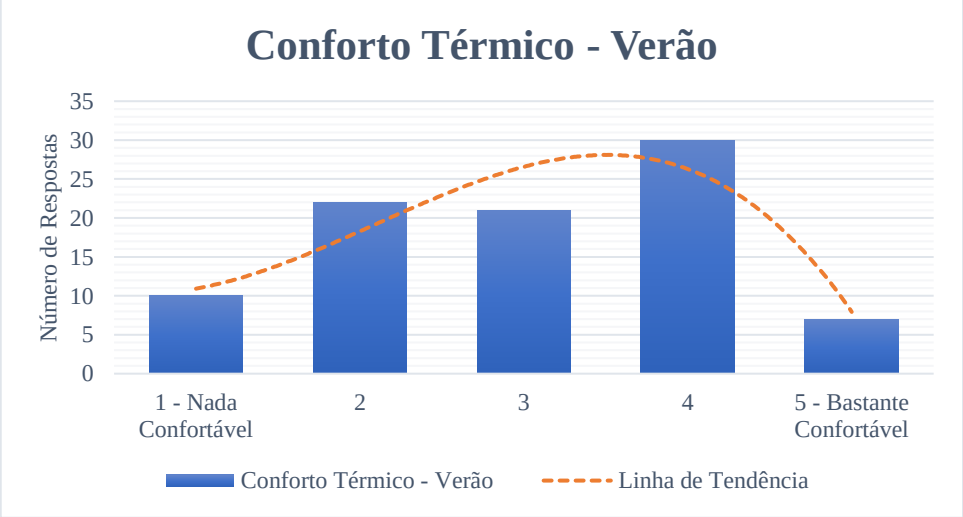


Figura 57 – Conforto térmico durante o verão (CCCI)

Observando a figura 58, verifica-se que as respostas dos inquiridos para os tópicos sobre a produtividade percebida relativamente ao conforto térmico e à qualidade do ar apresentam valores médios suficientes ($M_{produtividade - CT}$ =2,90 e $M_{produtividade - QA}$ = 3,20).

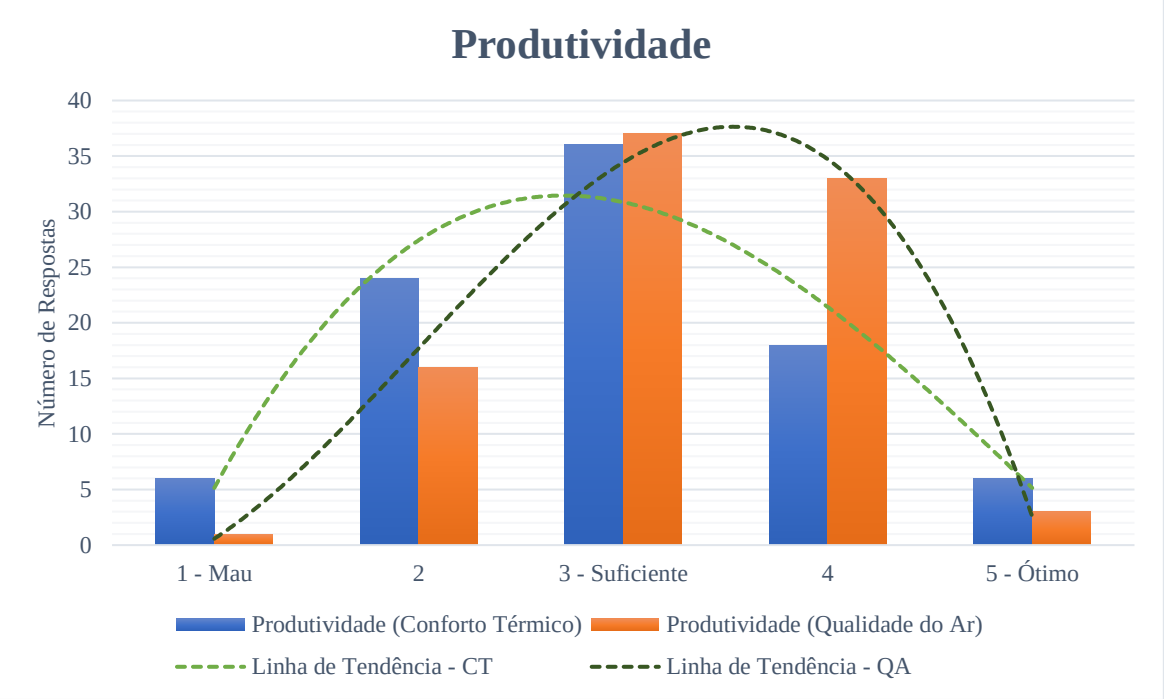


Figura 58 – Produtividade relativa ao conforto térmico e qualidade do ar (CCCI)

No CICFANO obtiveram-se um total de 26 respostas, um valor reduzido que se pode justificar pelo facto que este departamento ser, na sua maioria, um edifício dedicado a investigação.

Verificou-se que a maioria dos inquiridos possui nacionalidade portuguesa (88%) e que 65% são do género masculino. A janela de idades verificada situa-se entre os 26 e os 45 anos de idade (69%), sendo que a maioria dos inquiridos afirma ser investigador/bolseiro (61%) e utilizar gabinetes coletivos (50%) bem como laboratórios (31%).

O período de ocupação observado pelas respostas obtidas situa-se em horário laboral (94% das respostas referentes ao horário 08h00 às 19h00). Relativamente ao conforto térmico percebido pelos utilizadores, verifica-se que durante o inverno os utilizadores consideram sentir-se mais confortáveis (M = 3,10) do que durante o verão (M = 2,88; figura 59 e 60).

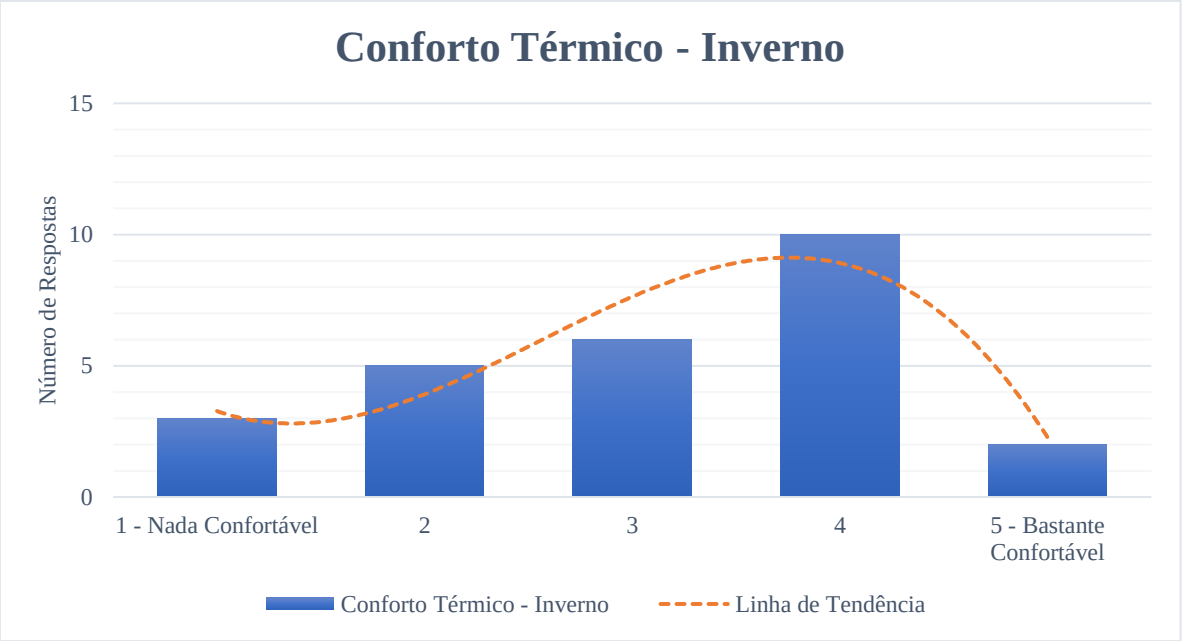


Figura 59 – Conforto térmico durante o inverno (CICFANO)

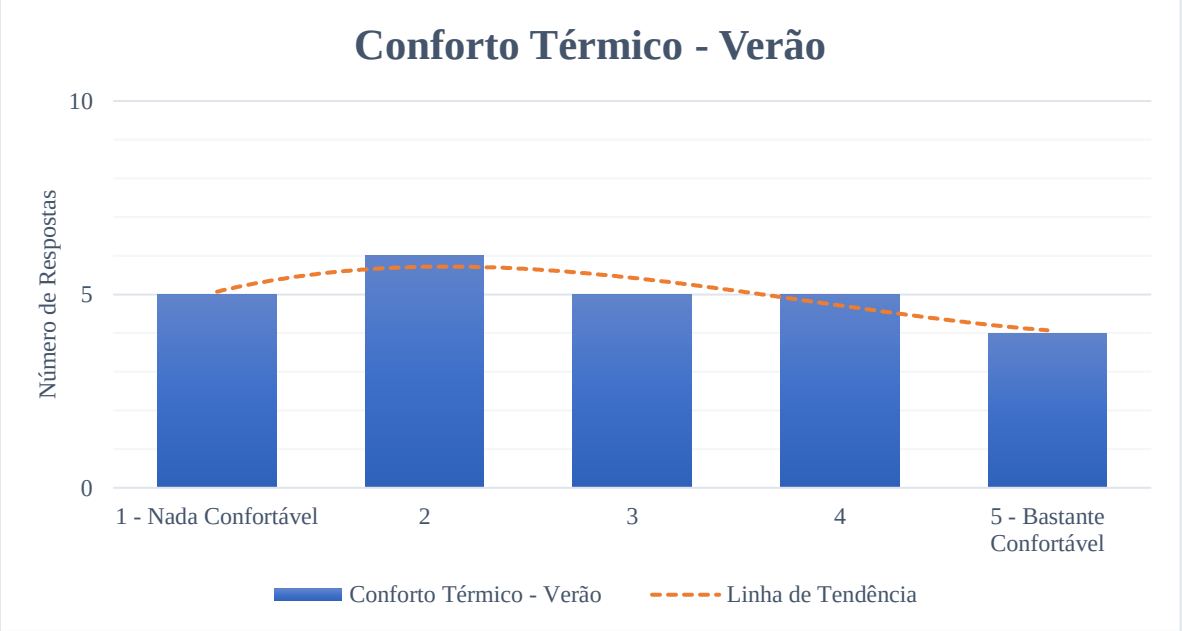


Figura 60 – Conforto térmico durante o verão (CICFANO)

Observou-se ainda que 69% dos inquiridos afirma não utilizar equipamentos auxiliares como por exemplo aquecedores individuais.

Quando se observa a figura 61, apresentada de seguida, conclui-se que, comparativamente aos dois edifícios analisados anteriormente (DECivil e CCCI), os utilizadores do CICFANO apresentam uma maior perceção de produtividade relativamente ao conforto térmico e à qualidade do ar do que os utilizadores dos dois edifícios anteriores, apresentando médias M = 3,70 e M = 3,30, respetivamente.

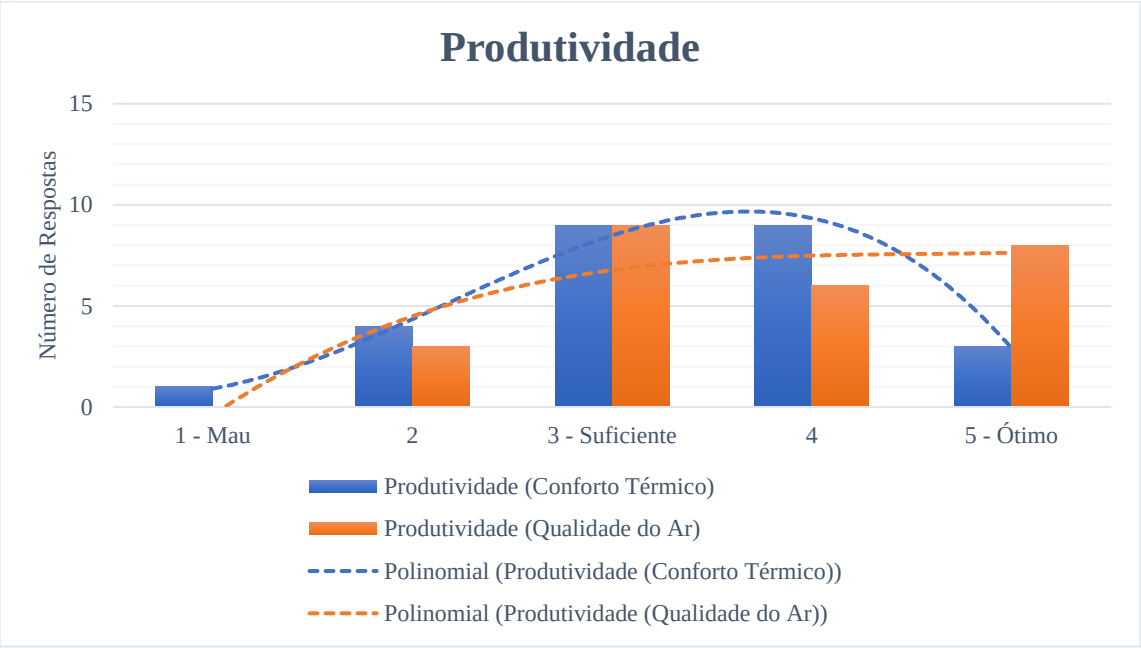


Figura 61 – Produtividade relativa ao conforto térmico e qualidade do ar (CICFANO)

Relativamente ao CLabTec, que não possui nenhum sistema geotérmico incorporado tal como o DECivil, obtiveram-se 34 respostas verificando-se que a maioria dos inquiridos possui nacionalidade portuguesa (97%), sendo 44% do género masculino e possuindo na sua maioria idades compreendidas entre os 26 e os 45 anos (68%). A maioria dos inquiridos afirmou ainda possuir uma função de investigadores/bolseiros (61%) e utilizar laboratórios (54%) e gabinetes coletivos (27%).

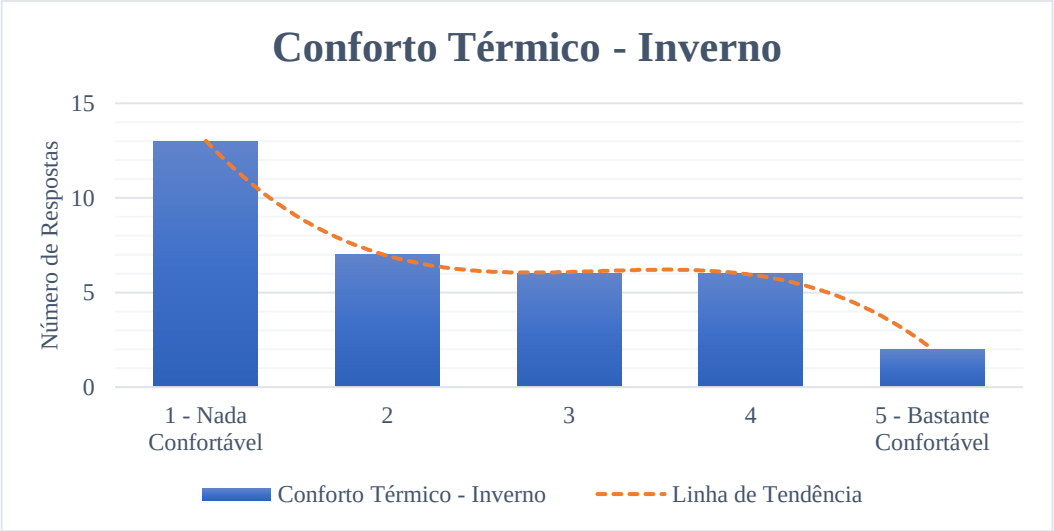


Figura 62 – Conforto térmico durante o inverno (CLabTec)

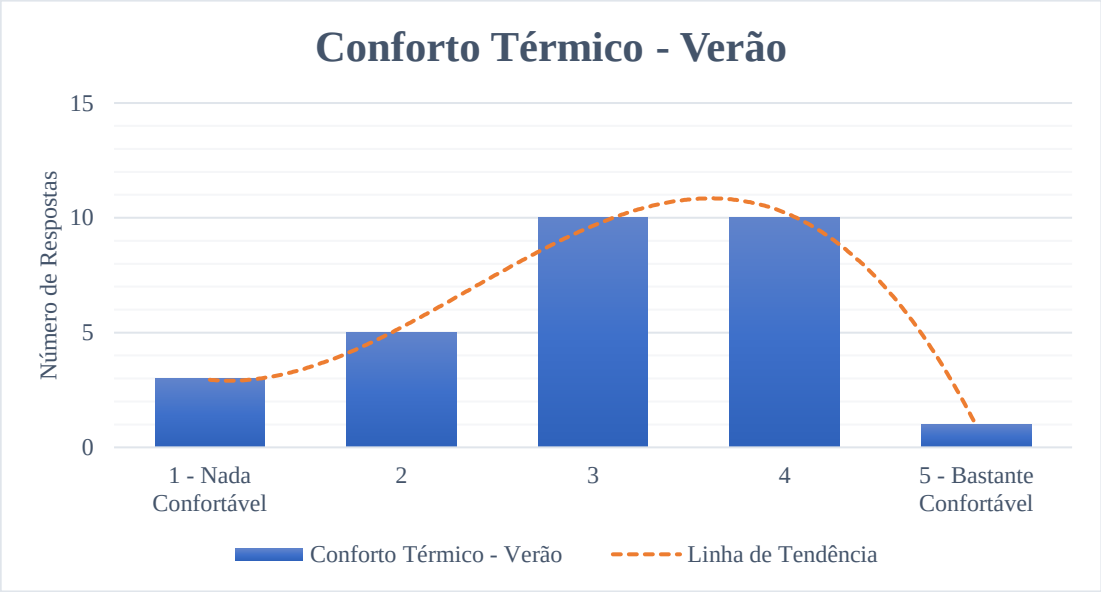


Figura 63 – Conforto térmico durante o verão (CLabTec)

Observando as figuras 62 e 63, apresentados anteriormente, verifica-se que mais de metade dos inquiridos não se sente confortável termicamente no seu espaço de trabalho durante o inverno (M = 2,32) sendo que relativamente ao verão o conforto térmico percebido possui um valor médio superior (M = 3,03).

Através da figura 64, onde são descritas as respostas dos utilizadores sobre a produtividade percebida relativamente ao conforto térmico, verifica-se que o valor médio respondido pelos utilizadores não atinge o suficiente (M = 2,67).

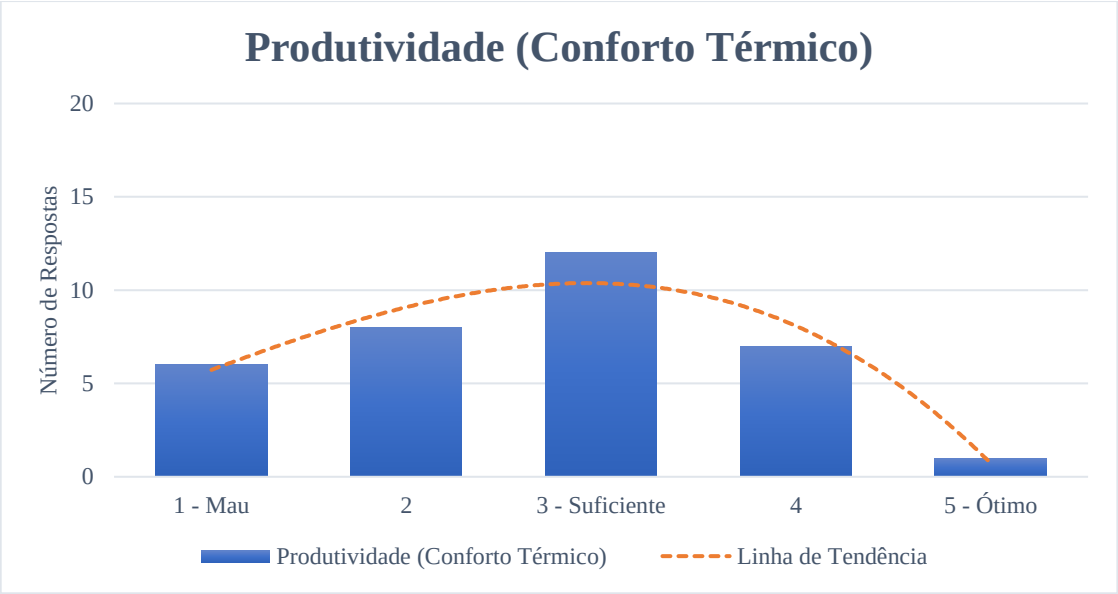


Figura 64 – Produtividade relativa ao conforto térmico (CLabTec)

Quando se observa a figura 65 que traduz as respostas dos utilizadores sobre a sua produtividade percebida relativamente à qualidade do ar verifica-se claramente que os utilizadores sentem que a sua produtividade é claramente suficiente para as suas necessidades (M = 3,21).

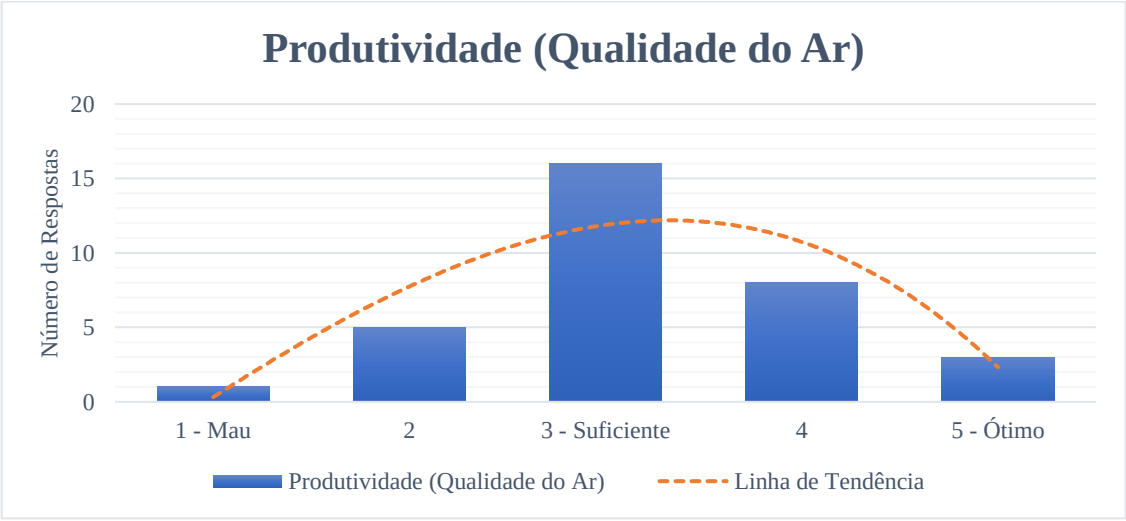


Figura 65 – Produtividade relativa à qualidade do ar (CLabTec)

4.2.2. Análise Estatística

Tal como já foi referido no subcapítulo sobre a metodologia utilizada para analisar os resultados obtidos através dos inquéritos realizados, utilizou-se primeiramente quatro testes não paramétricos de *Mann-Whitney* para verificar a existência de diferenças estatisticamente significativas entre os dois grandes grupos de edifícios estudados (os departamentos possuidores de sistemas geotérmicos e departamentos sem sistemas geotérmicos) nas seguintes variáveis dependentes: conforto térmico – inverno, conforto térmico – verão, produtividade percebida – conforto térmico e produtividade percebida – qualidade do ar. Tal considerou-se que as diferenças eram estatisticamente significativas quando $p < 0,05$, onde p significa o *p-value* [31].

Iniciando a análise estatística com o tópico relativo ao conforto térmico percebido durante o inverno, os resultados evidenciaram que os departamentos possuidores de sistemas geotérmicos apresentam um conforto térmico significativamente superior durante o inverno (M = 3,15; DP = 1,15), comparativamente aos departamentos sem sistemas geotérmicos (M = 1,96; DP = 1,08; U = 7 445,5; W = 14 231,5; p < 0,001), onde DP (desvio padrão), U (U de *Mann-Whitney*) e W (W de *Wilcoxon*).

A figura 66, apresentada de seguida, ilustra a distribuição presente nos dois grupos de edifícios estudados relativamente ao tópico do conforto térmico percebido durante o inverno.

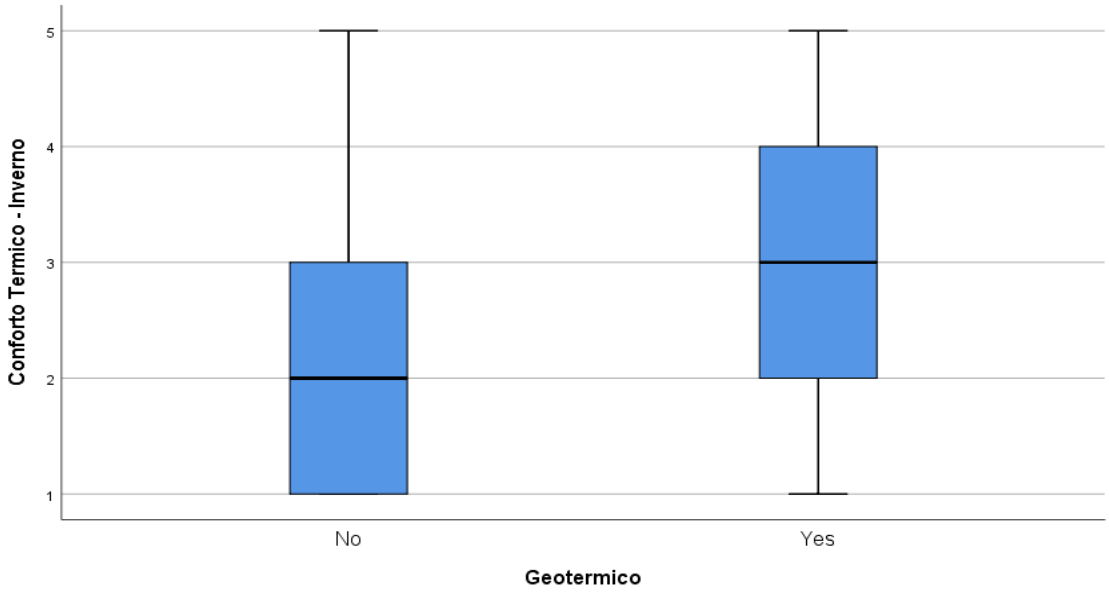


Figura 66 – Comparação entre edificios com e sem sistema geotérmico (CT - Inverno)

No que diz respeito ao conforto térmico percebido durante o verão (figura 67) verificou-se que os departamentos possuidores de sistemas geotérmicos não apresentam um conforto térmico percebido significativamente superior durante o verão (M = 2,99; DP = 1,21), quando comparados com os departamentos sem sistemas geotérmicos (M = 3,13; DP =1,17; U = 4 311,50; W = 10 981,50; p > 0,05).

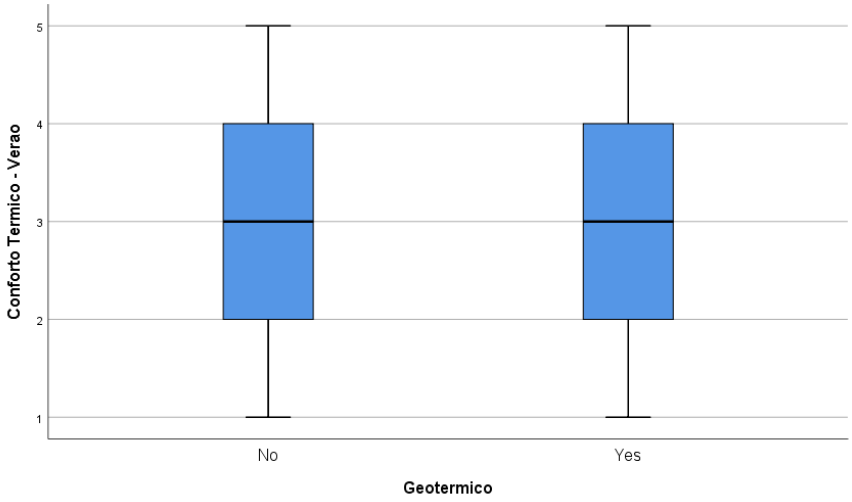


Figura 67 – Comparação entre edificios com e sem sistema geotérmico (CT - Verão)

Considerando a perceção da produtividade dos utilizadores dos edifícios em estudo, relativamente ao conforto térmico (figura 68), os resultados evidenciaram que os departamentos possuidores de sistemas geotérmicos apresentam valores significativamente superiores (M = 3,02; DP = 1,02) aos apresentados pelos departamentos sem sistemas geotérmicos (M = 2,37; DP = 1,02; U = 6 516; W= 13 302; p < 0,001). Neste caso verificou-se a existência de um questionário em que as respostas apresentaram valores atípicos, referente aos departamentos sem sistemas geotérmicos, e que não foi considerado.

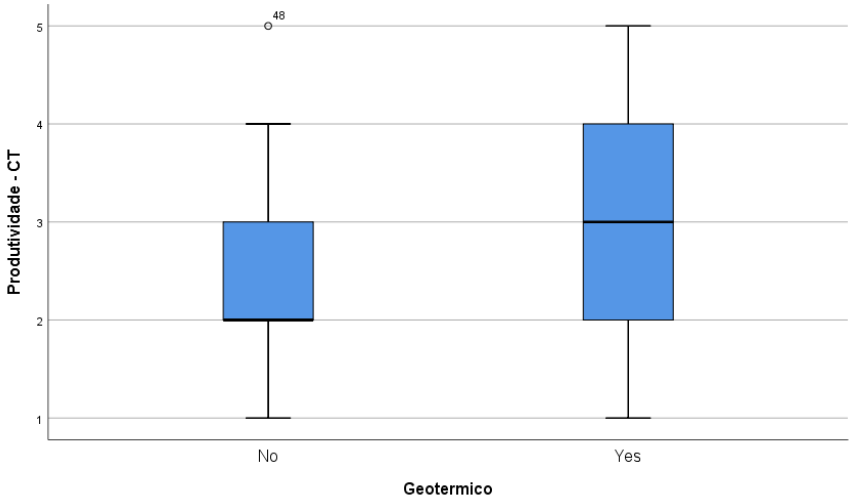


Figura 68 – Comparação entre edificios com e sem sistema geotérmico (Produtividade – CT)

No que diz respeito à produtividade percebida pelos utilizadores relativamente à qualidade do ar (figura 69) sentida no interior dos edifícios em estudo, os resultados obtidos evidenciaram que os departamentos possuidores de sistemas geotérmicos não apresentam valores significativamente superiores (M=3,34; DP= 0,90) aos valores obtidos nos departamentos sem sistemas geotérmicos (M= 3,15; DP= 1,00; U= 5 442; W= 12 228; p = 0,138 > 0,05). Ainda atendendo à figura 69, referente à produtividade percebida pelos utilizadores relativamente à qualidade do ar, também se verificou a existência de um valor atípico, neste caso referente aos departamentos com sistemas geotérmicos.

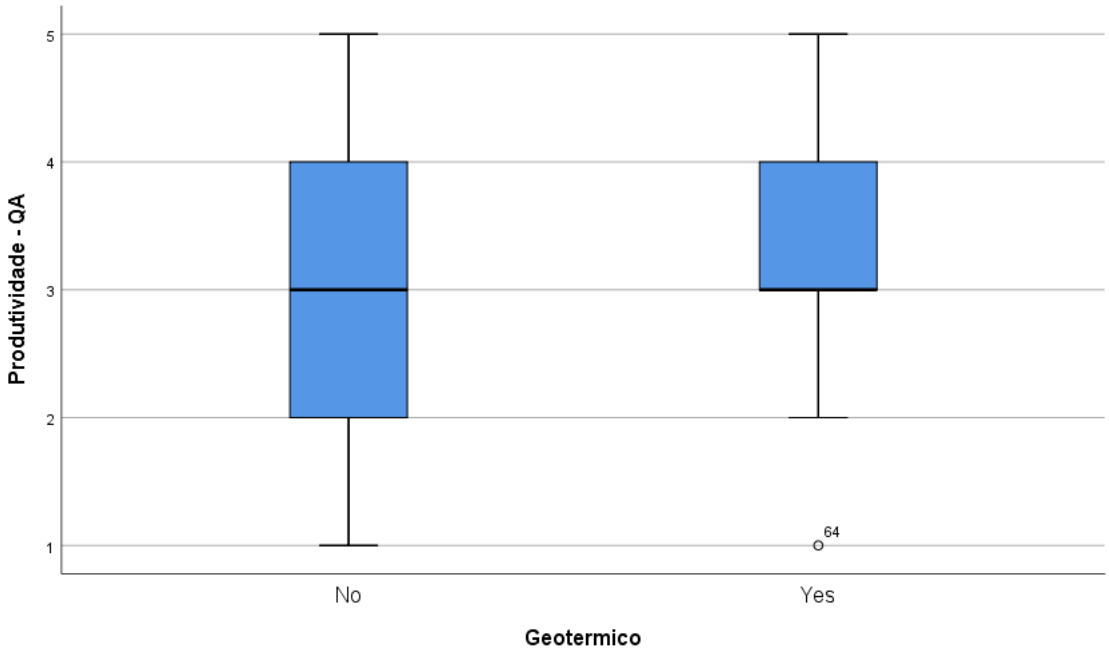


Figura 69 – Comparação entre edificios com e sem sistema geotérmico (Produtividade – QA)

Após analisadas as diferenças entre os dois grandes grupos de edifícios, recorreu-se a testes não paramétricos de *Kruskal-Wallis* de forma a explorar se existem diferenças significativas entre os vários departamentos em estudo por si só, nas mesmas quatro variáveis dependentes: conforto térmico – inverno, conforto térmico – verão, produtividade percebida – conforto térmico e produtividade percebida – qualidade do ar.

Tal como no teste de *Mann-Whitney*, também nos testes de *Kruskal-Wallis* considerou-se um nível de significância $\alpha < 0,05$ (i.e., considerou-se que as diferenças eram estatisticamente significativas quando $p < 0,05$) [31].

No que diz respeito ao conforto térmico percebido durante o inverno (figura 70), o teste de *Kruskal-Wallis* mostrou existirem diferenças entre os diferentes edifícios em estudo ($X^2_{KW}(3) = 43,14$; n = 201; $p < 0,05$), onde X^2_{KW} (qui quadrado de *Kruskal-Wallis*). De acordo com a comparação múltipla de médias de ordens, verificou-se que, por um lado, o DECivil (M = 1,84;

DP = 0,95) e o CICFANO (M = 3,08; DP = 1,19), o DECivil e o CCCI (M = 3,17; DP = 1,14) e o CLabTec (M = 2,18; DP = 1,28) e o CCCI apresentam diferenças significativas entre si ($p < 0,05$). Contudo, por outro lado, verificou-se que o DECivil e o CLabTec, o CICFANO e o CCCI e o CLabTec e o CICFANO não evidenciaram diferenças estaticamente significativas entre si ($p > 0,05$).

Em suma, uma vez mais é permitido concluir que os departamentos com sistemas geotérmicos diferem significativamente dos departamentos sem sistemas geotérmicos no que toca ao conforto térmico percebido durante o inverno.

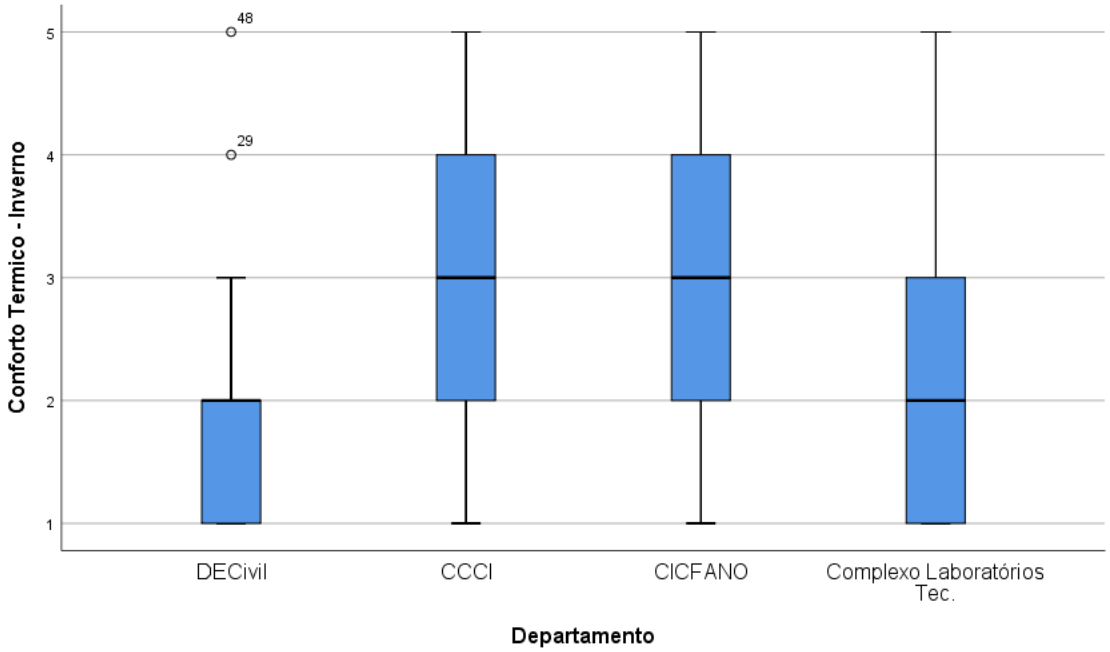


Figura 70 – Comparação do conforto térmico durante o inverno

Analisando a variável referente ao conforto térmico percebido durante o verão (figura 71) verificou-se que os departamentos possuidores de sistemas geotérmicos ($M_{CCCI} = 3,02$; $DP_{CCCI} = 1,16$; $M_{CICFANO} = 2,88$; $DP_{CICFANO} = 1,39$) não apresentaram valores significativamente superiores ($X^2_{KW}(3) = 1,137$; $n = 195$; $p = 0,768 > 0,05$) aos valores dos departamentos sem sistemas geotérmicos ($M_{DECivil} = 3,18$; $DP_{DECivil} = 1,23$; $M_{CLabTec} = 3,04$; $DP_{CLabTec} = 1,07$).

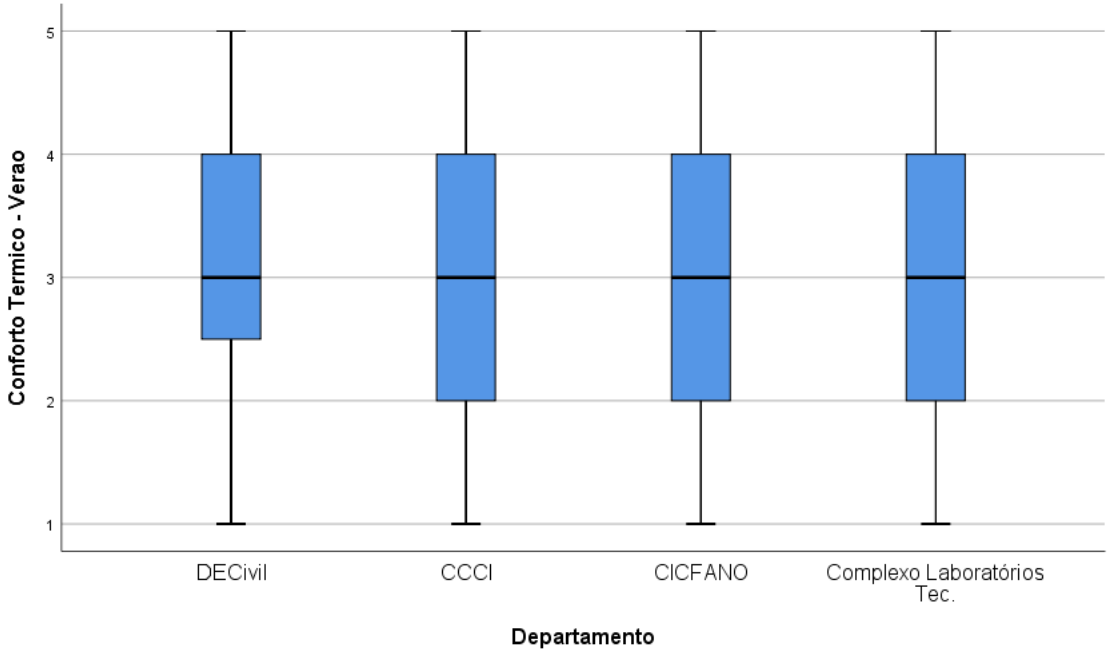


Figura 71 – Comparação do conforto térmico durante o verão

No diz respeito à produtividade percebida pelos utilizadores relativamente ao conforto térmico sentido (figura 72), o teste de *Kruskal-Wallis* mostrou existirem diferenças entre os diferentes edifícios em estudo ($X^2_{KW}(3) = 23{,}762$; n = 201; $p < 0{,}05$). De acordo com a comparação múltipla de médias de ordens, verificou-se que, por um lado, o DECivil (M = 2,22; DP = 0,97) e o CICFANO (M = 3,32; DP = 1,03) e o DECivil e o CCCI (M =2,93; DP = 1,00) apresentam diferenças significativas entre si ($p < 0.05$). Contudo, por outro lado, verificou-se que o DECivil e o CLabTec (M = 2,64; DP = 1,06), o CICFANO e o CCCI e o CLabTec e o CICFANO não evidenciaram diferenças estaticamente significativas entre si ($p > 0{,}05$).

Assim, é mais uma vez permitido concluir que os departamentos com sistemas geotérmicos diferem significativamente dos departamentos sem sistemas geotérmicos no que toca à produtividade percebida dos utilizadores relativamente ao conforto térmico percebido.

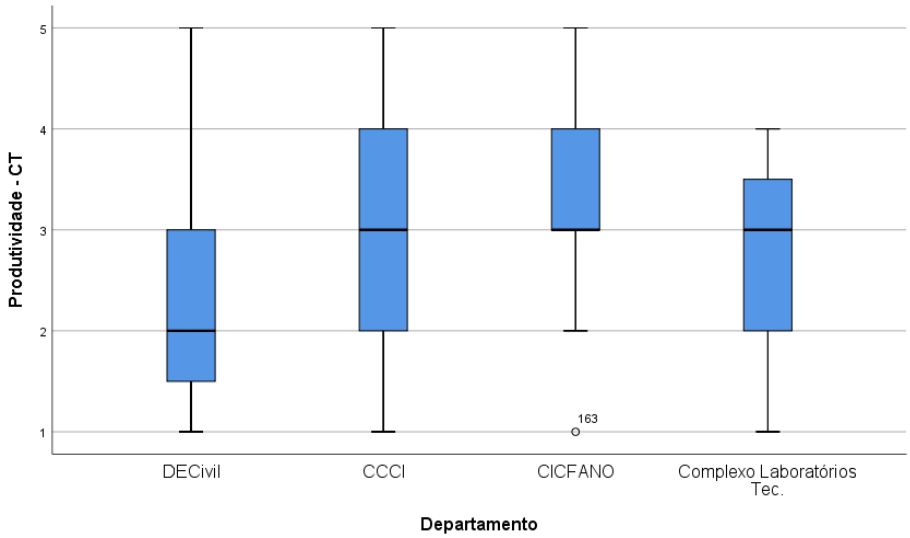


Figura 72 – Comparação da produtividade relativamente ao conforto térmico

Para finalizar, ao analisar os resultados obtidos referentes à produtividade percebida relativamente à qualidade do ar sentida pelos utilizadores (figura 73) verificou-se que os departamentos possuidores de sistemas geotérmicos (M_{CCCI} = 3,23; DP_{CCCI} = 0,82; $M_{CICFANO}$ = 3,72; $DP_{CICFANO}$ = 1,06) não apresentaram valores significativamente superiores ($X^2_{KW}(3)$ = 6,372; n = 200; p = 0,095 > 0,05) aos valores dos departamentos sem sistemas geotérmicos ($M_{DECivil}$ = 3,14; $DP_{DECivil}$ = 1,06; $M_{CLabTec}$ = 3,18; $DP_{CLabTec}$ = 0,90).

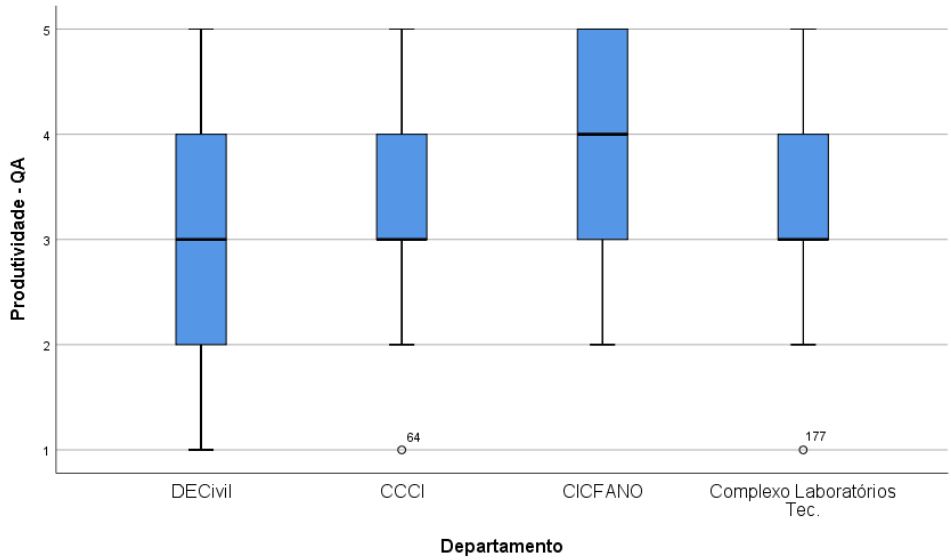


Figura 73 – Comparação da produtividade relativamente à qualidade do ar

4.2.3. Discussão de Resultados

Para finalizar o capítulo da análise, tanto descritiva como estatística, apresentam-se de seguida algumas conclusões possíveis através da análise das figuras anteriores.

Analisando primeiramente a análise descritiva, verificaram-se os seguintes aspetos:

- Os inquéritos recolhidos nos vários departamentos possuíam amostras com diferentes dimensões, sendo a maior e a menor amostra referentes a edifícios com sistemas geotérmicos incorporados;
- Verificou-se que o conforto térmico percetível pelos utilizadores dos edifícios sem sistemas geotérmicos é superior durante o verão. Por outro lado, para os edifícios com sistemas geotérmicos não se verificou uma tendência clara apresentando valores médios tanto para inverno como para verão;
- Relativamente à produtividade percebida dos utilizadores referente ao conforto térmico verificou-se que os utilizadores frequentes dos edifícios com sistemas geotérmicos sentem que possuem uma produtividade superior aos utilizadores dos edifícios sem sistemas geotérmicos, no entanto, quanto à produtividade percebida referente à qualidade do ar obtiveram-se respostas semelhantes tanto nos edifícios com sistemas geotérmicos como nos edifícios sem sistemas geotérmicos.

Relativamente à análise estatística realizada, uma vez que as questões realizadas no inquérito são questões com cariz de perceção do utilizador, não é possível concluir se os edifícios com sistemas geotérmicos são melhores do que os sistemas sem sistemas geotérmicos e vice-versa.

No entanto, é possível retirar algumas conclusões através da análise das várias figuras apresentadas anteriormente.

Analisando primeiramente o conforto térmico percebido pelos utilizadores, observou-se que durante o verão não se verificam diferenças entre os dois tipos de edifícios. No entanto, quando se trata do conforto térmico percebido durante o inverno, existe uma clara vantagem para os edifícios com sistemas geotérmicos como se pode verificar pela comparação das figuras 66 e 67. Relativamente à produtividade percebida dos utilizadores verificou-se que, no que diz respeito ao conforto térmico percebido, os edifícios com sistemas geotérmicos apresentam vantagem relativamente aos edifícios sem sistemas geotérmicos, não se verificando esta vantagem quando se observa o aspeto da produtividade percebida relativamente à qualidade do ar.

Terminando com a análise (individual) entre os departamentos utilizados neste estudo, relativamente ao conforto térmico percebido dos utilizadores durante o inverno existe diferença entre os dois tipos de edifícios, onde os utilizadores que utilizam os edifícios com sistemas geotérmicos apresentaram respostas com um nível de conforto percebido superior aos utilizadores dos edifícios sem sistemas geotérmicos. No entanto, verificou-se que durante o verão a perceção dos utilizadores relativamente ao conforto térmico percebido não é afetado consoante o tipo de edifício que utilizam.

A produtividade sentida pelos utilizadores relativamente ao conforto térmico percebido (figura 72) é superior nos edifícios com sistemas geotérmicos tal como a produtividade relativamente à qualidade do ar percebida pelos utilizadores (figura 73).

Resumindo as várias conclusões retiradas, pode-se afirmar que, na ótica dos utilizadores, os edifícios com sistemas geotérmicos apresentam vantagens quer ao nível do conforto térmico quer ao nível da sua produtividade.

Capítulo 5

Considerações Finais

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho baseia-se na análise energética de soluções de climatização do edifício do Complexo das Ciências da Comunicação e Imagem (CCCI) da Universidade de Aveiro, quer nas necessidades associadas quer na simulação de consumos, utilizando sistemas de climatização tradicionais e sistemas de climatização geotérmicos. Para a realização da análise foi necessária a aprendizagem de *software* de modelação e cálculo, onde se realizaram as várias simulações de sistemas de climatização. Neste capítulo apresenta-se um resumo de todo o trabalho realizado ao longo desta dissertação finalizando com algumas perspetivas para desenvolvimentos futuros a realizar.

5.1. Conclusões

Neste trabalho apresentou-se a modelação do referido edifício, a simulação das necessidades energéticas e estudaram-se diversas simulações relativamente aos sistemas de climatização sendo escolhidas duas soluções, uma baseada em utilização de equipamento elétrico e outra na utilização de sistemas com equipamento de permuta de água-água com energia renovável geotérmica superficial. Como introdução ao tema verificou-se a existência de diversos tipos de sistemas geotérmicos, com diversas disposições, que podem variar consoante o tipo de edifício em questão.

O trabalho realizado foi dividido em três grandes partes para além da contextualização teórica: a modelação do edifício, a modelação e análise térmica dos sistemas de climatização definidos e a análise aos inquéritos recolhidos para verificar a satisfação e perceção dos utilizadores.

Para auxiliar a modelação do edifício, quer a modelação tridimensional quer a modelação de comportamento térmico, foi utilizado o *software CypeCAD* que é uma ferramenta bastante capaz neste aspeto uma vez que permite a interligação entre os vários tipos de projetos através das diversas ferramentas existentes. Embora muitos dos conceitos e parâmetros não fossem do conhecimento prévio do utilizador, o *software* permitiu uma aquisição de conhecimento do tema muito mais rápida, embora com algumas lacunas que no tempo de elaboração da tese se reconhece não terem permitido um grau de conhecimento que tivesse suportado melhor um mais elaborado cálculo das necessidades e consumos energéticos do edifício, mas que constituiu um excelente desafio para quem teve um curso no ramo da engenharia civil.

Através da modelação térmica do edifício CCCI foi possível obter as necessidades energéticas do edifício através da definição de diversos aspetos, desde os materiais constituintes dos elementos verticais (paredes, vãos e envidraçados) e dos elementos horizontais (lajes e cobertura) bem como

das várias características associadas aos compartimentos habitáveis e não habitáveis. Comparando com as necessidades reais do edifício calculadas por meios mais sofisticados como modelação dinâmica, verificou-se que a modelação realizada foi bastante fiável no que respeita às necessidades de arrefecimento, não se verificando o mesmo para as necessidades de aquecimento, verificando-se que este valor é bastante baixo em comparação com o indicado em projeto e à simulação dinâmica efetuada para o edifício, o que indica um possível erro de utilização do *software* de cálculo ou nos parâmetros do modelo realizado.

Relativamente aos sistemas de climatização definidos no modelo realizado, é de salientar que os sistemas escolhidos foram definidos para serem os únicos a funcionar no edifício, não tendo sido definido qualquer tipo de sistema auxiliar como acontece na realidade.

Em análise aos vários tipos de sistemas de climatização testados verificou-se que, nem todos os sistemas de climatização tradicionais suportaram as necessidades energéticas do modelo criado. Para além disso, verificou-se que as bombas de calor ar/água (utilizadas em sistemas tradicionais) apesar de cumprirem as necessidades energéticas do modelo apresentaram valores bastante elevados o que por si só levaria a uma procura de um sistema mais eficiente. Em análise aos sistemas com bombas de calor geotérmicas, do tipo água/água, verificou-se uma clara vantagem ao nível de consumos obtidos, registando-se que com o aumento dos coeficientes EER (em arrefecimento) e COP (em aquecimento) associados à bomba em utilização, a eficiência energética do sistema aumenta. Na simulação dos sistemas com os coeficientes anteriores mais elevados, verificou-se um ganho bastante significativo, no entanto, apesar destas apresentarem uma melhor eficiência energética, num caso de aplicação real, teriam que ser estudados quais os custos associados à aquisição da bomba (quanto maior o EER e COP, maior será o custo de aquisição da bomba), quais os custos de exploração e manutenção para além de um estudo ao período de retorno do investimento a efetuar. No caso do estudo efetuado nesta dissertação, uma vez que o único aspeto em estudo é a comparação entre os dois tipos de sistemas de climatização e os consumos associados, a tendência foi claramente vantajosa para o uso de sistemas de climatização geotérmicos devido aos baixos consumos de energia apresentados.

No capítulo de estudo da componente social e de comportamento humano, também efetuada neste trabalho, o mesmo baseou-se nas respostas a um inquérito dos utilizadores de vários edifícios da Universidade de Aveiro, tendo sido realizada tanto a análise descritiva como o tratamento estatístico aos resultados obtidos. Em termos de análise estatística, não parametrizada pela regulamentação existente para estudos deste tipo por ser condicionada pelas limitações de conhecimento do universo e da representatividade da amostra, verificou-se que o conjunto de dados recolhidos possuíram uma dimensão pequena condicionando, em alguns aspetos, os resultados.

No entanto tem a positividade de ser um estudo de opinião que é feito pela primeira vez para este tipo de situação, pois não se encontrou bibliografia nem na *web* que tenha sido alguma vez produzido. Abordando a análise estatística aos resultados da produtividade para o espaço de trabalho verificou-se que independentemente do tipo de sistema de climatização presente nos edifícios, a perceção da produtividade dos utilizadores não é muito afetada durante o verão uma vez que estes não sentem desconforto térmico nos seus locais de trabalho habituais em qualquer dos edifícios com diferentes sistemas. No entanto, o mesmo não se verifica quando se trata da perceção da produtividade dos utilizadores durante o inverno, pois verifica-se uma diferença significativa quando se observam os bons resultados referentes a edifícios com sistemas geotérmicos em detrimento dos resultados referentes aos edifícios com sistemas de climatização tradicionais baseados em caldeiras.

Seria importante que esta relação entre os resultados obtidos através da modelação fosse comparada com os resultados dos inquéritos provenientes de um maior número de respostas (maior amostra) e mais representativas do universo em estudo de forma a serem obtidas conclusões com maior grau de exatidão.

5.2. Desenvolvimentos Futuros

Abordando a temática de trabalhos e desenvolvimentos futuros do trabalho realizado nesta dissertação verificam-se alguns aspetos possíveis de desenvolvimento sendo um dos principais a realização de uma modelação mais detalhada do edifício em estudo, quer ao nível de modelação 3D quer ao nível da modelação térmica, o que requer um maior conhecimento sobre os *softwares* utilizados e das próprias características e aspetos do edifício.

Seria importante a realização de inquéritos nos diversos departamentos da Universidade de Aveiro, possuindo uma amostra de maior dimensão, de forma a obter resultados mais conclusivos, sendo estes inquéritos realizados em departamentos com e sem sistemas geotérmicos incorporados.

O aspeto referente aos custos de investimentos, execução e exploração é também um aspeto bastante importante e, na maioria das vezes, decisório no que toca à escolha do tipo de sistema a instalar num edifício. Assim seria importante realizar uma comparação entre os custos associados aos vários sistemas de climatização tradicionais (investimento, manutenção, custo da energia e período de retorno do investimento) e aos sistemas de climatização geotérmicos de forma a que se possa, cada vez mais, realizar a construção de edifícios escolares que ofereçam a melhor qualidade térmica possível.

Referências Bibliográficas

Referências Bibliográficas

[1] L. M. A. Cunha, "Geotermia e Biotermia no contexto sustentável de edifícios escolares," Universidade de Aveiro, 2012.

[2] "DGEG - Direção Geral de Energia e Geologia." - Consultado em fevereiro de 2019.

[3] C. Lourenço, "Enquadramento Legislativo do Aproveitamento dos Recursos Geotérmicos / Geotermia," *1º Seminário da Plataforma Portuguesa de Geotermia Superficial*. 2013.

[4] "Relatório do Estado do Ambiente - Energias Renováveis." - Consultado em setembro de 2019.

[5] P. M. Henriques, "A utilização das fundações na eficiência energética dos edifícios," Universidade de Aveiro, 2011.

[6] P. R. Madureira, "Apresentação da Plataforma Portuguesa de Geotermia Superficial." 2013.

[7] S. S. P. G. Rocha, "Caracterização de Sistemas Hidrotermais de Baixa Entalpia na Ribeira Grande , Ilha de S . Miguel , Açores," Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2011.

[8] J. Lourenço, Carla; Cruz, "Os recusos geotérmicos de baixa entalpia em Portugal Continetal e seu tipo de aproveitamento," vol. 41, no. 2. pp. 175–186, 2006.

[9] C. Lourenço and J. Cruz, "Aproveitamentos geotérmicos em Portugal Continental," in *XV Encontro Nacional do Colégio de Engenharia Geológica e de Minas da Ordem dos Engenheiros*, 2006, pp. 1–9.

[10] A. F. Mota, "Contributo da energia geotérmica no desempenho térmico de um edifício," Universidade de Aveiro, Aveiro, 2016.

[11] H. L. dos S. Lopes, "Sistemas Geotérmicos de Baixa Entalpia - Estudos de Caracterização Térmica," Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2014.

[12] C. S. G. Néri, "Estudo do Comportamento Mecânico de Solos sob Influência de Sistemas Geotérmicos," Universidade de Aveiro, 2016.

[13] M. D. G. Raposo and T. A. S. Pinheiro, "Bombas de Calor Geotérmicas – Enquadramento e Perspetivas," Politécnico da Guarda, 2015.

[14] R. J. L. V. Cruz, "Utilização da Energia Térmica do Solo para Climatização de Edifícios," Universidade de Aveiro, Aveiro, 2013.

[15] A. J. P. C. Aguiar, “Estudo Geotécnico.” Vila do Conde, 2009.

[16] J. Oliveira, “Memória Descritiva - Documento Interno.” Aveiro.

[17] “Caderno de Encargos Arquitectura.” Aveiro.

[18] P. Q. de F. Engenheiros Consultores Lda, “Caderno de Encargos - Instalações mecânicas de tratamento do ar ambiente e desenfumagem.” Aveiro, 2014.

[19] C. Oliveira, Joaquim; Gomes, Ana; Freitas, “Mapa de Vãos Interiores.” Aveiro, 2014.

[20] C. Oliveira, Joaquim; Gomes, Ana; Freitas, “Mapa de Vãos - Envidraçados Interiores.” Aveiro, 2014.

[21] C. Oliveira, Joaquim; Gomes, Ana; Freitas, “Mapa de Vãos - Envidraçados Exteriores - Documento Interno.” Aveiro, 2014.

[22] C. Enginieros, “Manual do Utilizador - IFC Builder.” 2017.

[23] C. Enginieros, “Manual do Utilizador - Cypetherm EPlus.” 2016.

[24] R. L. Hedrick *et al.*, “Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality,” vol. 2013. Atlanta, 2013.

[25] S. Halverson, M.; Rosenberg, M.; Wang, W.; Zhang, J.; Mendon, V.; Athalye, R.; Xie, Y.; Hart, R.; Goel, “ANSI / ASHRAE / IES Standard 90 . 1-2013 Determination of Energy Savings : Quantitative Analysis,” no. August. U.S. Department of Energy, Washington, 2014.

[26] L. Santos, Carlos A. Pina dos; Matias, “Coeficientes de Transmissão Térmica de Elementos da Envolvente dos Edifícios.” LNEC, Lisboa, 2006.

[27] “Regulamento de Desempenho Energético em Edifícios de Habitação (REH) - Síntese da Regulamentação Aplicável.” Coimbra, 2013.

[28] A. R. C. S. Oliveira, “Avaliação da Incerteza na Determinação dos Índices de Conforto Térmico PMV e PPD,” Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, 2008.

[29] A. A. de P. Lamberts, Roberto; Xavier, “Conforto Térmico e Stress Térmico,” Universidade Federal de Santa Catarina, 2002.

[30] C. Ingenieros, “Manual do Utilizador - Cypetherm Loads.” 2018.

[31] J. Marôco, “Análise Estatística com o SPSS Statistics”, 7ª Edição, ReportNumber Lda, 2018

Anexos

Anexos

Anexo I – Materiais e dimensões

Neste anexo encontram-se as tabelas referentes às dimensões dos vãos e envidraçados exteriores e interiores.

Tabela A. 1 – Resumo dos vãos referentes ao edifício do CCCI

Designação	Dimensões (m)	Características
P1	0.90x2.10	E30C
P1A	0.90x2.10	E30C, com barra antipânico
P1B	0.90x2.10	E15C, com barra antipânico
P2	1.80x2.10	E30C
P3	1.80x2.10	E30C, folheada a chapa metálica num dos lados e respetivas testas
P4	1.80x2.10	E15C, com barra antipânico
P4A	1.80x2.10	E15C, com barra antipânico e revestido a chapa metálica num dos lados e respetivas testas
P5	2.50x2.10	E30C, com barra antipânico
P5A	2.50x2.10	E30C, com barra antipânico e revestida a chapa metálica num dos lados e respetivas testas
P6	0.90x2.10	
P8	0.90x2.10	
P9	0.90x2.10	
P10	1.60x2.10	E30C, com óculo
P11	2.80x2.10	
P12	1.80x2.10	
P13	9.50x6.80	De fole e encartar
P14	7.00x3.00	De fole e encartar

Tabela A. 2 - Resumo dos envidraçados interiores referentes ao edifício do CCCI

Designação	Dimensões (m)	Características
Vi 01	1.04x2.20	
Vi 02	6.07x2.90	3 panos fixos
Vi 03	1.45x2.90	
Vi 04	3.25x2.90	2 panos fixos e 2 panos de abrir
Vi 05	3.89x2.90	1 pano fixo e 1 pano de abrir
Vi 06	1.44x2.90	1 pano fixo e 1 pano de abrir
Vi 07	6.07x2.90	
Vi 08	3.20x2.90	
Vi 09	3.89x2.10	1 pano fixo e 1 pano de abrir
Vi 10	3.29x2.96	
Vi 11	2.00x1.57	

Tabela A. 3 - Resumo dos envidraçados exteriores referentes ao edifício do CCCI

Designação	Dimensões (m)	Características
Ve 01	7.06x2.90	Acabamento anodizado a cor natural e peitoris em chapa de alumínio anodizado à cor do caixilho
Ve 02	7.20x2.90	Acabamento anodizado a cor natural e peitoris em chapa de alumínio anodizado à cor do caixilho
Ve 03	7.20x2.90	Acabamento anodizado a cor natural e peitoris em chapa de alumínio anodizado à cor do caixilho
Ve 03a	7.05x2.90	Acabamento anodizado a cor natural e peitoris em chapa de alumínio anodizado à cor do caixilho
Ve 04	6.89x2.00	Acabamento anodizado a cor natural e peitoris em chapa de alumínio anodizado à cor do caixilho
Ve 05	3.50x1.30	Acabamento anodizado a cor natural e peitoris em chapa de alumínio anodizado à cor do caixilho
Ve 05a	3.56x1.30	Acabamento anodizado a cor natural e peitoris em chapa de alumínio anodizado à cor do caixilho
Ve 06	3.61x1.30	Acabamento anodizado a cor natural e peitoris em chapa de alumínio anodizado à cor do caixilho

Ve 07	2.25x2.90	Acabamento anodizado a cor natural e peitoris em chapa de alumínio anodizado à cor do caixilho
Ve 08	3.50x2.90	Acabamento anodizado a cor natural e peitoris em chapa de alumínio anodizado à cor do caixilho
Ve 09	3.61x2.90	Acabamento anodizado a cor natural e peitoris em chapa de alumínio anodizado à cor do caixilho
Ve 10	3.61x2.90	Acabamento anodizado a cor natural e peitoris em chapa de alumínio anodizado à cor do caixilho
Ve 11	6.89x2.90	Acabamento anodizado a cor natural e peitoris em chapa de alumínio anodizado à cor do caixilho
Ve 12	3.50x2.00	Acabamento anodizado a cor natural e peitoris em chapa de alumínio anodizado à cor do caixilho
Ve 12a	3.56x2.00	Acabamento anodizado a cor natural e peitoris em chapa de alumínio anodizado à cor do caixilho
Ve 13	3.61x2.00	Acabamento anodizado a cor natural e peitoris em chapa de alumínio anodizado à cor do caixilho
Ve 14	3.50x2.00	Acabamento anodizado a cor natural e peitoris em chapa de alumínio anodizado à cor do caixilho
Ve 14a	3.50x2.00	Acabamento anodizado a cor natural e peitoris em chapa de alumínio anodizado à cor do caixilho
Ve 15	3.61x2.00	Acabamento anodizado a cor natural e peitoris em chapa de alumínio anodizado à cor do caixilho
Ve 16	3.56x2.00	Acabamento anodizado a cor natural e peitoris em chapa de alumínio anodizado à cor do caixilho
Ve 17	2.25x2.90	Acabamento anodizado a cor natural e peitoris em chapa de alumínio anodizado à cor do caixilho
Ve 18	3.39x2.90	Acabamento anodizado a cor natural e peitoris em chapa de alumínio anodizado à cor do caixilho
Ve 18a	3.39x2.90	Acabamento anodizado a cor natural e peitoris em chapa de alumínio anodizado à cor do caixilho
Ve 19	3.39x2.90	Acabamento anodizado a cor natural e peitoris em chapa de alumínio anodizado à cor do caixilho

Ve 20	0.46x2.90	Acabamento anodizado a cor natural e peitoris em chapa de alumínio anodizado à cor do caixilho incluindo chapa de revestimento dos elementos estruturais de fixação
Ve 21	3.29x2.90	Acabamento anodizado a cor natural e peitoris em chapa de alumínio anodizado à cor do caixilho incluindo chapa de revestimento dos elementos estruturais de fixação
Ve 22	3.19x2.90	Acabamento anodizado a cor natural e peitoris em chapa de alumínio anodizado à cor do caixilho incluindo chapa de revestimento dos elementos estruturais de fixação
Ve 23	5.24x2.90	Acabamento anodizado a cor natural e peitoris em chapa de alumínio anodizado à cor do caixilho incluindo chapa de revestimento dos elementos estruturais de fixação
Ve 24	3.13x2.90	Acabamento anodizado a cor natural e peitoris em chapa de alumínio anodizado à cor do caixilho incluindo chapa de revestimento dos elementos estruturais de fixação
Ve 25	3.30x2.90	Acabamento anodizado a cor natural e peitoris em chapa de alumínio anodizado à cor do caixilho incluindo chapa de revestimento dos elementos estruturais de fixação
Ve 26	3.67x2.90	Acabamento anodizado a cor natural e peitoris em chapa de alumínio anodizado à cor do caixilho incluindo chapa de revestimento dos elementos estruturais de fixação
Ve 27	3.53x2.90	Acabamento anodizado a cor natural e peitoris em chapa de alumínio anodizado à cor do caixilho incluindo chapa de revestimento dos elementos estruturais de fixação
Ve 28	3.93x2.90	Acabamento anodizado a cor natural e peitoris em chapa de alumínio anodizado à cor do caixilho incluindo chapa de revestimento dos elementos estruturais de fixação
Ve 29	3.44x2.90	Acabamento anodizado a cor natural e peitoris em chapa de alumínio anodizado à cor do caixilho incluindo chapa de revestimento dos elementos estruturais de fixação
Ve 30	3.71x2.90	Acabamento anodizado a cor natural e peitoris em chapa de alumínio anodizado à cor do caixilho incluindo chapa de revestimento dos elementos estruturais de fixação

Ve 31	2.60x2.90	Acabamento anodizado a cor natural e peitoris em chapa de alumínio anodizado à cor do caixilho incluindo chapa de revestimento dos elementos estruturais de fixação
Ve 32	3.71x2.90	Acabamento anodizado a cor natural e peitoris em chapa de alumínio anodizado à cor do caixilho incluindo chapa de revestimento dos elementos estruturais de fixação
Ve 33	2.02x2.90	Acabamento anodizado a cor natural e peitoris em chapa de alumínio anodizado à cor do caixilho incluindo chapa de revestimento dos elementos estruturais de fixação

Anexo II – Paredes e suas características

Neste anexo apresentam-se os esquemas e características das paredes exteriores e interiores, com a lista dos materiais utilizados e respetivas espessuras.

Paredes Exteriores

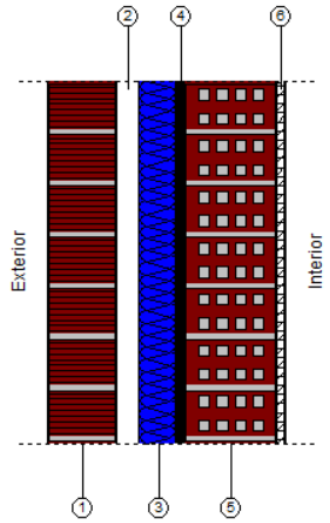


Figura A. 1 – Parede exterior (39 cm)

1. Tijolo maciço (11 cm)
2. Caixa de ar: 4 cm
3. Poliestireno extrudido (XPS): 6 cm
4. Membrana flexível impregnada com betume: 1,50 cm
5. Tijolo cerâmico furado (15 cm)
6. Placa de gesso cartonado: 1,50 cm

Espessura total: 39,00 cm

Coeficiente de transmissão térmica (U): 0,38 W/(m^2·K)

Paredes Interiores

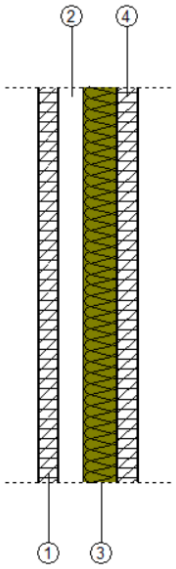
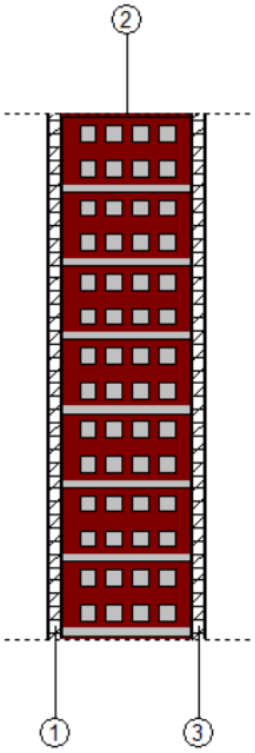


Figura A. 2 – Parede interior (15 cm)

1. Placa de gesso cartonado: 3 cm
2. Caixa de ar: 4 cm
3. Aglomerado de cortiça natural: 5 cm
4. Placa de gesso cartonado: 3 cm

Espessura total: 15 cm

Coeficiente de transmissão térmica (U): 0,63 W/(m^2·K)

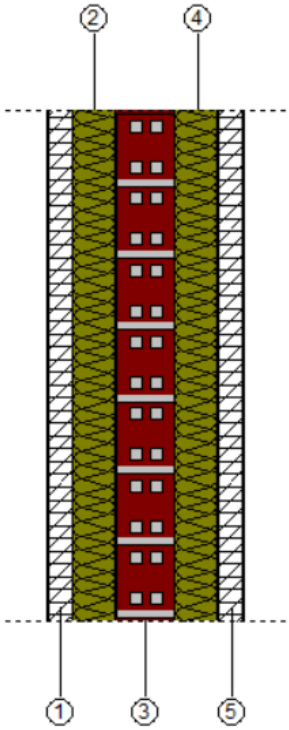


1. Placa de gesso cartonado: 1,50 cm
2. Tijolo cerâmico furado (15 cm)
3. Placa de gesso cartonado: 1,50 cm

Espessura total: 18 cm

Coeficiente de transmissão térmica (U): 1,30 W/(m^2·K)

Figura A. 3 – Parede interior (18 cm)



1. Placa de gesso cartonado: 3 cm
2. Aglomerado de cortiça natural: 5 cm
3. Tijolo cerâmico furado (7 cm)
4. Aglomerado de cortiça natural: 5 cm
5. Placa de gesso cartonado: 3 cm

Espessura total: 23 cm

Coeficiente de transmissão térmica (U): 0,40 W/(m^2·K)

Figura A. 4 – Parede interior (23 cm)

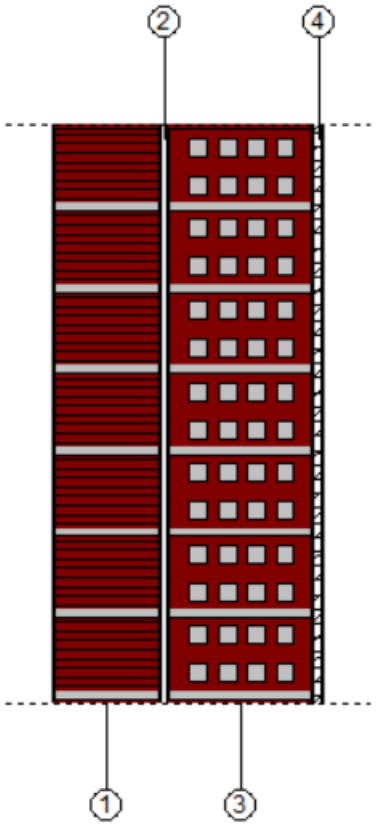


Figura A. 5 – Parede interior (28 cm)

1. Tijolo maciço (11 cm)
2. Caixa de ar: 1 cm
3. Tijolo cerâmico furado (15 cm)
4. Placa de gesso cartonado: 1 cm

Espessura total: 28 cm

Coeficiente de transmissão térmica (U): 1,02 W/(m^2·K)

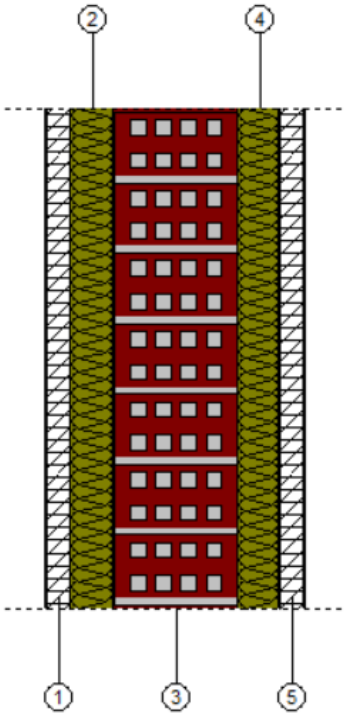
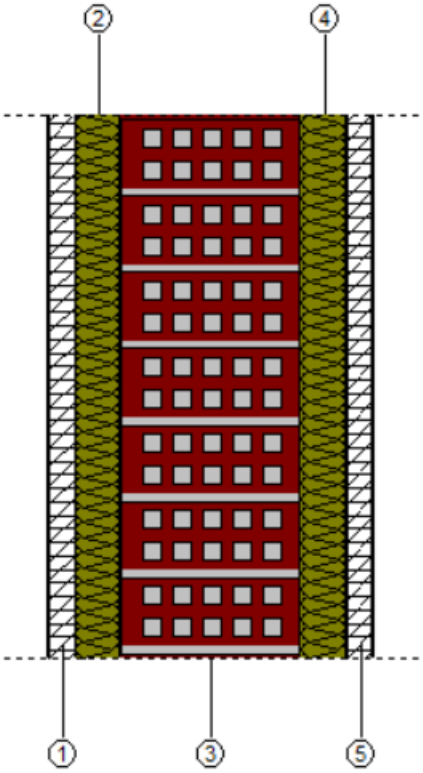


Figura A. 6 – Parede interior (31 cm)

1. Placa de gesso cartonado: 3 cm
2. Aglomerado de cortiça natural: 5 cm
3. Tijolo cerâmico furado (15 cm)
4. Aglomerado de cortiça natural: 5 cm
5. Placa de gesso cartonado: 3 cm

Espessura total: 31 cm

Coeficiente de transmissão térmica (U): 0,37 W/(m^2·K)

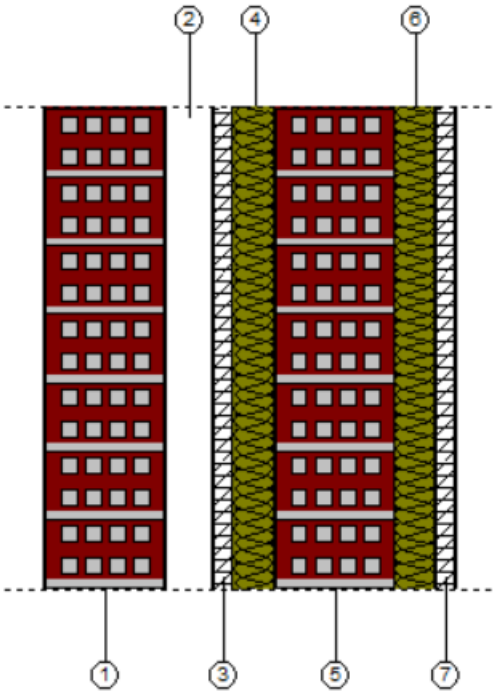


1. Placa de gesso cartonado: 3 cm
2. Aglomerado de cortiça natural: 5 cm
3. Tijolo cerâmico furado (20 cm)
4. Aglomerado de cortiça natural: 5 cm
5. Placa de gesso cartonado: 3 cm

Espessura total: 36 cm

Coeficiente de transmissão térmica (U): 0,35 W/(m^2·K)

Figura A. 7 – Parede interior (36 cm)



1. Tijolo cerâmico furado (15 cm)
2. Caixa de ar: 6 cm
3. Placa de gesso cartonado: 2,50 cm
4. Aglomerado de cortiça natural: 5 cm
5. Tijolo cerâmico furado (15 cm)
6. Aglomerado de cortiça natural: 5 cm
7. Placa de gesso cartonado: 2,50 cm

Espessura total: 51 cm

Coeficiente de transmissão térmica (U): 0,31 W/(m^2·K)

Figura A. 8 – Parede interior (51 cm)

Anexo III – Inquérito

Neste anexo apresenta-se o inquérito realizado nos departamentos referidos anteriormente.

Este inquérito insere-se na dissertação de mestrado intitulada de "Sustentabilidade Térmica: Impacto dos Sistemas Geotérmicos na Climatização de Edifícios Escolares". O intuito será a obtenção da caracterização do conforto térmico e qualidade do ar dos espaços que os utilizadores habituais utilizam durante o seu dia-a-dia.

O inquérito é totalmente anónimo e demora cerca de 2/3 minutos.

1. Sexo?

Masculino	
Feminino	

2. Qual a sua idade?

17 a 25 anos	
26 a 30 anos	
31 a 45 anos	
46 a 60 anos	
+ 60 anos	

3. Qual é o departamento que frequenta?

Departamento de Engenharia Civil	
Departamento de Física – Complexo de Laboratórios	
CICFANO	
DECA	

4. Qual é a sua função no departamento?

Docente	
Funcionário (a)	
Investigador (a)	
Aluno (a)	
Outra	

5. Em que altura costuma utilizar as instalações do departamento?

Manhã (08h00 às 13h00)	
Tarde (13h00 às 19h00)	
Noite (19h00 às 08h00)	

6. Durante os meses de Inverno sente-se termicamente confortável no seu departamento?

1 - Nada Confortável	2	3	4	5 – Bastante Confortável

7. Durante os meses de Verão sente-se termicamente confortável no seu departamento?

1 - Nada Confortável	2	3	4	5 – Bastante Confortável

8. Qual é o espaço do departamento que mais utiliza no seu dia-a-dia?

Gabinete Individual	
Gabinete Coletivo	
Open Space	
Laboratório(s)	
Sala de aula	
Outro	

9. Para além da climatização do próprio edifício, utiliza equipamentos auxiliares (aquecedor, ventoinhas, etc.) no seu espaço de trabalho?

Sim	
Não	

10. Relativamente ao conforto térmico e à qualidade do ar, como classifica a sua produtividade no seu espaço de trabalho?

Conforto Térmico:

1 - Mau	2	3 - Suficiente	4	5 – Ótimo

Qualidade do Ar:

1 - Mau	2	3 - Suficiente	4	5 – Ótimo

Anexo IV – Resultados do inquérito

Neste anexo apresentam-se os resultados das respostas obtidas nos inquéritos bem como os gráficos associados.

Departamento de Engenharia Civil

- Qual a sua nacionalidade?

Nacionalidade	
Portugal	49
Síria	1
Brasil	1

Figura A. 9 – Nacionalidade (DECivil)

- Sexo?

Género	
Masculino	31
Feminino	20

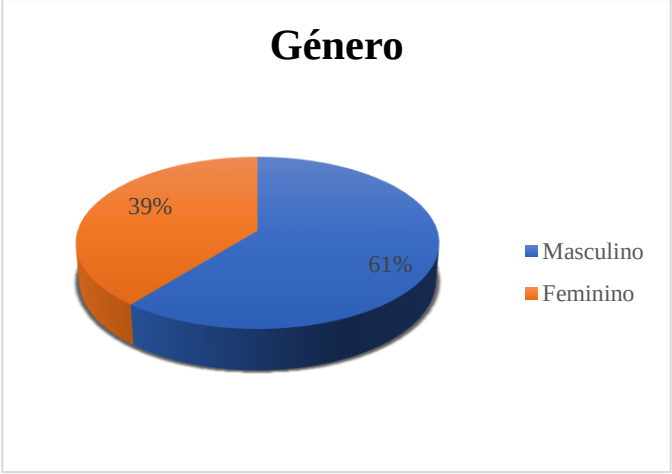


Figura A. 10 – Género (DECivil)

- Qual a sua idade?

Idade	
17 a 25	31
26 a 45	16
46 a 60	4
mais de 60	0

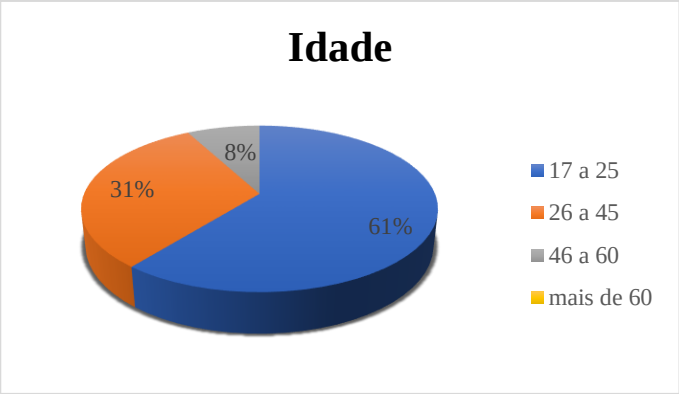


Figura A. 11 – Idade (DECivil)

- Qual é a sua função no departamento?

Função no Departamento	
Alunos	29
Docente	4
Funcionário (a)	2
Investigador (a)	13
Outra	3

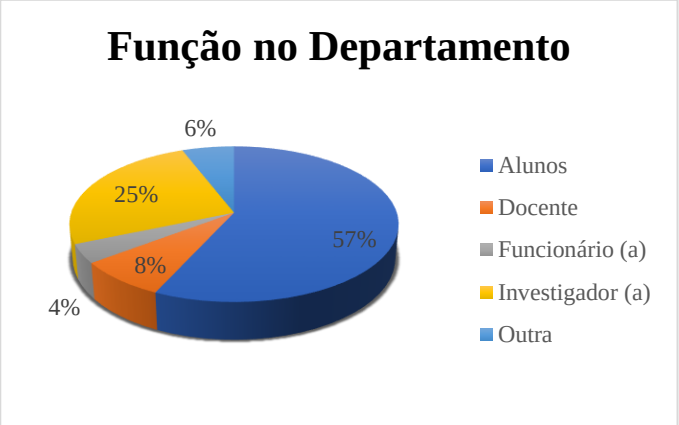


Figura A. 12 – Função do Utilizador no Departamento (DECivil)

- Em que altura costuma utilizar as instalações do departamento?

Período de Ocupação	
Manhã	47
Tarde	48
Noite	12

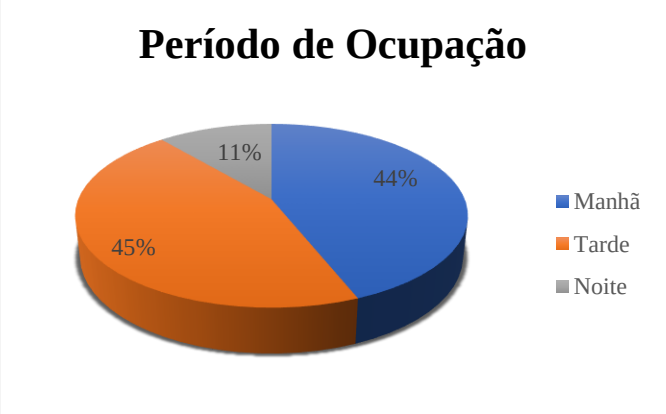


Figura A. 13 – Período de Ocupação (DECivil)

- Durante os meses de inverno sente-se termicamente confortável no seu departamento?

Conforto Térmico - Inverno	
1 - Nada Confortável	23
2	16
3	10
4	1
5 - Bastante Confortável	1

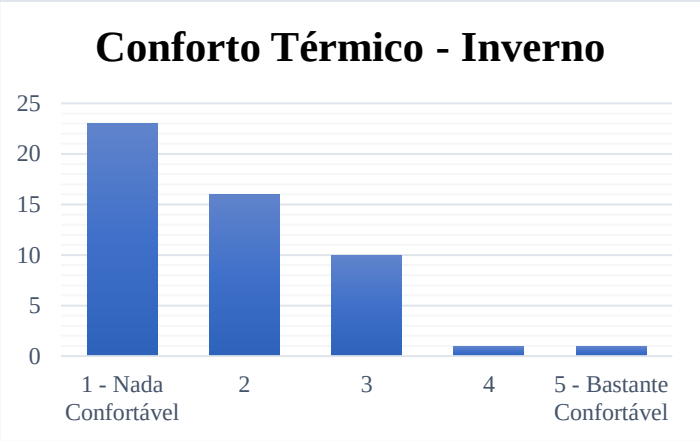


Figura A. 14 – Conforto Térmico percebido - Inverno (DECivil)

- Durante os meses de verão sente-se termicamente confortável no seu departamento?

Conforto Térmico - Verão	
1 - Nada Confortável	7
2	6
3	16
4	15
5 - Bastante Confortável	7

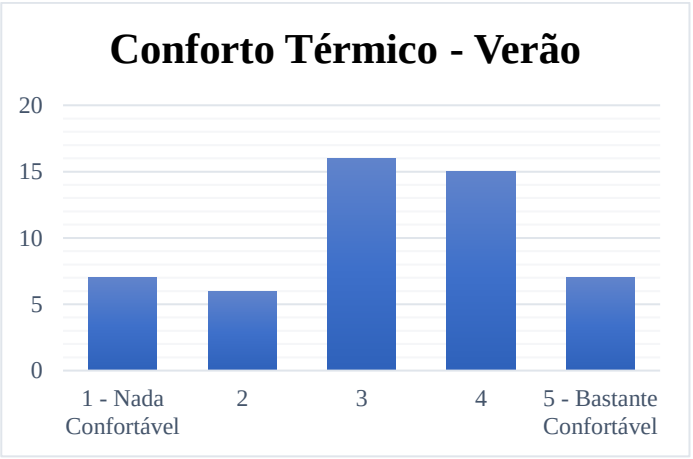


Figura A. 15 – Confoto Térmico percebido - Verão (DECivil)

- Qual é o espaço do departamento que mais utiliza no seu dia-a-dia?

Espaço de Ocupação	
Gabinete Individual	4
Gabinete Coletivo	0
Open Space	27
Laboratório	3
Sala de Aula	17

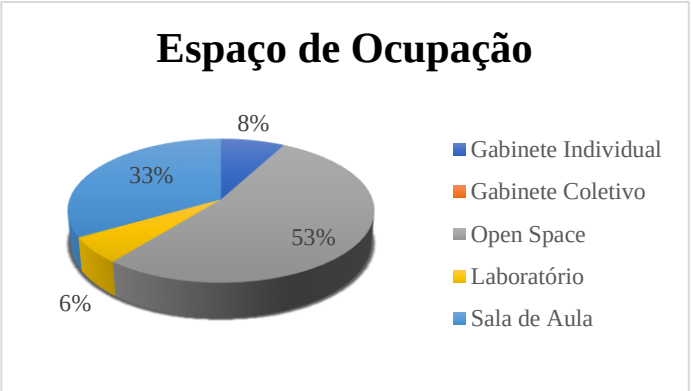


Figura A. 16 – Tipo de espaço ocupado (DECivil)

- Para além da climatização do próprio edifício, utiliza equipamentos auxiliares (aquecedor, ventoinhas, etc.) no seu espaço de trabalho?

Equipamentos Auxiliares	
Sim	27
Não	24

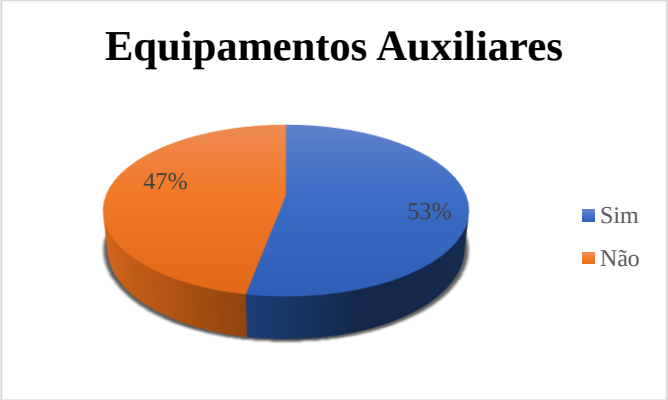


Figura A. 17 – Utilização de Equipamentos Auxiliares (DECivil)

- Relativamente ao conforto térmico, como classifica a sua produtividade no seu espaço de trabalho?

Produtividade (Conforto Térmico)	
1 - Mau	13
2	19
3 - Suficiente	15
4	3
5 - Ótimo	1

Figura A. 18 – Produtividade percebida – Conforto Térmico (DECivil)

- Relativamente à qualidade do ar, como classifica a sua produtividade no seu espaço de trabalho?

Produtividade (Qualidade do Ar)	
1 - Mau	1
2	16
3 - Suficiente	15
4	13
5 - Ótimo	6

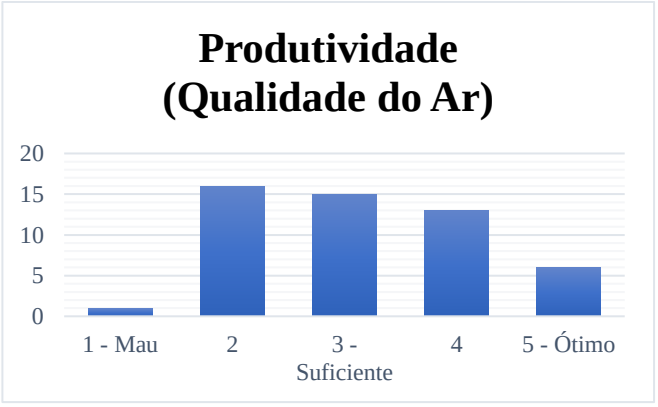


Figura A. 19 – Produtividade percebida – Qualidade do Ar (DECivil)

Complexo Interdisciplinar de Ciências Físicas Aplicadas à Nanotecnologia e à Oceanografia

- Qual a sua nacionalidade?

Nacionalidade	
Portugal	23
India	1
China	1
Brasil	1

Figura A. 20 – Nacionalidade (CICFANO)

- Sexo?

Género	
Masculino	17
Feminino	9

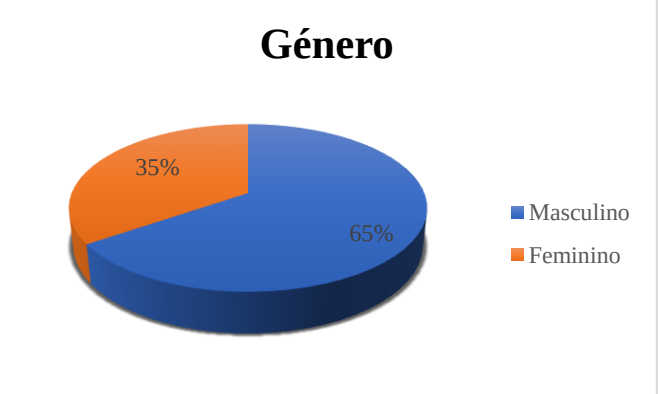


Figura A. 21 – Género (CICFANO)

- Qual a sua idade?

Idade	
17 a 25	5
26 a 45	18
46 a 60	3
mais de 60	0

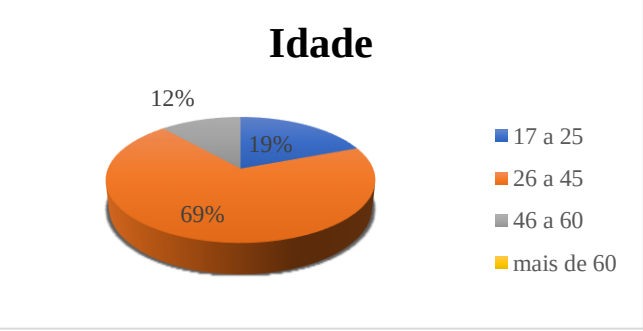


Figura A. 22 – Idade (CICFANO)

- Qual é a sua função no departamento?

Função no Departamento	
Alunos	6
Docente	2
Funcionário (a)	2
Investigador (a)	16
Outra	0

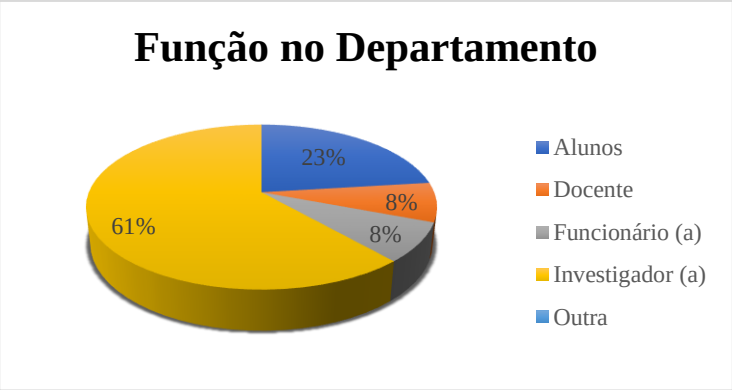


Figura A. 23 – Função do Utilizador no Departamento (CICFANO)

- Em que altura costuma utilizar as instalações do departamento?

Período de Ocupação	
Manhã	24
Tarde	25
Noite	3

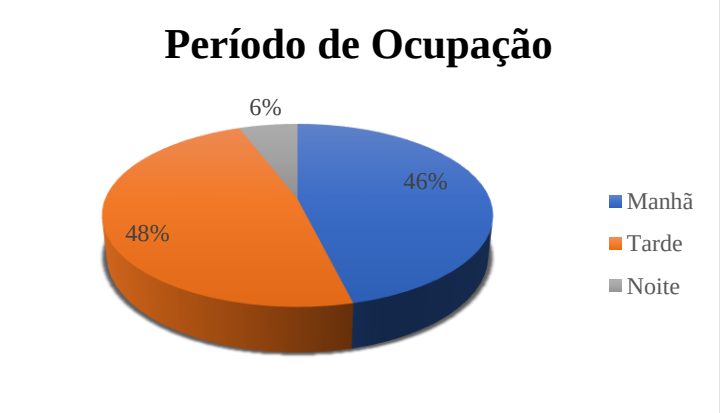


Figura A. 24 – Período de Ocupação (CICFANO)

- Durante os meses de inverno sente-se termicamente confortável no seu departamento?

Conforto Térmico - Inverno	
1 - Nada Confortável	3
2	5
3	6
4	10
5 - Bastante Confortável	2

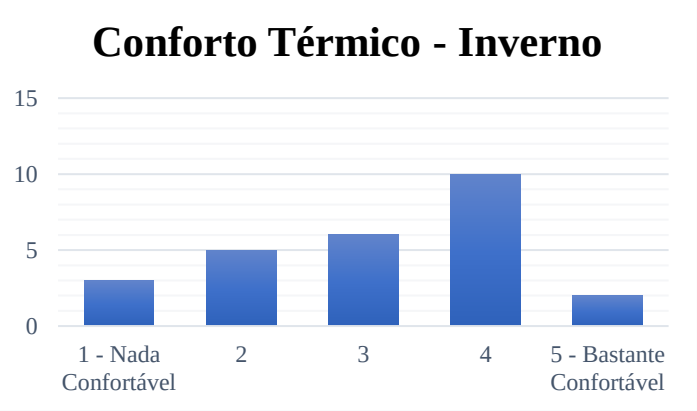


Figura A. 25 – Conforto Térmico percebido - Inverno (CICFANO)

- Durante os meses de verão sente-se termicamente confortável no seu departamento?

Conforto Térmico - Verão	
1 - Nada Confortável	5
2	6
3	5
4	5
5 - Bastante Confortável	4

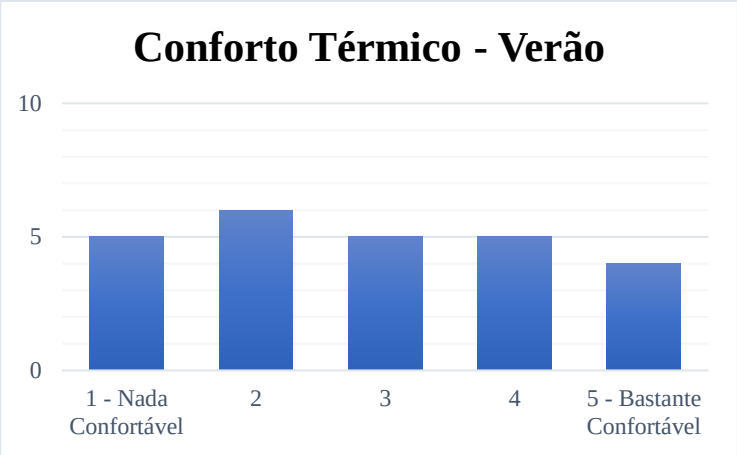


Figura A. 26 – Conforto Térmico percebido - Verão (CICFANO)

- Qual é o espaço do departamento que mais utiliza no seu dia-a-dia?

Espaço de Ocupação	
Gabinete Individual	3
Gabinete Coletivo	16
Open Space	3
Laboratório	10
Sala de Aula	0

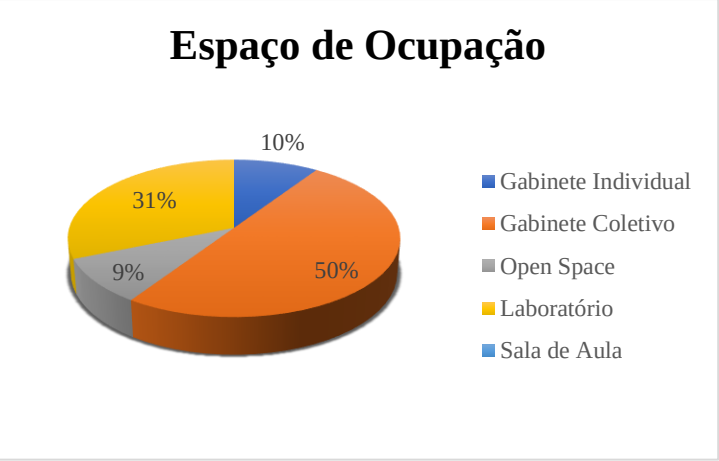


Figura A. 27 – Tipo de Espaço Ocupado (CICFANO)

- Para além da climatização do próprio edifício, utiliza equipamentos auxiliares (aquecedor, ventoinhas, etc.) no seu espaço de trabalho?

Equipamentos Auxiliares	
Sim	8
Não	18

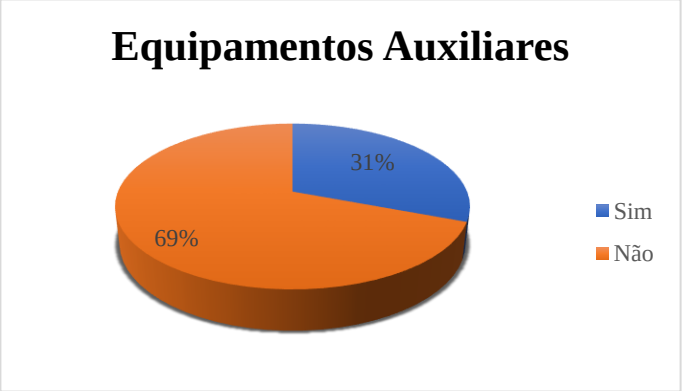


Figura A. 28 – Utilização de Equipamentos Auxiliares (CICFANO)

- Relativamente ao conforto térmico, como classifica a sua produtividade no seu espaço de trabalho?

Produtividade (Conforto Térmico)	
1 - Mau	1
2	4
3 - Suficiente	9
4	9
5 - Ótimo	3

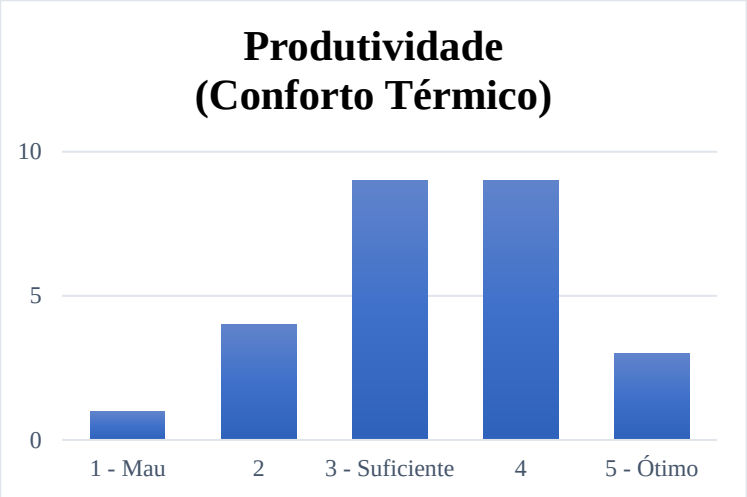


Figura A. 29 – Produtividade percebida – Conforto Térmico (CICFANO)

- Relativamente à qualidade do ar, como classifica a sua produtividade no seu espaço de trabalho?

Produtividade (Qualidade do Ar)	
1 - Mau	0
2	3
3 - Suficiente	9
4	6
5 - Ótimo	8

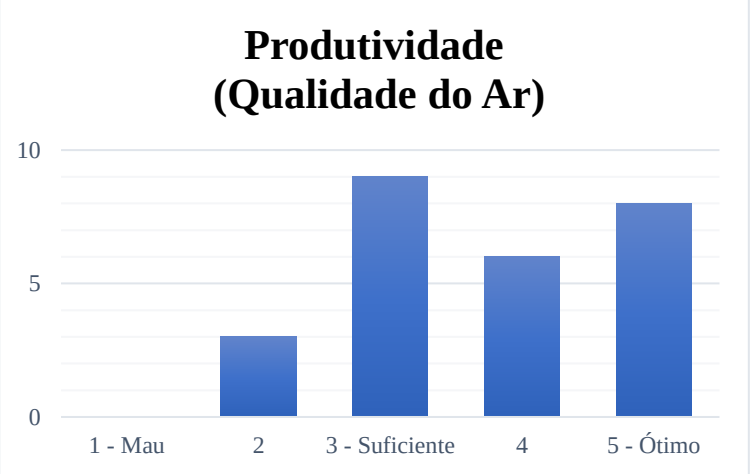


Figura A. 30 – Produtividade percebida – Qualidade do Ar (CICFANO)

Complexo das Ciências da Comunicação e Imagem

- Qual a sua nacionalidade?

Nacionalidade	
Portugal	88
Brasil	2

Figura A. 31 – Nacionalidade (CCCI)

- Sexo?

Género	
Masculino	31
Feminino	59

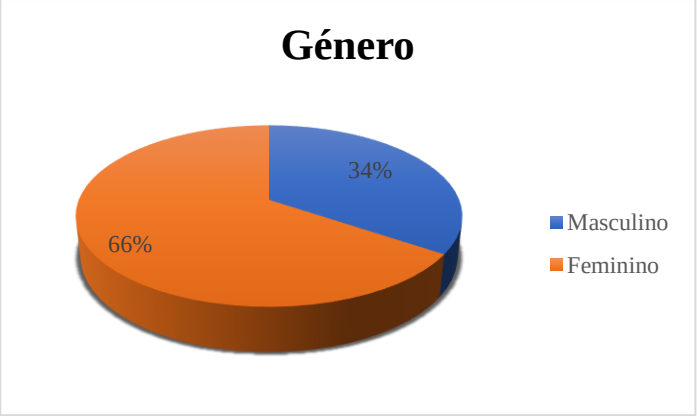


Figura A. 32 – Género (CCCI)

- Qual a sua idade?

Idade	
17 a 25	62
26 a 45	22
46 a 60	6
mais de 60	0

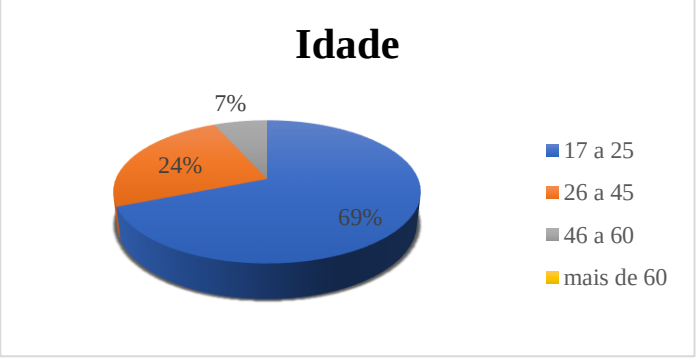


Figura A. 33 – Idade (CCCI)

- Qual é a sua função no departamento?

Função no Departamento	
Alunos	73
Docente	10
Funcionário (a)	1
Investigador (a)	6
Outra	0

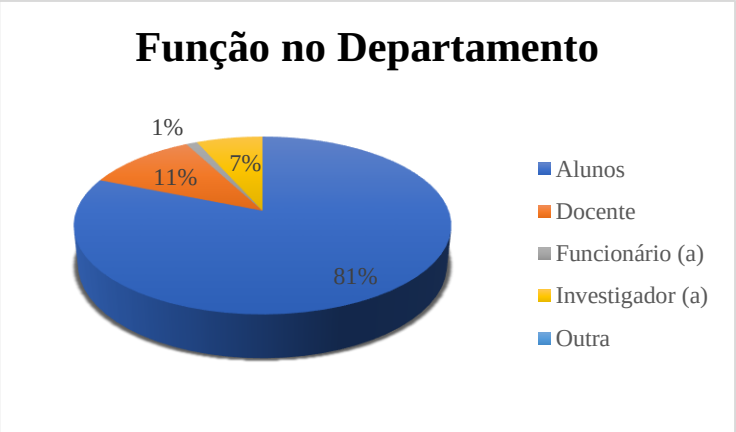


Figura A. 34 – Função do Utilizador no Departamento (CCCI)

- Em que altura costuma utilizar as instalações do departamento?

Período de Ocupação	
Manhã	81
Tarde	84
Noite	35

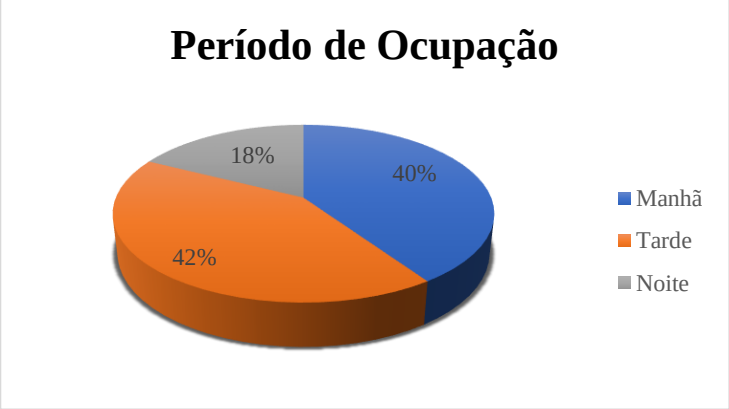


Figura A. 35 – Período de Ocupação (CCCI)

- Durante os meses de inverno sente-se termicamente confortável no seu departamento?

Conforto Térmico - Inverno	
1 - Nada Confortável	3
2	30
3	19
4	26
5 - Bastante Confortável	12

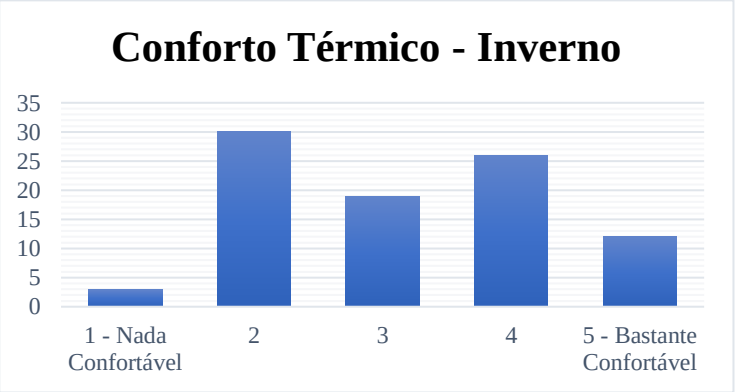


Figura A. 36 – Conforto Térmico percebido - Inverno (CCCI)

- Durante os meses de verão sente-se termicamente confortável no seu departamento?

Conforto Térmico - Verão	
1 - Nada Confortável	10
2	22
3	21
4	30
5 - Bastante Confortável	7

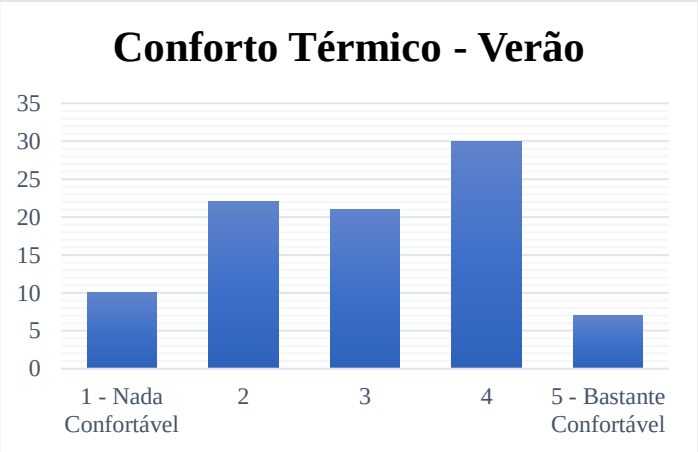


Figura A. 37 – Conforto Térmico percebido - Verão (CCCI)

- Qual é o espaço do departamento que mais utiliza no seu dia-a-dia?

Espaço de Ocupação	
Gabinete Individual	4
Gabinete Coletivo	8
Open Space	16
Laboratório	3
Sala de Aula	59

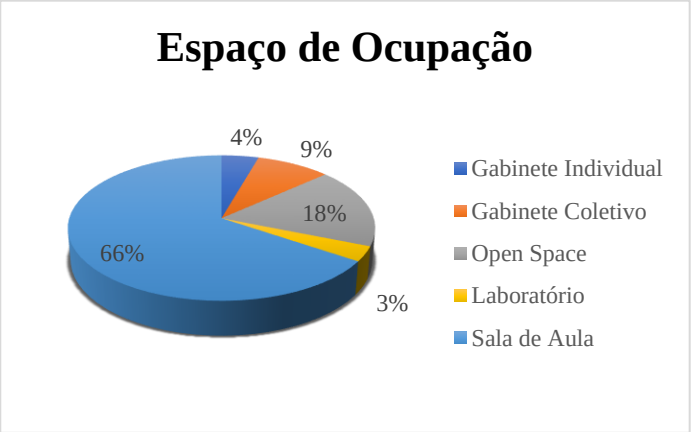


Figura A. 38 – Espaço de Ocupação (CCCI)

- Para além da climatização do próprio edifício, utiliza equipamentos auxiliares (aquecedor, ventoinhas, etc.) no seu espaço de trabalho?

Equipamentos Auxiliares	
Sim	27
Não	63

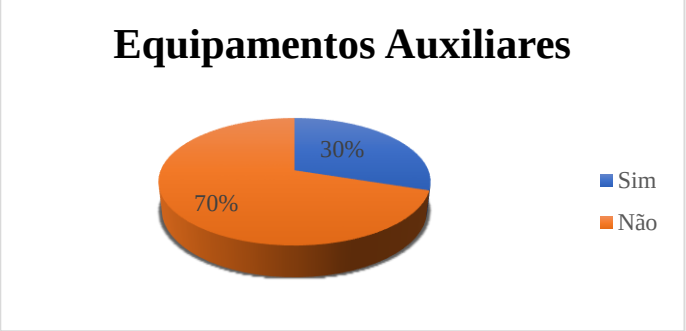


Figura A. 39 – Utilização de Equipamentos Auxiliares (CCCI)

- Relativamente ao conforto térmico, como classifica a sua produtividade no seu espaço de trabalho?

Produtividade (Conforto Térmico)	
1 - Mau	6
2	24
3 - Suficiente	36
4	18
5 - Ótimo	6

Figura A. 40 – Produtividade percebida – Conforto Térmico (CCCI)

- Relativamente à qualidade do ar, como classifica a sua produtividade no seu espaço de trabalho?

Produtividade (Qualidade do Ar)	
1 - Mau	1
2	16
3 - Suficiente	37
4	33
5 - Ótimo	3

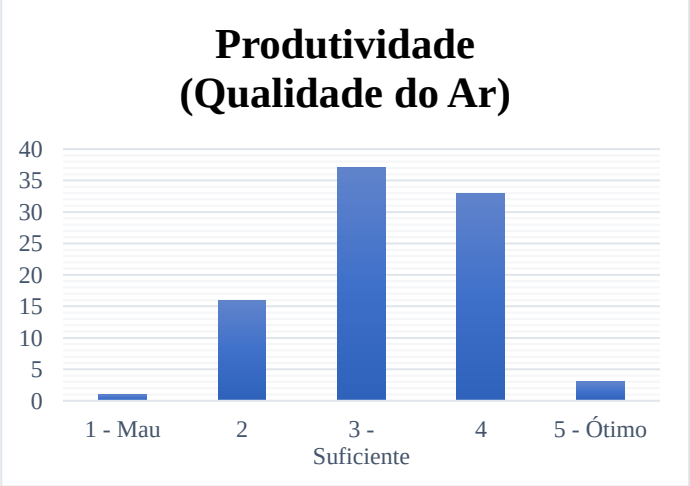


Figura A. 41 – Produtividade percebida – Qualidade do Ar (CCCI)

Complexo de Laboratórios Tecnológicos

- Qual a sua nacionalidade?

Nacionalidade	
Portugal	33
Brasil	1

Figura A. 42 – Nacionalidade (CLabTec)

- Sexo?

Género	
Masculino	15
Feminino	19

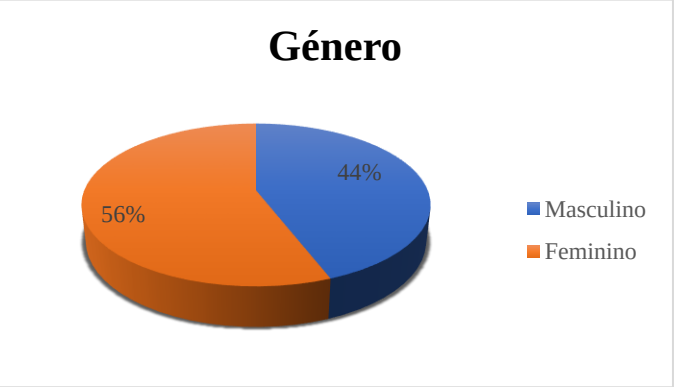


Figura A. 43 – Género (CLabTec)

- Qual a sua idade?

Idade	
17 a 25	8
26 a 45	23
46 a 60	3
mais de 60	0

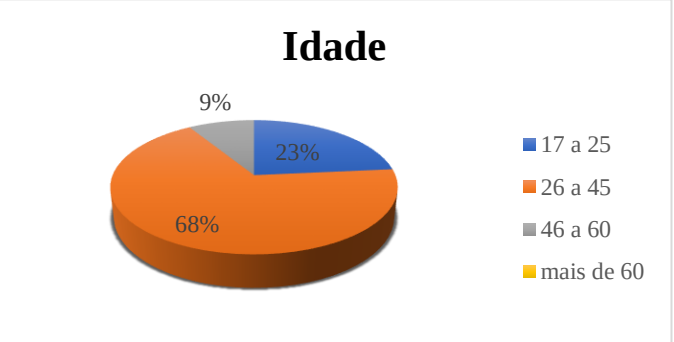


Figura A. 44 – Idade (CLabTec)

- Qual é a sua função no departamento?

Função no Departamento	
Alunos	9
Docente	3
Funcionário (a)	2
Investigador (a)	22
Outra	0

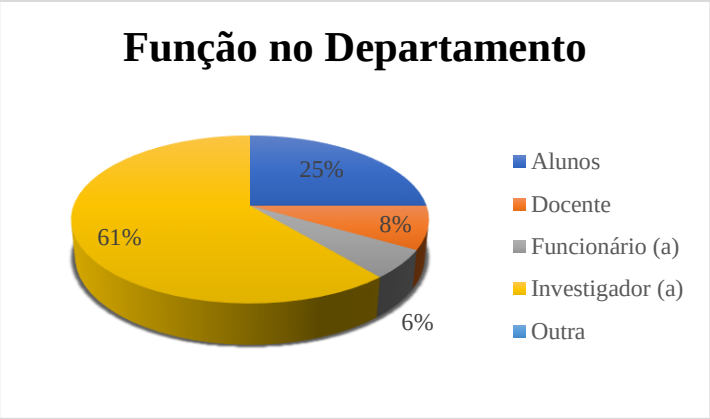


Figura A. 45 – Função do Utilizador no Departamento (CLabTec)

- Em que altura costuma utilizar as instalações do departamento?

Período de Ocupação	
Manhã	34
Tarde	34
Noite	1

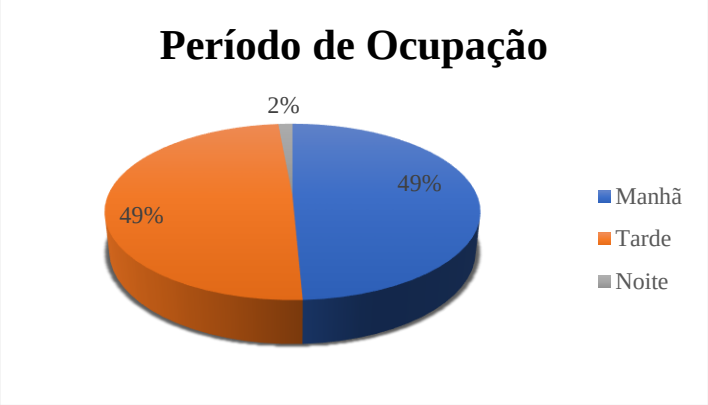


Figura A. 46 – Período de Ocupação (CLabTec)

- Durante os meses de inverno sente-se termicamente confortável no seu departamento?

Conforto Térmico - Inverno	
1 - Nada Confortável	13
2	7
3	6
4	6
5 - Bastante Confortável	2

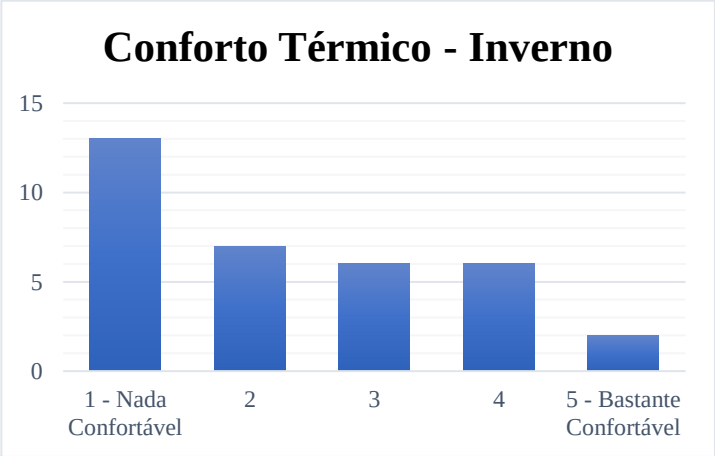


Figura A. 47 – Conforto Térmico percebido - Inverno (CLabTec)

- Durante os meses de verão sente-se termicamente confortável no seu departamento?

Conforto Térmico - Verão	
1 - Nada Confortável	3
2	5
3	10
4	10
5 - Bastante Confortável	1

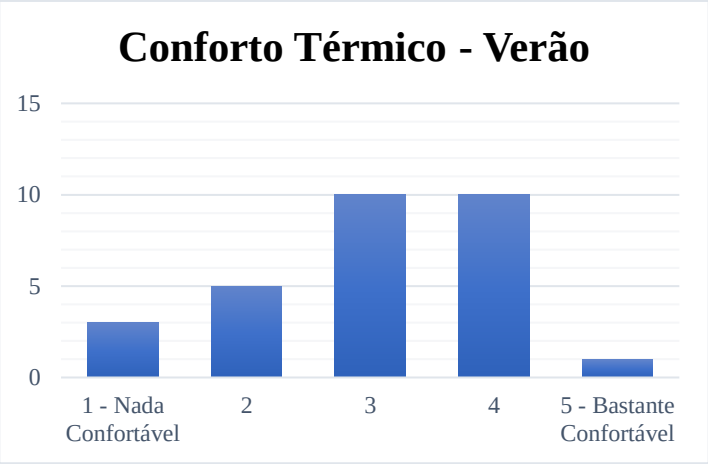


Figura A. 48 – Conforto Térmico percebido - Verão (CLabTec)

- Qual é o espaço do departamento que mais utiliza no seu dia-a-dia?

Espaço de Ocupação	
Gabinete Individual	3
Gabinete Coletivo	13
Open Space	2
Laboratório	26
Sala de Aula	4

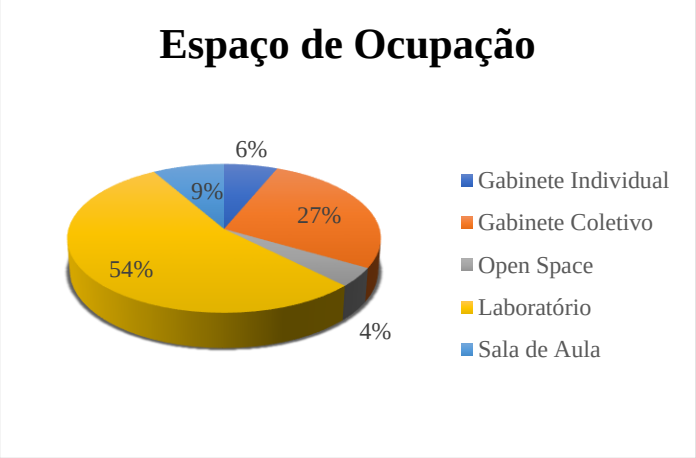


Figura A. 49 – Tipo de Espaço Ocupado (CLabTec)

- Para além da climatização do próprio edifício, utiliza equipamentos auxiliares (aquecedor, ventoinhas, etc.) no seu espaço de trabalho?

Equipamentos Auxiliares	
Sim	8
Não	26

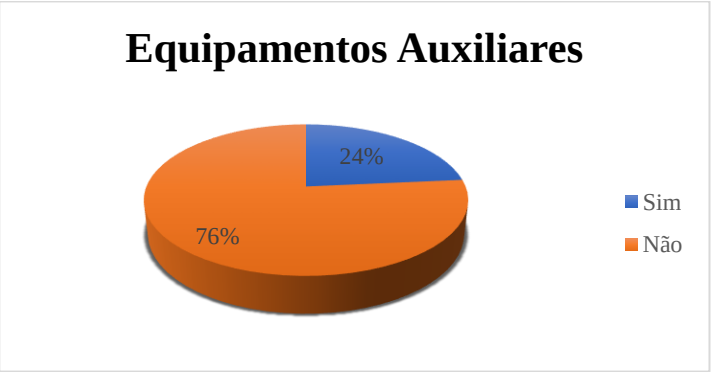


Figura A. 50 – Utilização de Equipamentos Auxiliares (CLabTec)

- Relativamente ao conforto térmico, como classifica a sua produtividade no seu espaço de trabalho?

Produtividade (Conforto Térmico)	
1 - Mau	6
2	8
3 - Suficiente	12
4	7
5 - Ótimo	1

Figura A. 51 – Produtividade percebida – Conforto Térmico (CLabTec)

- Relativamente à qualidade do ar, como classifica a sua produtividade no seu espaço de trabalho?

Produtividade (Qualidade do Ar)	
1 - Mau	1
2	5
3 - Suficiente	16
4	8
5 - Ótimo	3

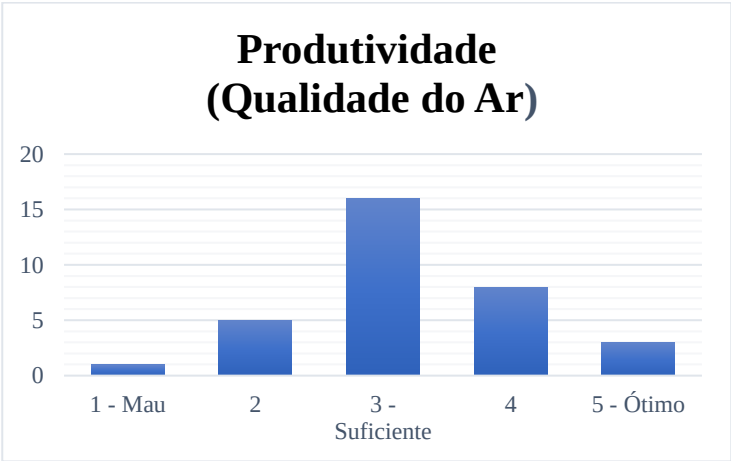


Figura A. 52 – Produtividade percebida – Qualidade do Ar (CLabTec)