



Departamento de Engenharia Eletrotécnica

Certificação Energética de Edifícios – Restaurante

«A Estrela da Mó»

Relatório de projeto apresentado para a obtenção do grau de Mestre em
Engenharia Eletrotécnica - Área de Especialização em Automação e
Comunicações em Sistemas de Energia

Autor

Nuno Filipe Colaço Cristo

Orientador

Doutor Paulo Filipe de Almeida Ferreira Tavares

Professor do Departamento de Engenharia Eletrotécnica

Instituto Superior de Engenharia de Coimbra

Coimbra, abril, 2017

*“Deixe o futuro dizer a verdade,
e avaliar cada um
de acordo com os seus trabalhos
e as suas conquistas.”*

Nikola Tesla

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar quero agradecer ao meu orientador, Prof. Doutor Paulo Filipe de Almeida Ferreira Tavares, pela receção da ideia, pela sua disponibilidade e acompanhamento deste estudo.

A toda equipa e proprietários do Restaurante “A Estrela da Mó”, pela disponibilização de informação relativa ao edifício e pela disponibilização de me receber no local.

Agradeço aos meus pais e irmã pelo apoio e incentivo na realização deste relatório, sem eles provavelmente este não teria visto a luz do dia.

Aos meus amigos, que me acompanharam ao longo destes anos de estudo, numa amizade que não se limitou ao ensino superior.

Finalmente, e principalmente, o meu muito obrigado à minha namorada, por todo o apoio e por toda a motivação que me deu, pela paciência e compreensão, pelas inúmeras vezes que me ouviu falar deste trabalho, pelas palavras e “puxões de orelha” quando precisei.

A todos o meu muito obrigado...

RESUMO

Em Portugal o setor dos serviços é um dos principais consumidores de energia elétrica. Relativamente ao setor dos serviços, os restaurantes assumem um papel muito importante, sendo o seu consumo maioritariamente de energia elétrica.

Durante os últimos anos a eficiência energética tem sido alvo de grandes desenvolvimentos, muito devido à crescente atenção dada a esta temática, estimulada por fatores económicos (redução de custos) e uma superior compreensão da comunidade em relação à limitação dos recursos energéticos convencionais. Tem-se procurado realizar esforços em relação à pesquisa de soluções em tornar os edifícios mais eficientes energeticamente, desde a sua fase de conceção, de execução (aplicação de materiais energeticamente e termicamente mais sustentáveis); de aplicação de novas técnicas construtivas, e no desenvolvimento e aplicação de tecnologias inovadoras de energias renováveis.

Neste relatório é analisado com especial ênfase, uma tipologia de edifícios reconhecida no Sistema Nacional de Certificação Energética de Edifícios, os restaurantes. Pretende-se fazer uma Certificação energética do restaurante “A Estrela da Mó”, localizado no município de Vila Nova de Poiares, ao abrigo do Sistema de Certificação Energética constante do Decreto de Lei 118/2013.

Inicialmente foi feita uma análise ao novo processo de certificação energética nos edifícios de serviços. Posteriormente foi feita uma simulação dinâmica do edifício do restaurante através do programa *ESP-R* de acordo com a metodologia definida no Sistema de Certificação Energética.

No final foram identificadas um conjunto de medidas de melhoria de desempenho do edifício e, quando possível, calculado a sua respetiva quantificação bem como o seu impacto na classe energética do edifício. Estas medidas de melhoria de desempenho do edifício ajudarão na utilização racional da energia afim de alcançar um aumento da eficiência energética, não só neste edifício, mas também nos demais que quiserem seguir este desafio para a sustentabilidade.

De acordo com a metodologia que foi apresentada, a classificação real do edifício é B-. O edifício apresentará a classificação de A+ com um conjunto de medidas de melhoria de desempenho do edifício (isolamento da cobertura e paredes exteriores, aplicação de vidro duplo e instalação de painéis solares térmicos, painéis solares fotovoltaicos e Variador Eletrónico de Velocidade).

Palavras Chave: Eficiência Energética, RECS, SCE, Edifícios de Serviços, Certificação Energética

ABSTRACT

In Portugal, the service sector is one of the biggest consumers of electricity. Within this specific sector, restaurants take an important role since they have a high consumption of electricity.

Over the last years, energy efficiency has been subject to great developments, particularly due to the growing attention given to this issue, stimulated by economic factors (cost savings) and by a better understanding of the limitations of conventional energy resources by the community. There has been some effort in seeking solutions that can turn buildings into more efficient ones in terms of electricity consumption, from the moment of their conception, execution (using more energetic and thermic sustainable materials); application of new construction techniques, and development and application of innovative technology for sustainable energy.

In this report, the analysis is centred on a special typology of buildings: restaurants, acknowledged in the “Sistema Nacional de Certificação Energética de Edifícios” (National System of Energetic Certification in buildings). The main objective is to assign an Energetic Certificate to the restaurant “A Estrela da Mó”, located in Vila Nova de Poiares, under the Energetic Certification System (“Sistema de Certificação Energética”) set forth in Decree-Law 118/2013.

Initially, an analysis of the new certification process in service buildings was made. Afterwards, a dynamic simulation of the restaurant building was carried out with the ESP-R software according to the Energetic Certification System (“Sistema de Certificação Energética”) predefined methodology.

Finally, a set of improvement measures in the building was defined and, when possible, its respective quantification as well his energy class impact. These improvement measures in the building will help with the rational use of energy in order to increase energy efficiency, not only in this building, but also in those where there may be an interest in taking on this challenge towards sustainability.

According with the presented methodology, the actual classification of the building is B-. The building will present a classification of A+ with a set of building performance improvement measurements (insulation of the roof and exterior walls, application of double glass and installation of thermic solar panels, photovoltaic panels, and electronic speed variator).

Keywords: Energy Efficiency, RECS, SCE, Service Buildings, Energetic Certification

ÍNDICE

| | |
|--|-----------|
| CAPÍTULO I - INTRODUÇÃO | 21 |
| I.1 Enquadramento do trabalho e motivação | 21 |
| I.2 Objetivos..... | 21 |
| I.3 Estrutura da dissertação | 22 |
| | |
| CAPÍTULO II - CARACTERIZAÇÃO DO ESTADO ATUAL DOS CONHECIMENTOS..... | 23 |
| II.1 Introdução | 23 |
| II.2 Legislação do desempenho energético dos edifícios..... | 25 |
| II.2.1 Introdução..... | 25 |
| II.2.2 Sistema de certificação energética dos edifícios | 27 |
| II.2.3 Regulamento de desempenho energético dos edifícios de habitação | 27 |
| II.2.4 Regulamento de desempenho energético dos edifícios de comércio e serviços | 28 |
| II.2.5 Indicador de eficiência e classe energética | 29 |
| II.3 Simulação dinâmica de edifícios..... | 31 |
| II.4 “NET-ZERO BULDINGS” - ZEB..... | 32 |
| | |
| CAPÍTULO III - METODOLOGIA DE ANÁLISE..... | 35 |
| III.1 “Estado da arte”..... | 35 |
| III.2 Estudo das características do edifício..... | 35 |
| III.3 Criação e simulação dos modelos dos edifícios | 36 |
| III.4 Tratamento dos dados e identificação de medidas de melhoria | 36 |
| III.5 Determinação dos IEE e da classificação energética do edifício com e sem medidas de melhoria..... | 36 |
| | |
| CAPÍTULO IV - ESTUDO DE CASO | 37 |
| IV.1 Introdução | 37 |
| IV.2 Descrição do edifício (características físicas e arquitetónicas) | 37 |
| IV.3 Consumos de energia (comparação com o consumo de outros edifício semelhantes)..... | 39 |

| | |
|---|------------|
| CAPÍTULO V - CRIAÇÃO DOS MODELOS DO EDIFÍCIO | 45 |
| V.1 Modelo do edifício para simulação | 45 |
| V.1.1 Considerações assumidas no modelo | 45 |
| V.1.2 Parametização do modelo | 46 |
| V.2 Modelo de referência do edifício | 62 |
| V.2.1 Coeficientes de transmissão térmica e fator solar para o edifício de referência | 62 |
| V.2.2 Ventilação | 63 |
| V.2.3 Propriedades dos novos materiais utilizados na simulação | 65 |
| CAPÍTULO VI - ANÁLISE E DISCUSSÃO DE RESULTADOS | 73 |
| VI.1 Simulações do edifício | 73 |
| VI.1.1 Águas quentes sanitárias | 74 |
| VI.1.2 Iluminação interior e exterior | 75 |
| VI.1.3 Equipamentos | 77 |
| VI.1.4 Bombas/Ventiladores | 77 |
| VI.2 Cálculo do IEE e da classificação energética do edifício | 78 |
| VI.3 Medidas de melhoria de classificação energética do edifício | 79 |
| VI.3.1 Variador eletrónico de velocidade | 80 |
| VI.3.2 Isolamento da cobertura | 80 |
| VI.3.3 Isolamento de paredes exteriores | 82 |
| VI.3.4 Vidro duplo | 83 |
| VI.3.5 Painel solar térmico | 85 |
| VI.3.6 Painel solar fotovoltaico | 86 |
| VI.3.7 Isolamento de paredes exteriores e cobertura mais aplicação de vidro duplo | 86 |
| VI.3.8 Conjunto de várias medidas | 88 |
| CAPÍTULO VII - CONCLUSÃO | 91 |
| VII.1 Trabalho futuro | 91 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 93 |
| ANEXOS | 97 |
| Anexo A – Soluções de referência a considerar | 97 |
| Anexo B – Plantas do edifício | 99 |
| Anexo C – Tabelas de caudal mínimo de ar novo | 101 |
| Anexo D – Valores máximos de densidade de potência de iluminação | 102 |
| APÊNDICES | 103 |

| | |
|---|-----|
| Apêndice I – Lista do levantamento de equipamentos do restaurante | 103 |
| Apêndice II – Dimensionamento do sistema de painel solar térmico | 105 |
| Apêndice III – Lista do levantamento de cargas de iluminação..... | 107 |
| Apêndice IV – Dimensionamento do sistema solar fotovoltaico | 108 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura II.1 - Consumo de energia final, por setor de atividade, em ktep, ano 2012, (Instituto Nacional de Estatística, 2013). | 24 |
| Figura II.2 - Consumo de energia elétrica total, por setor de atividade económica, ano de 2012 (PORDATA, 2012). | 24 |
| Figura II.3 - Relação entre a energia necessária e o fornecimento de energia (Gonçalves, 2012). | 33 |
| Figura IV.1 - Restaurante "A Estrela da Mó". | 37 |
| Figura IV.2 - Fachada sudeste (entrada). | 38 |
| Figura IV.3 - Fachada sudoeste (janelas). | 38 |
| Figura IV.4 - Desagregação dos consumos de energia da instalação. | 40 |
| Figura IV.5 - Consumos por fonte de energia em restaurantes, ano 1991 (Direcção Geral de Energia, 1994). | 40 |
| Figura IV.6 - Desagregação da potência instalada. | 41 |
| Figura IV.7 - Unidade interior de um ar condicionado. | 41 |
| Figura IV.8 - Ar condicionado: unidade exterior. | 42 |
| Figura IV.9 - Consumo de energia por utilizador final da instalação. | 43 |
| Figura IV.10 - Consumo de energia por utilizador final, ano 1991 (Direcção Geral de Energia, 1994). | 43 |
| Figura IV.11 - Consumo de gás estimado por utilização final de acordo com as necessidades de água quente estimadas com recurso ao programa "RetScreen". | 44 |
| Figura V.1 - Vista em plano do modelo (divisão das zonas). | 47 |
| Figura V.2 - Vista em perspetiva do modelo do edifício "A Estrela da Mó". | 47 |
| Figura V.3 - Vista em perspetiva da Zona 1. | 48 |
| Figura V.4 - Vista em perspetiva da Zona 2. | 49 |
| Figura V.5 - Vista em perspetiva da Zona 3. | 50 |
| Figura V.6 - Vista em perspetiva da Zona 4. | 51 |
| Figura V.7 - Vista em perspetiva da Zona 5. | 52 |
| Figura V.8 - Vista em perspetiva da Zona 6. | 53 |
| Figura V.9 - Vista em perspetiva da Zona 7. | 54 |
| Figura V.10 - Vista em perspetiva da Zona 8. | 55 |

ÍNDICE DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela II-1 - Consumos de energia a considerar no IEE_s e no IEE_t (Portaria n.º 349-D/2013 de 2 de dezembro)..... | 29 |
| Tabela II-2 - Métodos aceites para determinação do IEE de um edifício de comércio e serviços de acordo com o tipo e situação do edifício adaptado (Portaria n.º 349-D/2013 de 2 de dezembro). | 30 |
| Tabela II-3 - Forma de cálculo do IEE_s para efeitos de classificação energética de pequenos e grandes edifícios de comércio e serviços..... | 31 |
| Tabela II-4 - Intervalos de valor de R_{IEE} para determinação da classe energética para pequenos e grandes edifícios de comércio e serviços (Portaria n.º 349-D/2013 de 2 de dezembro)..... | 31 |
| Tabela V-1 - Valores da temperatura média mensal do solo a diversas profundidades para Coimbra. 45 | |
| Tabela V-2 - Divisão das zonas do modelo..... | 46 |
| Tabela V-3 - Dimensões das obstruções. | 46 |
| Tabela V-4 - Materiais utilizados no modelo do edifício..... | 48 |
| Tabela V-5 - Descrição construtiva da Zona 1..... | 49 |
| Tabela V-6 - Descrição construtiva da Zona 2..... | 50 |
| Tabela V-7 - Descrição construtiva da Zona 3..... | 51 |
| Tabela V-8 - Descrição construtiva da Zona 4..... | 52 |
| Tabela V-9 - Descrição construtiva da Zona 5..... | 53 |
| Tabela V-10 - Descrição construtiva da Zona 6..... | 54 |
| Tabela V-11 - Descrição construtiva da Zona 7..... | 55 |
| Tabela V-12 - Descrição construtiva da Zona 8..... | 56 |
| Tabela V-13 - Descrição dos envidraçados existentes no modelo do edifício. | 57 |
| Tabela V-14 - Densidades impostas pelo RSECE para a tipologia de restaurante..... | 58 |
| Tabela V-15 - Perfil de ocupação para restaurantes. | 58 |
| Tabela V-16 - Perfil de iluminação para restaurantes. | 59 |
| Tabela V-17 - Perfil de equipamento para restaurantes. | 60 |
| Tabela V-18 - Cargas sensíveis e latentes de cada zona. | 61 |
| Tabela V-19 - Densidade de Potência de Iluminação (DPI) e potência total de cada zona. | 61 |
| Tabela V-20 - Potência dos equipamentos em cada zona. | 61 |
| Tabela V-21 - Valores de referência para ajustes para a estação de aquecimento e arrefecimento. | 62 |
| Tabela V-22 - Critérios para a determinação da zona climática de inverno..... | 62 |
| Tabela V-23 - Critérios para a determinação da zona climática de verão..... | 63 |
| Tabela V-24 - Coeficientes de transmissão térmica e fator solar a utilizar no edifício de referência. .. | 63 |
| Tabela V-25 - Ocupação para a área real das zonas climatizadas..... | 63 |
| Tabela V-26 - Caudal mínimo de ar novo determinado em função da carga poluente devida à ocupação. | 64 |
| Tabela V-27 - Caudal mínimo de ar novo determinado em função da carga poluente devida ao edifício. | 64 |
| Tabela V-28 - Caudal de ar novo corrigido da eficiência 0,8. | 64 |
| Tabela V-29 - Materiais utilizados no modelo do edifício..... | 65 |
| Tabela V-30 - Descrição construtiva da Zona 1 do edifício de referência..... | 66 |
| Tabela V-31 - Descrição construtiva da Zona 2 do edifício de referência..... | 66 |
| Tabela V-32 - Descrição construtiva da Zona 3 do edifício de referência..... | 67 |

| | |
|---|----|
| Tabela V-33 - Descrição construtiva da Zona 4 do edifício de referência. | 67 |
| Tabela V-34 - Descrição construtiva da Zona 5 do edifício de referência. | 68 |
| Tabela V-35 - Descrição construtiva da Zona 6 do edifício de referência. | 68 |
| Tabela V-36 - Descrição construtiva da Zona 7 no edifício de referência. | 69 |
| Tabela V-37 - Descrição construtiva da Zona 8 do edifício de referência. | 69 |
| Tabela V-38 - Descrição dos envidraçados existentes no modelo do edifício. | 70 |
| Tabela V-39 - Densidade de Potência de Iluminação e potência total de cada zona do modelo do edifício de referência. | 71 |
| Tabela VI-1 - Resultados da simulação para o edifício real. | 73 |
| Tabela VI-2 - Resultados da simulação para o edifício de referência. | 74 |
| Tabela VI-3 - Resultados das simulações corrigidos pelos rendimentos dos sistemas de climatização. | 74 |
| Tabela VI-4 - Consumo diário de AQS e características do esquentador. | 75 |
| Tabela VI-5 - Consumos e custos das AQS. | 75 |
| Tabela VI-6 - Número de dias correspondentes a um ano para cada tipo de dia. | 75 |
| Tabela VI-7 - Consumo de energia em iluminação para o edifício real. | 76 |
| Tabela VI-8 - Consumo de energia em iluminação para o edifício de referência. | 76 |
| Tabela VI-9 - Consumo de energia anual em iluminação exterior. | 76 |
| Tabela VI-10 - Consumo de energia dos equipamentos para o edifício real e de referência. | 77 |
| Tabela VI-11 - Consumo global sem as bombas/ventiladores para o edifício real e de referência. | 78 |
| Tabela VI-12 - Consumo de energia das bombas/ventiladores para o edifício real e de referência. | 78 |
| Tabela VI-13 - Consumo de energia desagregado por utilização final para o edifício real e de referência. | 79 |
| Tabela VI-14 - IEE_S , $IEE_{ref,S}$, R_{IEE} , e classificação energética do edifício. | 79 |
| Tabela VI-15 – Tempo de retorno do investimento na instalação do VEV. | 80 |
| Tabela VI-16 - IEE_S , $IEE_{ref,S}$, R_{IEE} , e classificação energética do edifício com a instalação do VEV. | 80 |
| Tabela VI-17 - Consumo de energia desagregado por utilização final para o edifício com isolamento da cobertura. | 81 |
| Tabela VI-18 - Tempo de retorno do investimento na instalação do isolamento na cobertura. | 81 |
| Tabela VI-19 - IEE_S , $IEE_{ref,S}$, R_{IEE} , e classificação energética do edifício com o isolamento da cobertura. | 81 |
| Tabela VI-20 - Consumo de energia desagregado por utilização final para o edifício com isolamento das paredes exteriores. | 82 |
| Tabela VI-21 - Tempo de retorno do investimento na instalação do isolamento nas paredes exteriores. | 82 |
| Tabela VI-22 - IEE_S , $IEE_{ref,S}$, R_{IEE} , e classificação energética do edifício com o isolamento das paredes exteriores. | 83 |
| Tabela VI-23 - Propriedades físicas dos tipos de vidros considerados. | 83 |
| Tabela VI-24 - Consumo de energia desagregado por utilização final para o edifício com a aplicação de vidro duplo. | 84 |
| Tabela VI-25 - Tempo de retorno do investimento na instalação do vidro duplo para as duas situações. | 84 |
| Tabela VI-26 - IEE_S , $IEE_{ref,S}$, R_{IEE} , e classificação energética do edifício com a aplicação do vidro duplo. | 85 |
| Tabela VI-27 - Tempo de retorno do investimento na instalação do painel solar térmico. | 85 |

| | |
|---|----|
| Tabela VI-28 - IEE_S , $IEE_{ref,S}$, R_{IEE} , e classificação energética do edifício com a aplicação do sistema solar térmico..... | 85 |
| Tabela VI-29 - Tempo de retorno do investimento na instalação do sistema fotovoltaico. | 86 |
| Tabela VI-30 - IEE_S , $IEE_{ref,S}$, R_{IEE} , e classificação energética do edifício com a aplicação do sistema fotovoltaico. | 86 |
| Tabela VI-31 - Consumo de energia desagregado por utilização final para o edifício com a aplicação do conjunto de medidas definido. | 87 |
| Tabela VI-32 - Tempo de retorno do investimento na instalação do conjunto de medidas definido. ... | 87 |
| Tabela VI-33 - IEE_S , $IEE_{ref,S}$, R_{IEE} , e classificação energética do edifício com a aplicação do conjunto de medidas definido. | 87 |
| Tabela VI-34 - Consumos de energia globais desagregados para as diversas medidas definidas..... | 88 |
| Tabela VI-35 - IEE_S , $IEE_{ref,S}$, IEE_{ren} , R_{IEE} , e classificação energética do edifício para as diversas situações das medidas definidas sem a aplicação do VEV. | 89 |
| Tabela VI-36 - IEE_S , $IEE_{ref,S}$, IEE_{ren} , R_{IEE} , e classificação energética do edifício para as diversas situações das medidas definidas com a aplicação do VEV..... | 90 |

ABREVIATURAS

| Abreviatura | Significado |
|--------------------|--|
| ADENE | Agência para a Energia |
| AQS | Águas Quentes Sanitárias |
| AVAC | Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado |
| BTE | Baixa Tensão Especial |
| CFL | Lâmpadas Fluorescentes Compactas |
| DPI | Densidade de Potência de Iluminação |
| ETICS | <i>External Thermal Insulation Composite Systems</i> |
| GES | Grandes Edifícios de Comércio e Serviços |
| IEE | Índice de Eficiência Energética |
| NUTS | Nomenclatura das Unidades Territoriais para Fins Estatísticos |
| NZEB | <i>Nearly Zero Energy Buildings</i> |
| PES | Pequenos Edifícios de Comércio e Serviços |
| P.S.F. | Painel Solar Fotovoltaico |
| P.S.T. | Painel Solar Térmico |
| RCCTE | Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios |
| RECS | Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviço |
| REH | Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação |
| RSECE | Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios |
| SCE | Sistema de Certificação Energética |
| EU | União Europeia |
| VEV | Variador Eletrónico de Velocidade |
| ZEB | <i>Zero Energy Buildings</i> |

SIMBOLOGIA

Símbolo Significado

| | |
|------------------|---|
| A_p | Área interior útil de pavimento |
| $E_{S,i}$ | Consumo de energia por fonte de energia i para os usos do tipo S |
| $F_{pu,i}$ | Fator de conversão de energia útil para energia primária |
| g | Fator solar |
| GD | Graus Dias |
| $IEE_{ef,s}$ | Consumo anual de energia do edifício com base em faturas de energia |
| $IEE_{pr,s}$ | Consumo anual de energia do edifício com base nas características do edifício |
| $IEE_{ref,S}$ | Consumo anual de energia do tipo S para o edifício dotado de soluções de referência |
| IEE_{ren} | Produção de energia elétrica e térmica a partir de fontes de energias renováveis |
| IEE_s | Consumos de energia considerados para o cálculo da classificação energética |
| IEE_t | Consumos de energia não considerados para o cálculo da classificação energética |
| met | Taxa de metabolismo |
| R_{IEE} | Rácio de classe energética |
| tep | Tonelada equivalente de petróleo |
| U_{global} | Condutividade térmica global |
| ε | Emissividade |
| $\Theta_{ext,v}$ | Temperatura média exterior correspondente à estação convencional de arrefecimento |

CAPÍTULO I - INTRODUÇÃO

I.1 Enquadramento do trabalho e motivação

A contribuição do setor dos edifícios para o consumo global de energia tem vindo a aumentar representando, atualmente, cerca de 40% do consumo total de energia na União Europeia (UE) (EUR-Lex, 2015). Em Portugal, de acordo com os dados dos últimos balanços energéticos da Direção Geral de Energia e Geologia, o setor dos edifícios é responsável por cerca de 30% do consumo de energia final e cerca de 62% do consumo de energia elétrica (DGEG - Direção Geral de Energia e Geologia, 2016).

De acordo com o Plano de Eficiência Energética da UE (Comunicação da Comissão Europeia nº 109/2011), o maior potencial de poupança de energia é o oferecido pelos edifícios, pelo que a redução do consumo de energia no setor dos edifícios constitui uma importante medida, necessária para reduzir a dependência energética da União Europeia e as emissões de gases com efeito de estufa (Diretiva nº 2010/31UE, relativa ao desempenho energético dos edifícios).

É intenção da UE (pela Diretiva 2010/31/EU) que, o mais tardar em 31 de dezembro de 2020, todos os edifícios novos sejam edifícios com necessidades quase nulas de energia (os vulgarmente designados por “*nearly zero energy buildings*” - NZEB ou “*net zero buildings*” ou “*zero energy buildings*” - ZEB). Desta forma os Estados-Membros devem elaborar planos nacionais para aumentar o número de edifícios com necessidades quase nulas de energia, que devem incluir objetivos diferenciados consoante a categoria de edifícios em causa. Além disso, os Estados-Membros, seguindo o exemplo do setor público, devem desenvolver políticas e tomar medidas, como, por exemplo, o estabelecimento de objetivos, para incentivar a transformação de todos os edifícios remodelados em edifícios com necessidades quase nulas de energia.

Em Portugal, para o setor dos edifícios, a legislação inclui regulamentação relativa ao desempenho energético e à qualidade do ar interior dos edifícios, através do Sistema de Certificação Energética dos Edifícios (SCE), que integra o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH), e o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços (RECS) (Decreto-Lei n.º 118/2013 de 20 de agosto de 2013).

É neste contexto de tornar um edifício mais eficiente (um restaurante) que surgiu este trabalho.

I.2 Objetivos

O objetivo principal deste projeto centra-se na realização de uma simulação dinâmica do edifício do restaurante «A Estrela da Mó» no sentido de calcular o Índice de Eficiência Energética - IEE (de acordo com a metodologia definida no SCE) e, deste modo, poder obter a sua classificação de acordo com as classes de desempenho energético definidas pela entidade gestora do SCE (Agência para a Energia - ADENE). Os resultados desta simulação serão posteriormente comparados com uma auditoria energética realizada a este mesmo edifício.

Faz ainda parte deste trabalho a indicação de medidas de melhoria do desempenho do edifício (de modo a baixar o IEE e a tornar este edifício um edifício com necessidades de energia quase nulas) e, quando possível, a sua respetiva quantificação.

I.3 Estrutura da dissertação

O presente relatório encontra-se dividido em 7 capítulos, 4 anexos e 4 apêndices, apresentando no início um Resumo e um *Abstract* que sintetizam o alcance do trabalho desenvolvido.

No capítulo 1 é apresentado o enquadramento do trabalho e a motivação, são descritos os objetivos e é apresentada a estrutura do relatório.

O capítulo 2 aborda a caracterização do estado atual dos conhecimentos bem como a legislação associada à certificação energética dos edifícios.

No capítulo 3 é apresentada a metodologia de análise utilizada na elaboração deste projeto.

No capítulo 4 é apresentado o estudo de caso em questão.

No capítulo 5 é indicado como foi criado o modelo de simulação do edifício.

O capítulo 6 apresenta uma análise e discussão dos resultados obtidos bem como a identificação das medidas de melhoria de classificação energética do edifício.

A conclusão e trabalho futuro é apresentada no capítulo 7. De seguida são indicadas as referências bibliográficas, os anexos, e por fim os apêndices.

CAPÍTULO II - CARACTERIZAÇÃO DO ESTADO ATUAL DOS CONHECIMENTOS

II.1 Introdução

Ao longo dos últimos anos o consumo de energia tem vindo a aumentar. Este aumento progressivo do consumo de energia tem sido garantido com a produção de energia a partir de combustíveis fósseis. A gestão dos recursos energéticos representa nos dias de hoje um desafio importante a nível global. Mais de 60% da energia consumida em todo o mundo é proveniente de combustíveis fósseis (Geographic, 2016).

A forte dependência nos combustíveis fósseis aliada à sua natureza finita, aos impactos ambientais e ao aumento das necessidades energéticas alertam o mundo para uma necessidade de mudança de gestão de recursos.

Reduzir as emissões de gases com efeito de estufa é uma necessidade urgente, no sentido de mitigar um problema, que se nada em contrário for feito, irá afetar drasticamente o modo de vida e as condições de habitabilidade do planeta.

Para a manutenção dos padrões de vida das sociedades desenvolvidas, e as justas aspirações dos países em vias de desenvolvimento, sem comprometer o futuro das gerações vindouras, é necessário apostar não só nas energias renováveis, mas também no aumento da eficiência energética nas instalações.

A racionalização do consumo de energia é algo que cada vez mais é tido em conta, não só no setor industrial, mas também no setor dos edifícios de serviços e habitações. Esta preocupação com a racionalização do consumo de energia deve-se principalmente ao elevado peso das faturas energéticas e à crescente pressão ambiental que exige reforçar a eficiência energética e a utilização de fontes alternativas de energia.

Os constantes aumentos bruscos dos preços do petróleo bruto têm um impacto direto nos custos de todas as formas de energia. Em tempos era usual utilizar o consumo de energia como indicador de crescimento económico, hoje em dia tal já não se aplica. A racionalização dos consumos de energia veio demonstrar que é possível existir um crescimento económico sem pôr em causa o consumo energético.

Na Figura II.1 é apresentado um gráfico com o consumo de energia final, em Portugal, por setor de atividade, para o ano de 2012, em ktep (Instituto Nacional de Estatística, 2013).

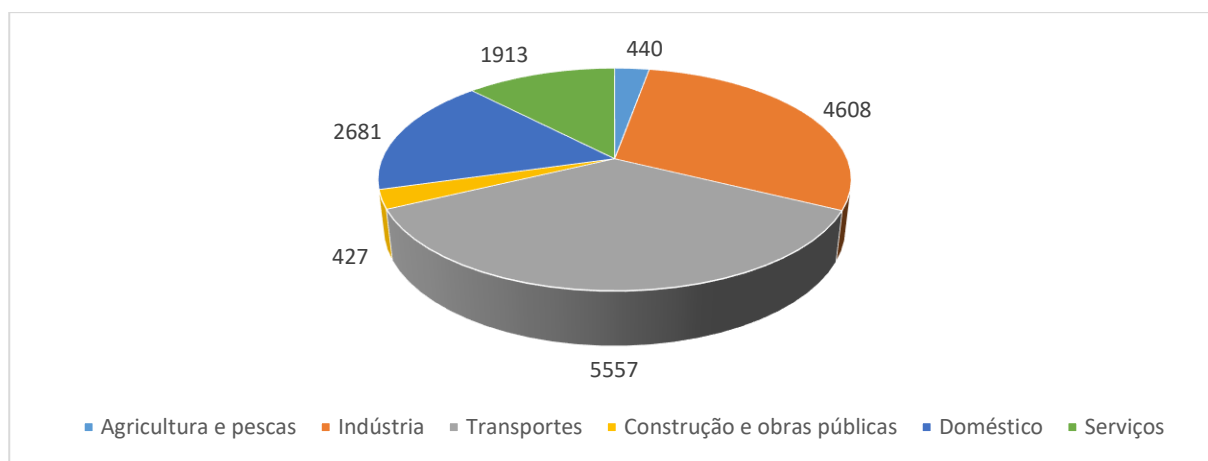


Figura II.1 - Consumo de energia final, por setor de atividade, em ktep, ano 2012, (Instituto Nacional de Estatística, 2013).

Da análise do gráfico da Figura II.1 verifica-se que apesar do setor de serviços não ser dos setores com maior peso a nível de consumo energético em Portugal, este é um setor onde se podem encontrar muitos desperdícios de energia. Uma grande parte dos edifícios pertencentes a este setor foi construída em épocas em que as preocupações com a eficiência energética dos edifícios não eram sentidas como atualmente. Isto aliado aos comportamentos de irracionalidade energética que se encontram frequentemente fazem com que seja um setor a explorar no que toca à boa utilização da energia.

Na Figura II.2 é apresentado o consumo de energia elétrica total, em Portugal, por setor de atividade económica, para o ano de 2012 (PORDATA, 2012).

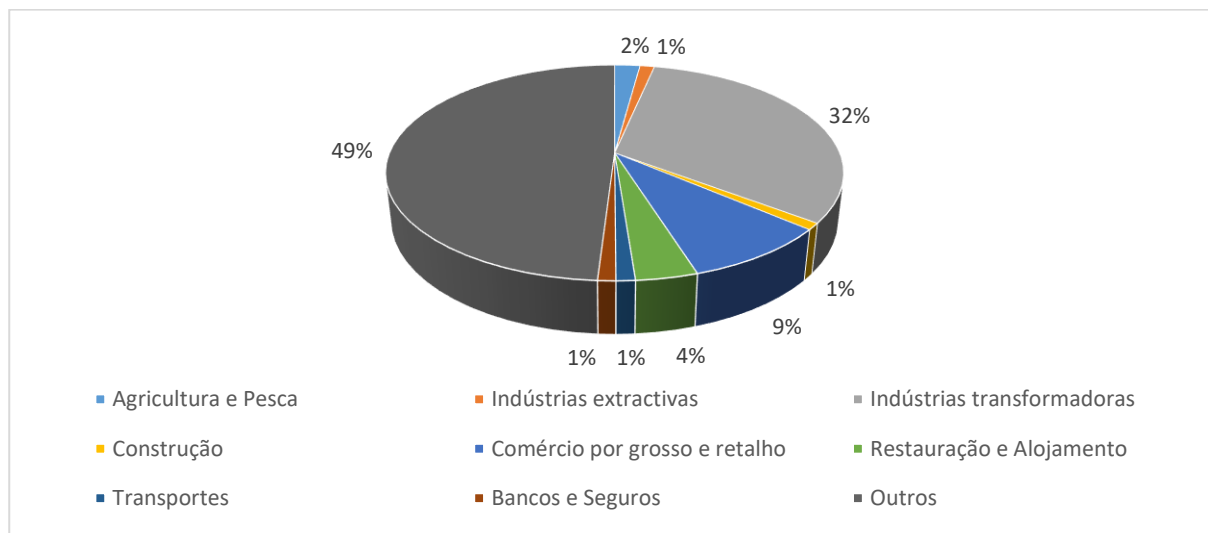


Figura II.2 - Consumo de energia elétrica total, por setor de atividade económica, ano de 2012 (PORDATA, 2012).

Como se pode observar na Figura II.2 o setor de atividade económica “Restauração e Alojamento” apesar de não ser o setor com maior dimensão em Portugal tem uma importante “fatia” no que respeita ao consumo de energia elétrica em Portugal. Neste tipo de setor as necessidades repentinas do consumo de energia elétrica são muito frequentes podendo existir picos de consumo em curtos espaços de tempo.

Aliando a essas necessidades repentinas de consumo de energia elétrica a uma despreocupação na racionalização da utilização da energia faz com que este setor tenha muitos desaproveitamentos de energia e que seja um setor com alto potencial para investigar e aplicar medidas de racionalização de energia.

II.2 Legislação do desempenho energético dos edifícios

II.2.1 Introdução

O Parlamento Europeu e Conselho ao considerar que o aumento de eficiência energética era uma parte importante do pacote de políticas necessárias para o cumprimento do Protocolo de Quioto, criou no ano de 2002 a primeira Diretiva relativa ao desempenho energético dos edifícios. De acordo com o Artigo 1.º da Diretiva 2002/91/CE de 16 de dezembro de 2002, esta Diretiva tinha como objetivos a (EUR-Lex, 2002):

- Aplicação de uma metodologia de cálculo do desempenho energético dos edifícios;
- Aplicação de requisitos mínimos para o desempenho energético de novos edifícios;
- Aplicação de requisitos mínimos para o desempenho energético dos grandes edifícios existentes que sejam sujeitos a importantes obras de renovação;
- Realização da certificação energética dos edifícios;
- Realização de inspeções regulares a caldeiras e instalações de ar condicionado nos edifícios e avaliação das caldeiras que tenham mais de 15 anos.

A Diretiva 2002/91/CE de 16 de dezembro estabelecia que todos os Estados Membros da União Europeia deviam implementar um sistema de certificação energética com o propósito de informar o cidadão sobre a qualidade térmica dos edifícios. Portugal transpôs esta Diretiva para a legislação nacional com o Decreto-Lei n.º 78/2006 de 4 de abril, criando assim o Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios (SCE).

O SCE tinha como finalidades de acordo com o Artigo 2.º do Decreto-Lei nº78/2006 de 4 de abril (Adene, 2006):

- Assegurar a aplicação regulamentar no que respeita às condições de eficiência energética, à utilização de sistemas de energias renováveis, e ainda às condições de garantia da qualidade do ar interior, de acordo com as exigências contidas no Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE) e no Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização dos Edifícios (RSECE);
- Certificar o desempenho energético e a qualidade do ar interior nos edifícios;
- Identificar as medidas corretivas ou de melhoria de desempenho aplicáveis aos edifícios e respetivos sistemas energéticos, nomeadamente caldeiras e equipamentos de ar condicionado.

Com esta legislação, o RCCTE definia os requisitos de qualidade para os novos edifícios de habitação e para pequenos edifícios de serviços, particularmente ao nível dos aspetos construtivos do edifício, tentando limitar as perdas térmicas. Para os grandes edifícios de serviços e de habitação com sistemas de climatização o RSECE fundamentava apenas os requisitos mínimos. De referir que este regulamento também abordava a eficiência e manutenção dos sistemas de climatização dos edifícios e a qualidade do ar interior.

Com o passar do tempo surgiu a necessidade de introduzir novos conceitos e alterações substanciais e assim a Diretiva 2002/91/CE de 16 de dezembro foi substituída pela Diretiva 2010/31/EU de 19 de maio de 2010, em que de acordo com o Artigo 1.º a Diretiva estabelece requisitos no que se refere à (EUR-Lex, 2010):

- Metodologia de cálculo do desempenho energético integrado dos edifícios e frações autónomas;
- Aplicação de requisitos mínimos para o desempenho energético dos edifícios e das frações autónomas novas;
- Aplicação de requisitos mínimos para o desempenho energético dos edifícios existentes, frações autónomas e componentes de edifícios sujeitos a grandes renovações;
- Aplicação de requisitos mínimos para elementos construtivos da envolvente dos edifícios e sistemas técnicos dos edifícios quando for instalado um novo sistema ou este for melhorado;
- Aplicação de planos nacionais para aumentar o número de edifícios com necessidades quase nulas de energia;
- Certificação energética dos edifícios ou das frações autónomas;
- Inspeção regular das instalações de aquecimento e de ar condicionado nos edifícios.

De acordo com a Diretiva 2010/31/EU de 19 de maio de 2010, entende-se que um edifício com necessidades quase nulas de energia é um edifício com um elevado desempenho energético e que as necessidades de energia quase nulas deverão ser suprimidas por energia proveniente de fontes renováveis.

A Diretiva 2010/31/EU foi transposta para o ordenamento jurídico nacional através do Decreto-Lei n.º 118/2013 de 20 de agosto, que transformou os três diplomas anteriormente existentes apenas num único diploma. Foi assim criado o Sistema de Certificação Energética dos Edifícios (SCE), o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH) e o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços (RECS).

A separação clara de aplicação do REH e RECS, passando a incidir exclusivamente sobre os edifícios de habitação e sobre os edifícios de comércio e serviços, respetivamente, facilita o procedimento técnico e a gestão administrativa dos processos. Com esta nova legislação o comportamento térmico e a eficiência dos sistemas adotam uma posição de destaque para os edifícios de habitação, aos quais adicionam instalação, condução e manutenção de sistemas técnicos para os edifícios de comércio e serviços.

O Decreto-Lei n.º 118/2013 de 20 de agosto esclarece que os sistemas de climatização, de preparação de água quente sanitária, de iluminação, de aproveitamento de energias renováveis ficam submetidos a parâmetros mínimos de eficiência energética.

II.2.2 Sistema de certificação energética dos edifícios

São abrangidos pelo SCE, os edifícios ou frações novos ou sujeitos a grande intervenção nos termos do REH e RECS. As frações que não estejam constituídas como fração autónoma só são abrangidas pelo SCE a partir do momento em que seja dada em locação. São também abrangidos pelo SCE todos os edifícios ou frações existentes de comércio e serviços (Diário da República Eletrónico, 2013):

- Com área interior útil de pavimento igual ou superior a 1000 m² ou 500 m² no caso de centros comerciais, hipermercados, supermercados e piscinas cobertas;
- Que sejam propriedade de uma entidade pública e tenham área interior útil de pavimento ocupada por uma entidade pública e frequentemente visitada pelo público superior a 500 m² ou a partir de 1 de julho de 2015 superior a 250 m².

São ainda abrangidos todos os edifícios ou frações existentes a partir do momento da sua venda, dação em cumprimento, salvo nos casos (Diário da República Eletrónico, 2013):

- Venda ou dação em cumprimento a comproprietário, a locatário, em processo executivo, a entidade expropriante ou para demolição total confirmada pela entidade competente;
- Locação do lugar de residência habitual do senhorio por prazo inferior a quatro meses;
- Locação a quem seja já locatário da coisa locada.

No âmbito da certificação são considerados o pré-certificado e o certificado. O pré certificado é emitido em fase de projeto antes do início da construção de novos edifícios ou frações ou grande intervenção de edifícios ou frações já existentes. O certificado é o documento com número próprio, emitido por um perito qualificado para a certificação energética para um edifício ou fração, classificando-o em termos de desempenho energético.

O pré-certificado converte-se em certificado SCE no final da obra e mediante a apresentação de um termo de responsabilidade do autor do projeto e do diretor técnico declarando que a obra foi realizada de acordo com o indicado no pré-certificado. Os pré-certificados têm uma validade de 10 anos tal como os certificados SCE. No caso dos certificados SCE para grandes edifícios de comércio e serviços têm uma validade de 6 anos.

II.2.3 Regulamento de desempenho energético dos edifícios de habitação

O REH estabelece os requisitos para os edifícios de habitação novos ou sujeitos a intervenções na envolvente ou nos sistemas técnicos, bem como a metodologia de caracterização do desempenho energético, em condições nominais, no sentido de promover a melhoria do comportamento térmico e a eficiência dos seus sistemas técnicos.

De modo a cumprir os objetivos o REH estabelece os seguintes requisitos (Diário da República Eletrónico, 2013):

- Qualidade térmica da envolvente dos novos edifícios e nas intervenções em edifícios existentes, expressos em termos de coeficiente de transmissão térmica da envolvente opaca e de fator solar dos vãos envidraçados;
- Ventilação dos espaços, impondo um valor mínimo no cálculo para a taxa de renovação do ar em edifícios novos e respetiva adaptação no caso de intervenções em edifícios existentes;
- Valores de necessidades nominais de energia útil para aquecimento e arrefecimento do edifício e limites a observar no caso de edifícios novos e de grandes intervenções em edifícios existentes;
- Nível da qualidade, da eficiência e do funcionamento dos sistemas técnicos a instalar nos edifícios;
- Regras para o cálculo do contributo das energias renováveis na satisfação das necessidades energéticas do edifício;
- Valor de necessidades nominais de energia primária do edifício e respetivo limite a observar no caso de edifícios novos e de grandes intervenções.

II.2.4 Regulamento do desempenho energético dos edifícios de comércio e serviços

O RECS estabelece as regras a observar no projeto de construção, alteração, operação e manutenção de edifícios de comércio e serviços e seus sistemas técnicos, bem como requisitos para a caracterização do seu desempenho no sentido de promover a eficiência energética e a qualidade do ar interior.

O RECS, tal como o REH, também estabelece requisitos de qualidade térmica da envolvente nos edifícios novos e nas intervenções em edifícios existentes, expressa em termos de coeficiente de transmissão térmica da envolvente e de fator solar dos vãos envidraçados.

Os sistemas técnicos devem ser avaliados e sujeitos a requisitos, tendo como objetivo promover a eficiência energética e a utilização racional de energia, incidindo para esse efeito, nas componentes de climatização, de preparação de água quente sanitária, de iluminação, de sistemas de gestão de energia, de energia renováveis, de elevadores e de escadas rolantes. Assim de modo a cumprir os objetivos o RECS estabelece os seguintes requisitos (Diário da República Eletrónico, 2013):

- Conceção e instalação dos sistemas técnicos nos edifícios novos e de sistemas novos nos edifícios existentes sujeitos a grande intervenção;
- Um indicador de eficiência energética (IEE) para caracterização do desempenho energético dos edifícios e dos respetivos limites máximos no caso de edifícios novos, edifícios existentes e de grandes intervenções em edifícios existentes;

- A obrigatoriedade de fazer uma avaliação energética periódica dos consumos energéticos dos edifícios existentes, verificando a necessidade de elaborar um plano de racionalização de energia com identificação e implementação de medidas de eficiência energética com viabilidade económica.

Com vista a assegurar as condições de bem-estar dos ocupantes são estabelecidos por portaria os valores mínimos de caudal de ar novo por espaço em função da ocupação, das características do próprio edifício e dos sistemas de climatização, tal como os limiares de proteção para as concentrações de poluentes no ar interior.

II.2.5 Indicador de eficiência e classe energética

O desempenho energético de um edifício de comércio e serviços é aferido pela determinação do seu IEE que, de acordo com a Portaria n.º 349-D/2013 de 2 de dezembro, é determinado com base no somatório dos diferentes consumos anuais de energia, agrupados em indicadores parciais e convertidos para a energia primária por unidade de área interior útil de pavimento, de acordo com a seguinte equação (Diário da República, 2013):

$$IEE = IEE_s + IEE_t - IEE_{ren}$$

Em que:

- IEE_s representa os consumos de energia que são considerados para efeitos de cálculo da classificação energética do edifício, de acordo com a Tabela II-1.
- IEE_t , representa os consumos de energia que não são considerados para efeitos de cálculo da classificação energética do edifício, de acordo com a Tabela II-1;
- IEE_{ren} , determinado com base na produção de energia elétrica e térmica a partir de fontes de energias renováveis, sendo que apenas é contabilizada a energia elétrica destinada a autoconsumo, e a energia térmica efetivamente utilizada.

Tabela II-1 - Consumos de energia a considerar no IEE_s e no IEE_t (Portaria n.º 349-D/2013 de 2 de dezembro).

| Consumos no IEE_s | Consumos no IEE_t |
|--|---|
| Aquecimento e arrefecimento ambiente; Ventilação e bombagem em sistemas de climatização; Aquecimento de águas quentes sanitárias e de piscinas; Iluminação interior; Elevadores, escadas, tapetes rolantes e iluminação exterior (a partir de 2016). | Ventilação e bombagem não associada ao controlo de cargas térmica; Equipamentos de frio; Iluminação de utilização pontual; Elevadores, escadas, tapetes rolantes e iluminação exterior (até fim de 2015); Restantes equipamentos não incluídos em IEE_s . |

Existem os seguintes tipos de IEE:

- IEE previsto, consumo anual de energia do edifício com base na localização do edifício, nas características da envolvente, na eficiência dos sistemas técnicos e nos perfis de utilização previstos para o edifício;

- IEE efetivo, consumo anual de energia do edifício, obtido com base no histórico de faturas de energia e/ou considerando os resultados de uma avaliação energética realizado numa base de tempo anual;
- IEE de referência, consumo anual de energia do edifício, caso este fosse dotado de soluções de referência para alguns dos elementos da envolvente e sistemas técnicos, mantendo inalteradas as restantes características do estudo.

Dependendo do tipo de IEE que é necessário determinar pode-se aplicar os seguintes métodos: simulação dinâmica multizona, cálculo dinâmico simplificado e consumo efetivo, de acordo com a Tabela II-2.

Tabela II-2 - Métodos aceites para determinação do IEE de um edifício de comércio e serviços de acordo com o tipo e situação do edifício adaptado (Portaria n.º 349-D/2013 de 2 de dezembro).

| Tipo de edifício | Método | Novo | Existente | Grande intervenção |
|---|-------------|-------------------------------|---|-------------------------------|
| Pequeno edifício de comércio e serviços (PES) | Base | Simulação dinâmica multizona | Consumo Efetivo | Simulação dinâmica multizona |
| | Alternativo | Calculo dinâmico simplificado | Simulação dinâmica multizona ou cálculo dinâmico simplificado | Calculo dinâmico simplificado |
| Grande edifício de comércio e serviços (GES) | Base | Simulação dinâmica multizona | Consumo efetivo | Simulação dinâmica multizona |
| | Alternativo | Não aplicável | Simulação dinâmica multizona | Não aplicável |

Após determinar o IEE de acordo com um dos métodos anteriormente mencionados é necessário verificar se este respeita os parâmetros regulamentares. Com a determinação do IEE é possível calcular a classe energética de um edifício de comércio e serviços, é necessário utilizar a seguinte equação (Diário da República, 2013):

$$R_{IEE} = \frac{IEE_s - IEE_{ren}}{IEE_{ref,S}}$$

Em que:

- R_{IEE} , rácio de classe energética;
- IEE_s indicador de eficiência energética obtido de acordo com a Tabela II-3;
- IEE_{ren} indicador de eficiência energética renovável associado à produção de energia elétrica a partir de fontes de energias renováveis;
- $IEE_{ref,S}$ indicador de eficiência energética de referência associado aos consumos anuais de energia do tipo S.

Tabela II-3 - Forma de cálculo do IEEs para efeitos de classificação energética de pequenos e grandes edifícios de comércio e serviços.

| Tipo de edifício | Novo | Existente | Grande intervenção |
|------------------|--------------|------------------------------|--------------------|
| PES | $IEE_{pr,S}$ | $IEE_{ef,S}$ ou $IEE_{pr,S}$ | $IEE_{pr,S}$ |
| GES | $IEE_{pr,S}$ | $IEE_{ef,S}$ ou $IEE_{pr,S}$ | $IEE_{pr,S}$ |

De acordo com o valor de R_{IEE} , determina-se qual a classe energética de acordo com a Tabela II-4, para os pequenos e grandes edifícios de comércio e serviços.

Tabela II-4 - Intervalos de valor de R_{IEE} para determinação da classe energética para pequenos e grandes edifícios de comércio e serviços (Portaria n.º 349-D/2013 de 2 de dezembro).

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

II.3 Simulação dinâmica de edifícios

Neste trabalho o simulador dinâmico de edifícios utilizado foi o *ESP-r*.

O *ESP-r* é um programa informático *open-sourced*, criado pela *Universidade de Strathclyde*, que estuda o desempenho energético de edifícios. O *ESP-r* é usado principalmente em estudos académicos, sendo uma excelente ferramenta de ensino. Pode calcular a performance térmica, ótica e acústica de um edifício, bem como para estimar o calor, humidade e energia elétrica do edifício em estudo. O *ESP-r* calcula valores do desempenho da construção com base numa abordagem de volumes finitos, onde o simulador resolve um conjunto de equações consideráveis. Este programa caracteriza-se por possuir uma capacidade de modelação tridimensional de fácil manipulação, disponibilizando vários elementos realísticos permitindo assim fornecer detalhes tais como a tipologia de paredes e a sua espessura (University of Strathclyde, 2000).

Uma das principais vantagens do *ESP-r* é a sua capacidade de análise, pois permite que o utilizador seja bem informado quanto ao desempenho da construção do edifício em estudo. Como o *ESP-r* é uma ferramenta gratuita e como já tem alguns anos, existem vários estudos de estudos e teses em que se utiliza este programa como ferramenta de simulação, fazendo com que o programa seja mais fácil de utilizar (University of Strathclyde, 2000).

II.4 “NET-ZERO BULDINGS” - ZEB

Um edifício de energia quase nula (*Net-Zero Building*) é um edifício em que a quantidade total de energia utilizada pelo edifício numa base anual é aproximadamente igual à quantidade de energias renováveis produzidas por esse mesmo edifício. Estes edifícios são dotados de muitas características que fazem aproveitar os recursos naturais de forma a que não seja necessário utilizar tanta energia.

Algumas das características são (Mesquita, 2016):

- Estratégias bioclimáticas – Otimização dos ganhos solares no Inverno, meios adequados de sombreamento no Verão, uso das características bioclimáticas do local (vegetação, vento, radiação solar, etc.);
- Aplicação nos edifícios de sistemas passivos de arrefecimento e aquecimento (ventilação natural, geotermia, energia solar térmica para AQS, etc.);
- Aplicação no edifício de sistemas de iluminação natural;
- Aplicação no edifício de meios de produção da própria energia elétrica (solar fotovoltaico, energia eólica, etc.).

Além dessas características um edifício de energia quase nula possui medidas de eficiência energética que ajudam a reduzir drasticamente as necessidades de energia do mesmo. Algumas das medidas são (Mesquita, 2016):

- Envolvente do edifício isolada;
- Caso sejam necessários meios ativos de climatização estes têm características de eficiência energética muito elevadas;
- Equipamentos de aplicação doméstica e outros sistemas têm igualmente eficiência energética muito elevada.

No que se refere à climatização e AQS dos edifícios nos países do norte da Europa é possível, utilizando as estratégias bioclimáticas e sistemas passivos de aquecimento, atingirem-se valores quase nulos de necessidades de energia para aquecimento e AQS. Em Portugal, torna-se mais difícil devido às necessidades de arrefecimento no Verão. Apenas o desenho bioclimático não é suficiente para colmatar as necessidades energéticas dos edifícios sem que se considerem sistemas ativos de climatização. De qualquer forma os sistemas ativos de climatização, quando bem projetados, contribuem para a redução do seu consumo. Se for considerado este projeto de aplicação de sistemas ativos de climatização associado à produção de energia elétrica pelo próprio edifício, será possível atingir o balanço nulo de energia.

Uma das motivações para a reformulação da Diretiva 2002/91/CE na comunidade europeia foi a necessidade de relançar o desafio da eficiência energética dos edifícios e definir uma paridade entre os estados membros de forma a que se atinjam metas comuns. Assim foi pré-acordado em 14 de abril de 2010, que a partir de 2020 todos os edifícios novos terão de ser *Net-Zero Buildings* (NZEB), e a partir de 2018 todos os novos edifícios públicos terão de o ser.

Existe por parte do estado português a imposição regulamentar que transporta os projetos para um valor máximo de fornecimento de energia. Para chegar desde esse ponto até ao valor zero (origem) será necessário o esforço voluntário por parte dos promotores e projetistas através da aposta em medidas de eficiência energética. Na Figura II.3 é apresentado um gráfico que relaciona o fornecimento de energia com a energia necessária através da implementação de medidas de eficiência energética.

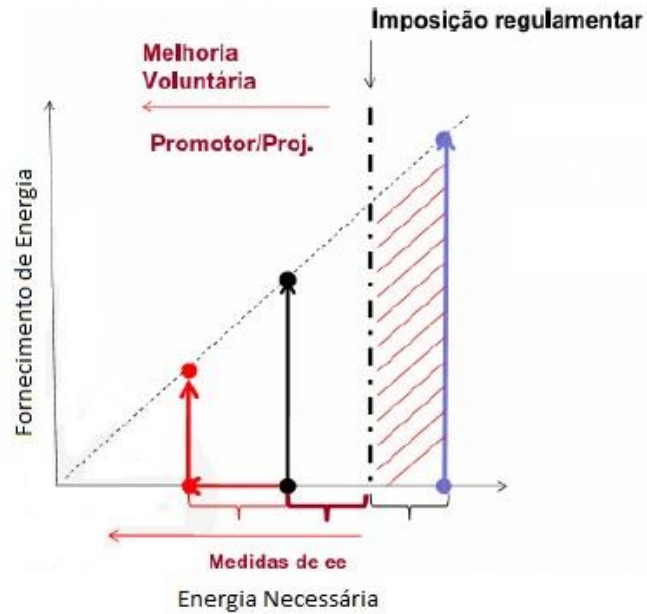


Figura II.3 - Relação entre a energia necessária e o fornecimento de energia (Gonçalves, 2012).

CAPÍTULO III - METODOLOGIA DE ANÁLISE

O processo de realização de uma certificação energética é algo que envolve várias fases e que deverão ser realizadas seguindo uma ordem e sequência correta. A realização ordenada das várias tarefas de cada fase permite que o processo da certificação energética seja realizado de forma eficaz, evitando decisões precipitadas que mais tarde poderão não representar a medida mais eficiente a aplicar.

O faseamento de uma certificação energética pode depender do seu âmbito e das características das instalações. De forma geral podem-se considerar as seguintes fases:

- Familiarização com as matérias abordadas neste projeto (“estado da arte”);
- Estudo das características do edifício;
- Criação do modelo do edifício no simulador *ESP-r*;
- Criação do modelo de referência do edifício no simulador de acordo com a metodologia descrita no SCE/RECS;
- Simulação do comportamento energético dos edifícios de acordo com a metodologia descrita no SCE/RECS;
- Tratamento dos dados e identificação de medidas de melhoria;
- Determinação dos IEE do edifício bem como das medidas, de acordo com a metodologia descrita no SCE/RECS;
- Obter a classificação energética para o edifício com e sem as medidas de melhoria.

III.1 “Estado da arte”

Esta é das fases mais importantes de uma certificação energética, é com base nesta primeira fase que as restantes fases da certificação energética se realizam. É estritamente necessário estar familiarizado com as matérias abordadas neste projeto bem como a legislação atual para realizar a certificação energética nas melhores condições e identificar os elementos mais críticos numa certificação energética.

III.2 Estudo das características do edifício

Nesta fase é importante obter o máximo de informação possível sobre o edifício. Para começar deve ser feita uma visita prévia ao local de forma a fazer um levantamento da instalação, dos equipamentos existentes, das dimensões, das construções e dos materiais do edifício. Com base nesse levantamento deverá ser feito um questionário para os utilizadores das instalações de forma a reunir alguma informação sobre a instalação.

Esta fase deve ser auxiliada com toda a informação obtida anteriormente e deve ser complementada com mais alguma informação caso seja necessário.

O planeamento de todo o processo da certificação energética deve ser elaborado nesta fase e todas as dúvidas relativas ao funcionamento da instalação e ao modo como esta utiliza a energia devem ficar esclarecidas.

III.3 Criação e simulação dos modelos dos edifícios

Após efetuar o estudo das características do edifício procede-se então à criação do modelo do edifício. É nesta fase que se aplicam todas as informações obtidas no estudo das características do edifício bem como as do estado da arte. Será feita uma parametrização do edifício, que contempla as propriedades dos materiais, os elementos construtivos, os envidraçados, os padrões de ocupação, iluminação e equipamentos que serão utilizados na simulação do modelo do edifício. O modelo do edifício terá algumas considerações que serão assumidas no início da sua criação que serão expostas mais à frente.

O modelo de referência do edifício terá que obedecer a certos parâmetros especificados na Tabela. I.07 do Anexo I da Portaria nº 349-D/2013 que se encontra no Anexo A.

Posteriormente à criação dos modelos proceder-se-á então à simulação dos mesmos. Com as simulações será possível obter as necessidades de energia para aquecimento e arrefecimento para as duas situações do edifício (real e de referência).

III.4 Tratamento dos dados e identificação de medidas de melhoria

Após o trabalho de campo toda a informação recolhida das fases anteriores deve ser organizada e analisada de forma a identificar os diversos consumos de energia do edifício e assim identificar possíveis medidas de melhoria do desempenho energético e térmico do edifício.

A análise de todos os dados deve privilegiar a produção de um conjunto de indicadores e resultados de natureza quantitativa que permitam posteriormente a determinação dos IEE do edifício e das suas medidas de melhoria.

Deverá ser feito um estudo de possíveis soluções a implementar para melhorar a forma como a energia é utilizada. Este estudo deve conter as análises técnico-económicas de todos os possíveis investimentos e deverão ser quantificadas as poupanças que se irão obter com as soluções propostas.

III.5 Determinação dos IEE e da classificação energética do edifício com e sem medidas de melhoria

Posteriormente à identificação das medidas de melhoria e das suas análises técnico-económicas deverão ser determinados os IEE para as duas situações do edifício (real e de referência) e para as medidas de melhorias identificadas. A determinação dos IEE é feita através do procedimento indicado no RECS (Portaria nº 349-D/2013).

Após determinar todos os IEE é possível obter a classificação energética do edifício com e sem as medidas de melhoria de acordo com o procedimento indicado no RECS (Despacho nº15793-J/2013).

CAPÍTULO IV - ESTUDO DE CASO

IV.1 Introdução

O restaurante “A Estrela da Mó” é um restaurante de comida tradicional portuguesa localizado em Vila Nova de Poiares. Este tem uma capacidade para 85 pessoas na sala de refeições e 30 no espaço do bar. A principal atividade da empresa é a confeção e serviço de refeições, no entanto dispõe também de um bar que se destina principalmente ao serviço de bebidas. Na Figura IV.1 é apresentada uma imagem da fachada principal.



Figura IV.1 - Restaurante "A Estrela da Mó".

IV.2 Descrição do edifício (características físicas e arquitetónicas)

O restaurante é constituído por um edifício de dois pisos: piso -1 (cave) com cerca de 86 m² que é utilizado apenas para armazenamento de material e matérias-primas. O piso 0 com cerca de 400 m² conta com uma sala de refeições de 96 m², um bar de 56 m², instalações sanitárias, cozinha, copas, sala de churrasqueira, refeitório, balneários, escritório, arrumos e despensas.

Este é um edifício com mais de 30 anos que já conta com algumas modificações na sua estrutura. Parte da cobertura do piso 0 é em terraço e não conta com qualquer tipo de material extra de isolamento; na outra parte encontra-se um segundo piso que pertence a uma habitação que não faz parte do restaurante. As paredes do edifício são paredes duplas, exteriormente contam apenas com um revestimento de reboco e no interior com madeira (sala de refeições), placas de gesso (zona do bar) e reboco (restantes zonas).

A fachada sudeste (entrada), apresentada na Figura IV.2, contém uma grande área de janelas e portas de madeira com vidro simples e existe também um alpendre ao longo de toda esta fachada. Na fachada sudoeste (ver Figura IV.3) existem janelas de madeira com vidro simples ao longo de toda a fachada. Esta fachada conta também com uns pequenos toldos por cima de cada uma das janelas. As restantes fachadas não têm aspetos a considerar.



Figura IV.2 - Fachada sudeste (entrada).



Figura IV.3 - Fachada sudoeste (janelas).

A orientação do edifício permite uma ótima exposição solar e a quantidade de janelas existente na sala de refeições e cozinha permite uma iluminação natural suficiente na maioria dos períodos diurnos.

No que respeita à climatização interior, o edifício conta com cinco unidades de climatização, três na sala de refeições, uma no escritório e uma outra no bar. A sala de refeições tem também uma lareira com recuperador de calor a lenha.

A empresa tem também alguns espaços exteriores, parque de estacionamento para clientes, zona de esplanada e parque de estacionamento para empregados.

Apesar da idade do edifício este aparenta estar em bom estado de conservação. Para uma melhor compreensão das dimensões e estrutura do restaurante no Anexo B encontram-se as plantas do edifício.

IV.3 Consumos de energia (comparação com o consumo de outros edifício semelhantes)

O consumo de energia é essencialmente elétrico, seguindo-se o carvão vegetal para a confeção de grelhados e o gás propano para aquecimento de águas e confeção de refeições. Existe também consumo de outros combustíveis fósseis, nomeadamente gasóleo. Este consumo destina-se aos dois veículos que o restaurante tem e uma percentagem muito pequena destina-se ao gerador de energia.

Na Figura IV.4 pode-se observar a desagregação de consumos por tipo de energia utilizada. Comparando com os valores de referência existentes (na Figura IV.5 é apresentado o consumo por tipo de energia em restaurantes do ano de 1991), podem-se observar algumas diferenças. Principalmente não existe aproveitamento de energia solar e o consumo de gás é bastante inferior; isto pode justificar-se pelo facto de o restaurante utilizar bastante carvão vegetal para confeção de alimentos e utilizar forno e fritadeira elétricos. Como consequência da utilização destes dois equipamentos o consumo de energia elétrica também vai ser mais elevado.

É importante referir que os valores de referência utilizados na Figura IV.5 e na Figura IV.10 são dados do ano de 1991 e são resultado de um conjunto de auditorias realizadas a cerca de 40 restaurantes. Estes valores não têm qualquer tipo de referência ao consumo de carvão vegetal. Deve também ser considerado o facto de os valores de referência terem mais de 20 anos e hoje em dia, as tecnologias utilizadas serem mais evoluídas e eficientes.

No decorrer deste projeto apenas foi monitorizado o consumo de energia elétrica, sendo a utilização do gás obtida com recurso a valores estatísticos existentes e com a análise dos consumos médios dos meses anteriores. Em relação ao consumo de carvão apenas se sabe os consumos médios nos meses anteriores.

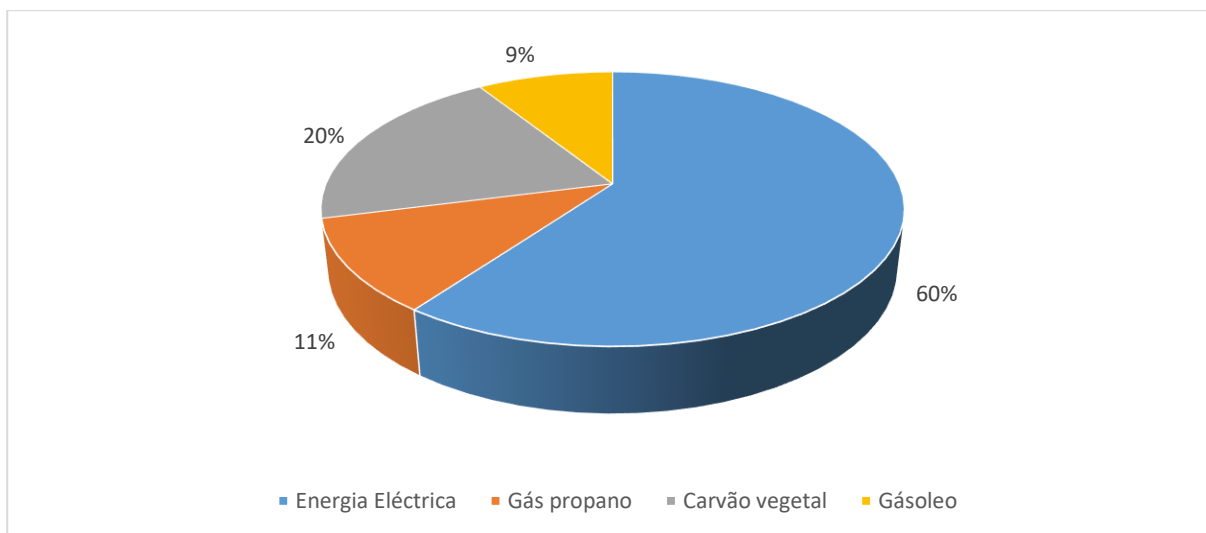


Figura IV.4 - Desagregação dos consumos de energia da instalação.

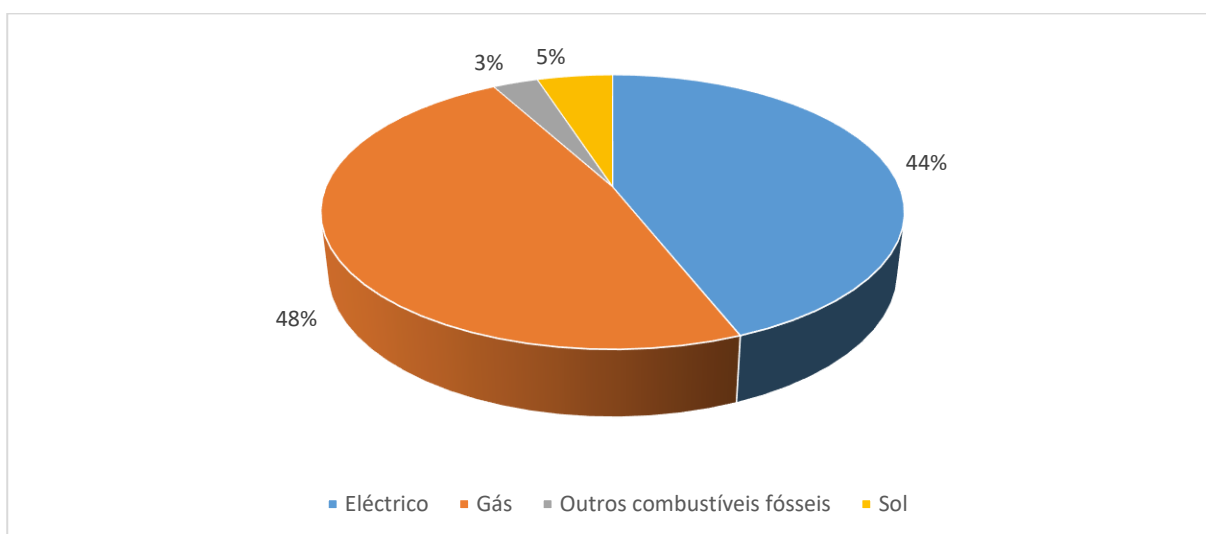


Figura IV.5 - Consumos por fonte de energia em restaurantes, ano 1991 (Direcção Geral de Energia, 1994).

Ainda pela análise da Figura IV.5 verifica-se que o tipo de energia mais utilizado em restaurantes é um combustível fóssil, o gás. Nos restaurantes o gás é maioritariamente utilizado na confeção de alimentos bem como no aquecimento de águas. Como os restaurantes precisam que a confeção de alimentos seja rápida e eficaz, o gás torna-se na escolha ideal.

O consumo de energia eléctrica também é elevado devido a aparelhos com potências eléctricas elevadas que se utilizam na confeção de alimentos, como por exemplo o forno eléctrico e a fritadeira eléctrica.

Em relação à instalação eléctrica, esta é alimentada por um sistema trifásico em baixa tensão com uma potência contratada de 41,41 kVA em regime de baixa tensão especial (BTE) e com ciclo horário diário. De acordo com o levantamento de cargas feito no local (Apêndice I) pode-se constatar que a instalação tem uma potência total instalada de 83 kW que pode ser desagregada por tipo de utilização final como mostra a Figura IV.6.

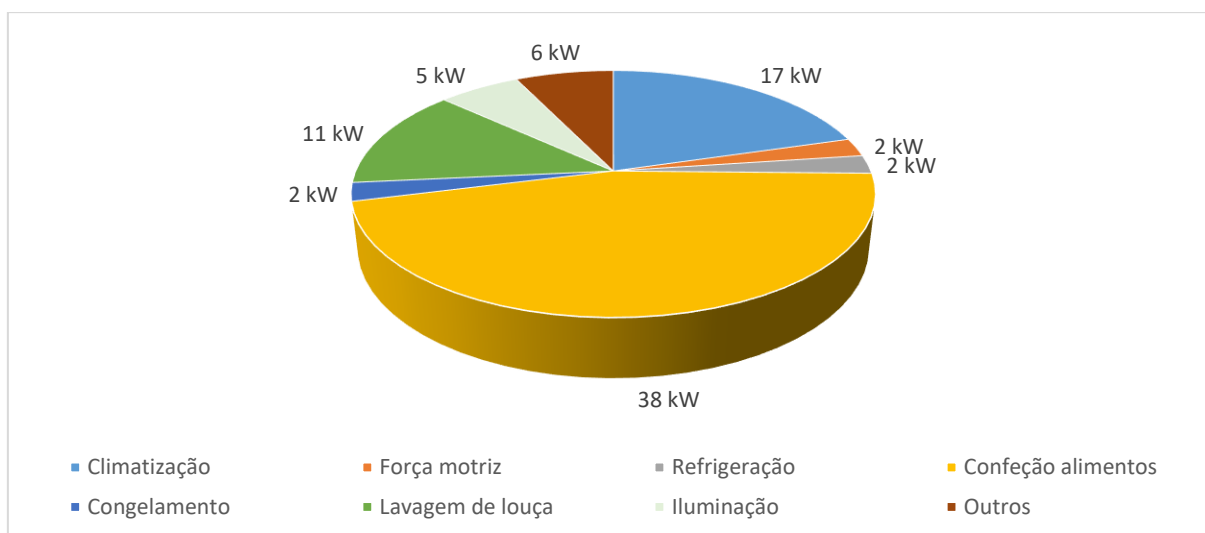


Figura IV.6 - Desagregação da potência instalada.

Como se pode ver na Figura IV.6 os principais responsáveis pelo consumo de energia elétrica são os equipamentos de confeção de alimentos, os sistemas de climatização e as máquinas de lavar louça. Os equipamentos de confeção de alimentos são constituídos por um forno convetor de 9,5 kW uma fritadeira elétrica de 24 kW e 3 micro-ondas de 1,5 kW. Todos estes equipamentos apresentam-se em boas condições e são relativamente novos.

Os equipamentos de climatização são constituídos por 5 aparelhos de Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado (AVAC) com unidades exteriores individuais. Dois destes equipamentos são relativamente antigos e já mostram alguns sinais de mau estado. Um desses equipamentos é apresentado na Figura IV.7 que corresponde a uma unidade de ar condicionado da sala de refeições. Todas as unidades exteriores estão, uma grande parte do dia, expostas diretamente à luz solar o que pode ser prejudicial no funcionamento das mesmas (ver Figura IV.8).



Figura IV.7 - Unidade interior de um ar condicionado.



Figura IV.8 - Ar condicionado: unidade exterior.

O restaurante também conta com uma câmara frigorífica modular com 6,5 m². A utilização deste tipo de câmaras é vantajosa em relação aos frigoríficos tradicionais, além de terem geralmente uma eficiência energética bastante elevada também permitem um melhor acondicionamento dos produtos e tem uma manutenção mais fácil.

Na lavagem de louça existem apenas dois equipamentos, um dedicado apenas a copos com uma potência de 3,45 kW e uma dedicada à restante louça com uma potência de 7,2 kW. Ambos os equipamentos são alimentados com água fria e no caso da máquina de lavar pratos esta suporta a alimentação de água já quente.

Para uma melhor comparação com os dados de referência existentes, os consumos globais por utilização final foram desagregados por aquecimento, arrefecimento, ventilação, iluminação, aquecimento de águas e outros. Na Figura IV.9 e na Figura IV.10 (na Figura IV.10 é apresentado o consumo energético por utilizador final no ano de 1991) é possível comparar os dados obtidos com os valores de referência de 1991 e pode-se verificar que os valores se encontram muito próximos uns dos outros, se assemelham.

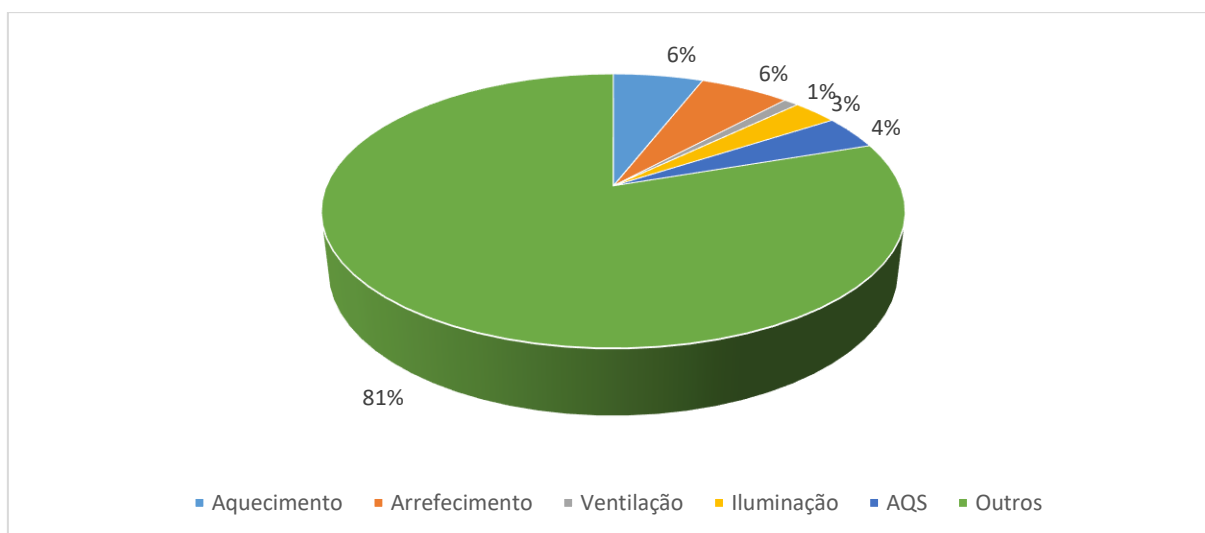


Figura IV.9 - Consumo de energia por utilizador final da instalação.

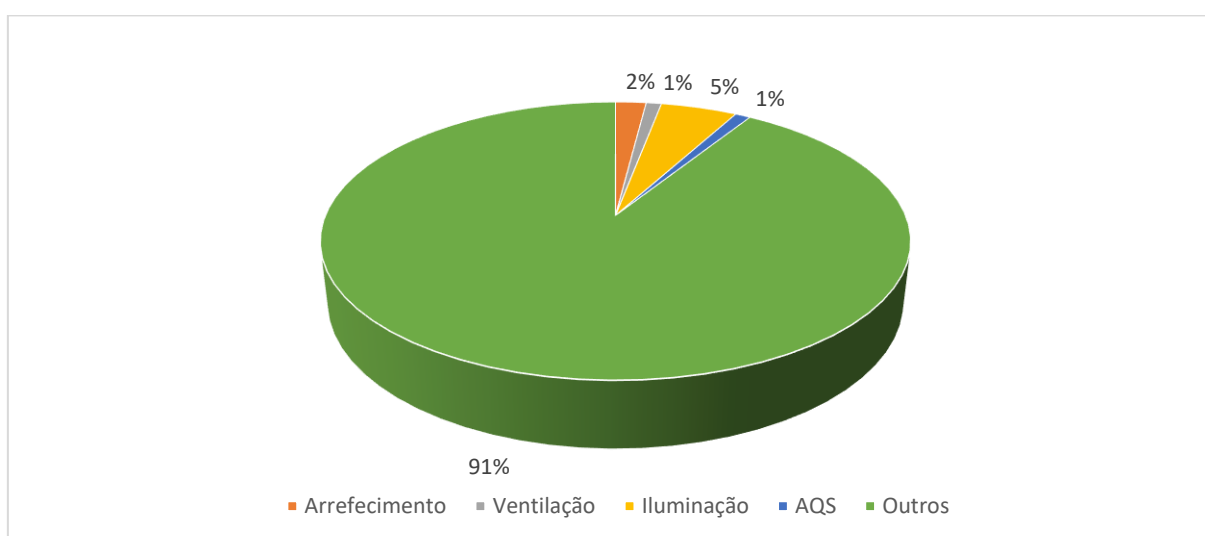


Figura IV.10 - Consumo de energia por utilizador final, ano 1991 (Direcção Geral de Energia, 1994).

Pode-se verificar através da Figura IV.10 que a categoria “outros” é a categoria que consome mais energia. A categoria “outros” engloba todos os equipamentos que consomem energia que não estão incluídos nas restantes categorias. É nesta categoria que se encontram a maior parte dos equipamentos utilizados na confeção de alimentos. É de salientar que a categoria “iluminação” é a segunda categoria que consome mais energia num restaurante tipo. A maior parte do consumo de energia utilizada na iluminação é devido à necessidade de obter excelentes condições visuais tanto na cozinha como na sala de refeições de um certo restaurante.

Relativamente ao consumo de gás, o restaurante utiliza botijas de gás propano de 45 kg. O gás destina-se ao aquecimento de águas quentes através de um esquentador e à confeção de alimentos através do fogão a gás. A desagregação de consumos não foi possível ser feita devido ao facto de ambos os equipamentos serem alimentados da mesma fonte de fornecimento. Contudo com recurso ao programa “RetScreen”, baseado na folha de cálculo “Excel”, elaborado por uma entidade canadiana, gratuito e de domínio público (Apêndice II), foi possível estimar as necessidades de água quente juntamente com o seu consumo de gás.

Sabendo os consumos médios anuais de gás foi possível estimar um consumo de água quente de 31% e 69% para a confeção de refeições. Esta estimativa é mostrada na Figura IV.11.

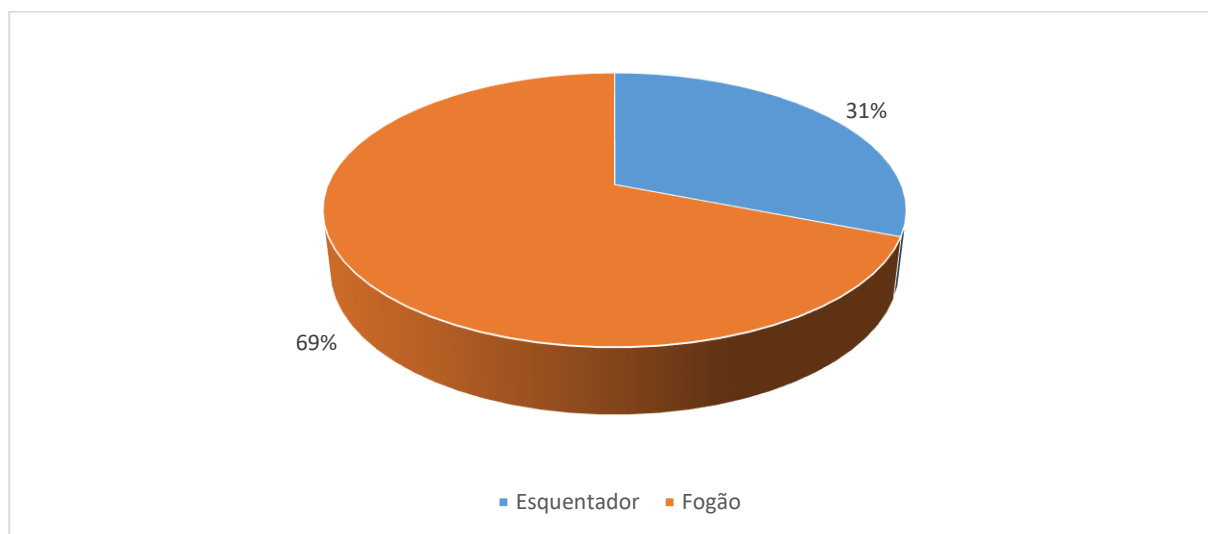


Figura IV.11 - Consumo de gás estimado por utilização final de acordo com as necessidades de água quente estimadas com recurso ao programa “RetScreen”.

Para o consumo de gasóleo apenas temos uma média de consumos mensais de cerca de 130 litros. Para uma melhor análise deste tipo de consumos dever-se-ia ter em conta outros fatores tais como os quilómetros médios feitos pelos veículos. Este ponto não foi analisado com muito pormenor, tendo em conta o bom estado de mecânica de ambos os veículos. As oportunidades de racionalização que se poderão aplicar serão apenas a nível de adoção de comportamentos durante a condução que permitam utilizar os veículos de forma mais eficiente. Outro fator que irá afetar a eficiência do veículo é a sua condição mecânica sendo importante que sejam feitas todas as inspeções mecânicas e que a manutenção seja feita periodicamente.

A instalação possui ainda um gerador de emergência de energia elétrica de 35 kW, que apenas é utilizado em casos de falhas de energia. Na região onde se encontra localizado o restaurante é comum haver interrupções do fornecimento de energia em casos de intempéries mais fortes. Apesar de as interrupções normalmente serem de curta duração, nestes casos o gerador de energia torna-se um equipamento indispensável tendo em conta a dependência de energia elétrica para manter o funcionamento do restaurante.

CAPÍTULO V - CRIAÇÃO DOS MODELOS DO EDIFÍCIO

V.1 Modelo do edifício para simulação

Para iniciar a criação do modelo do edifício para a simulação no programa *ESP-r* foi necessária uma visita ao local para obter uma descrição mais detalhada possível das dimensões, propriedades e materiais utilizados na construção do edifício. Como os proprietários do restaurante não possuem a memória descritiva do restaurante, só foi possível obter a descrição construtiva do edifício recorrendo a informações dadas pelos mesmos, adotando valores característicos de soluções espectáveis e boas práticas de engenharia. Após essa recolha exaustiva dos dados de construção do edifício e em conjunto com o levantamento de equipamentos e cargas de iluminação (ver Apêndice I e Apêndice III) é possível criar um modelo que represente o comportamento térmico do edifício durante um ano completo.

O *ESP-r*, por defeito, possui uma extensa base de dados de materiais e elementos construtivos. Dá-nos também a possibilidade de através dessa base de dados, criar uma nova biblioteca de materiais bem como soluções construtivas adaptadas para a realidade da construção do edifício.

Nas secções seguintes são apresentadas as considerações que foram assumidas na criação do modelo do edifício bem como a parametrização do mesmo.

V.1.1 Considerações assumidas no modelo

Como ponto de partida, é necessário escolher os dados climáticos na base de dados, permitindo assim obter resultados mais realísticos, uma vez que o clima de um local influencia consideravelmente as necessidades de aquecimento e de arrefecimento de um edifício. Visto que na base de dados do *ESP-r* apenas existiam dados climáticos das cidades de Lisboa e Porto, foi introduzido um ficheiro com dados climáticos de Coimbra.

Coimbra tem como coordenadas latitude de 40,210N e longitude de 8,430W, sendo o ano civil considerado de 1998. As temperaturas do solo consideradas foram as constantes do ficheiro climático de Coimbra elaborado para o *EnergyPlus*, retiradas de *US Department of Energy* (2009) e que se encontram na Tabela V-1.

Tabela V-1 - Valores da temperatura média mensal do solo a diversas profundidades para Coimbra.

| Profundidade | Jan. | Fev. | Mar. | Abr. | Mai | Jun. | Jul. | Ago. | Set. | Out. | Nov. | Dez. |
|--------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 0,5 m | 14,7 | 12,2 | 10,6 | 10,1 | 11,1 | 13,2 | 15,8 | 18,4 | 20,1 | 20,5 | 19,5 | 17,4 |
| 2,0 m | 15,8 | 13,8 | 12,3 | 11,6 | 11,7 | 12,9 | 14,7 | 16,8 | 18,4 | 19,2 | 18,9 | 17,7 |
| 4,0 m | 16,3 | 14,9 | 13,7 | 13,1 | 12,7 | 13,2 | 14,3 | 15,7 | 17,0 | 17,8 | 17,9 | 17,4 |

Para as taxas de infiltração de ar exterior considerou-se um valor constante de 0,6 renovações de ar por hora, em concordância com o valor mínimo estipulado pelo RECS (2013).

Em relação à climatização foi considerado que a temperatura na estação de arrefecimento é de 25°C e na estação de aquecimento a temperatura é de 20°C.

Existem dois tipos de horários de climatização utilizados pelos proprietários do restaurante. O primeiro horário (Horário 1) mantém ligado os aparelhos de climatização das 11:00 às 15:00 horas e das 18:00 às 22:00 horas. O segundo horário (Horário 2) mantém ligado os aparelhos de climatização entre as 21:00 horas e as 23:00 horas.

V.1.2 Parametrização do modelo

Para efetuar uma parametrização correta do modelo do edifício é necessário efetuar uma divisão do edifício em diversas zonas. Numa primeira fase identifica-se quais os locais que são climatizados. Os locais climatizados terão de ficar em zonas independentes, pois serão feitos cálculos específicos nessas mesmas zonas. Posteriormente serão agrupados alguns locais comuns não climatizados de forma a que a divisão das zonas não seja muito extensa. A Tabela V-2 indica como foi efetuada a divisão das zonas do modelo, a área correspondente, se possui climatização ou não e o horário de climatização.

Após efetuar a divisão das zonas foi necessário identificar as obstruções solares existentes ao edifício, que neste caso são duas moradias existentes na periferia do restaurante. Após a identificação das dimensões das obstruções foi possível representá-las no modelo do edifício. A Tabela V-3 apresenta as dimensões das obstruções representadas no modelo do edifício.

Tabela V-2 - Divisão das zonas do modelo.

| Zona | Descrição | Área [m ²] | Climatização | Horário de climatização |
|------|------------------------------------|------------------------|--------------|-------------------------|
| 1 | Armazém | 113 | Não | - |
| 2 | Cozinha | 57,6 | Não | - |
| 3 | Sala de jantar | 124 | Sim | Horário 1 |
| 4 | Copa/WC's | 52,2 | Não | - |
| 5 | Bar | 69 | Sim | Horário 1 |
| 6 | Gabinete de administração | 12,8 | Sim | Horário 2 |
| 7 | Armazém/Balneários/Refeitório/Copa | 141 | Não | - |
| 8 | Cozinha grelhados | 52,3 | Não | - |

Tabela V-3 - Dimensões das obstruções.

| Obstruções | Comprimento [m] | Largura[m] | Altura [m] |
|------------|-----------------|------------|------------|
| Bloco 1 | 22,47 | 12,24 | 8 |
| Bloco 2 | 15,6 | 8,5 | 3,5 |

A Figura V.1 apresenta a divisão das zonas e as obstruções solares (B1 e B2) através de uma vista em plano criada pelo *ESP-r* e a Figura V.2 apresenta uma vista em perspetiva do edifício no simulador.

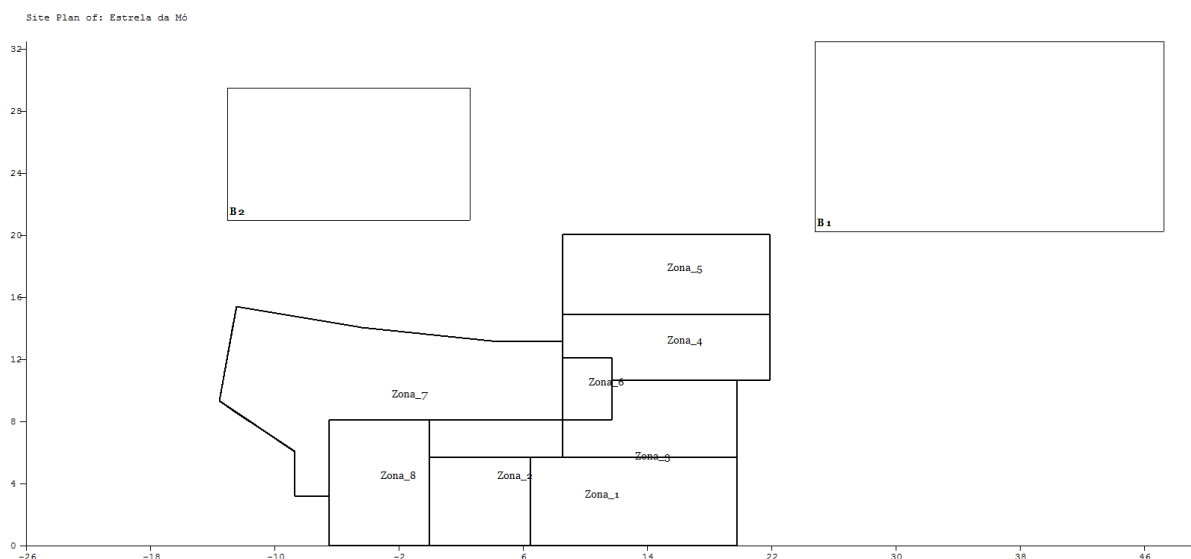


Figura V.1 - Vista em plano do modelo (divisão das zonas).

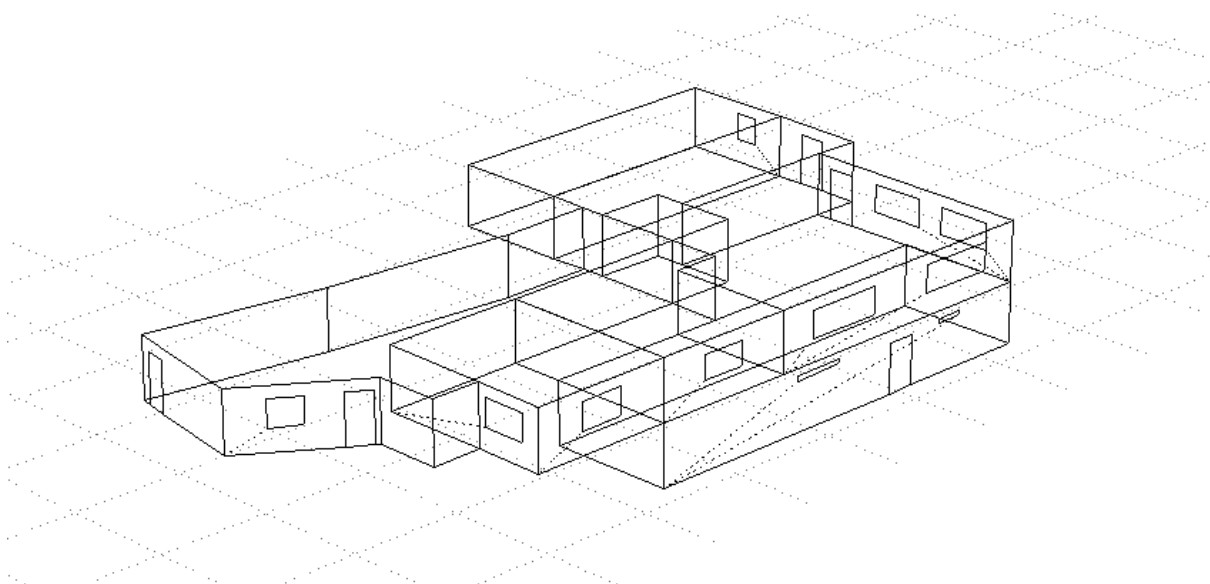


Figura V.2 - Vista em perspectiva do modelo do edifício “A Estrela da Mó”.

V.1.2.1 Propriedades dos materiais utilizados na simulação

Após efetuar a parametrização do modelo no *ESP-r* é necessário identificar quais os materiais que serão utilizados na simulação do modelo do edifício. Posteriormente esses materiais serão aplicados a cada elemento construtivo de cada zona na simulação do edifício.

Na Tabela V-4 são indicados os materiais utilizados no modelo do edifício bem como as suas propriedades.

Tabela V-4 - Materiais utilizados no modelo do edifício.

| Materiais | Emissividade (ϵ) | Condutividade ($\frac{W}{m^2K}$) | Densidade ($\frac{kg}{m^3}$) |
|------------------|---|--|--|
| Tijolo | 0,9 | 0,47 | 782 |
| Reboco Branco | 0,91 | 1,15 | 1800 |
| Calcário | 0,915 | 1,76 | 2100 |
| Betão | 0,9 | 1,75 | 2400 |
| Argamassa | 0,93 | 1,3 | 1900 |
| Azulejo | 0,9 | 1,05 | 1690 |
| Gesso Branco | 0,91 | 0,5 | 1200 |
| Madeira | 0,9 | 0,19 | 700 |
| Vidro | 0,83 | 1,05 | 2500 |
| Alumínio | 0,805 | 50 | 7800 |

V.1.2.2 Elementos construtivos (paredes, tetos, chão, portas)

No seguimento da identificação dos materiais a usar na simulação do modelo do edifício é necessário aplicar esses mesmos materiais a cada elemento construtivo de cada zona.

No *ESP-r* em cada elemento construtivo a atribuição dos respetivos materiais terá de obedecer a uma ordem específica, do exterior para o interior. Todas as paredes do edifício são duplas e as paredes do exterior do edifício apenas têm reboco branco. Apenas são consideradas as portas e janelas que têm acesso ao exterior.

A Zona 1 é composta por um armazém e um pequeno corredor de acesso. Esta zona tem uma área de 113 m² definida na simulação do modelo. Possui uma porta e duas janelas com acesso ao exterior.

A Figura V.3 apresenta a vista em perspetiva da Zona 1 gerada pelo *ESP-r*.

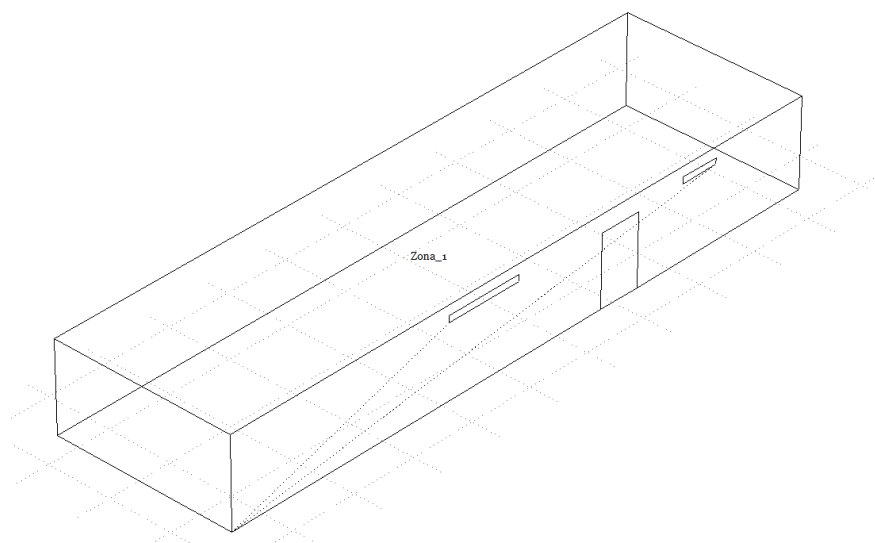


Figura V.3 - Vista em perspetiva da Zona 1.

A Tabela V-5 apresenta uma descrição construtiva da Zona 1 bem como a condutividade térmica global de cada construção.

Tabela V-5 - Descrição construtiva da Zona 1.

| Construção | Descrição | Espessura (cm) | U_{global} ($\frac{W}{m^2K}$) |
|----------------------------|---|----------------|--------------------------------------|
| Paredes norte, sul e oeste | Parede dupla de tijolo com reboco branco | 30 | 1,465 |
| Parede este | Paredes de alvenaria ordinária “calcário” com reboco branco | 45 | 2,269 |
| Teto | Teto em betão com reboco branco | 30 | 2,724 |
| Chão | Chão em betão | 25 | 3,196 |
| Porta de acesso | Porta de alumínio de dimensões de 1,3 m largura por 2,2 m de altura | 3,5 | 5,875 |

A Zona 2 é composta pela cozinha principal. Esta zona tem uma área de 57,6 m² definida na simulação do modelo. Possui uma janela com acesso ao exterior.

A Figura V.4 apresenta a vista em perspectiva da Zona 2 gerada pelo *ESP-r*.

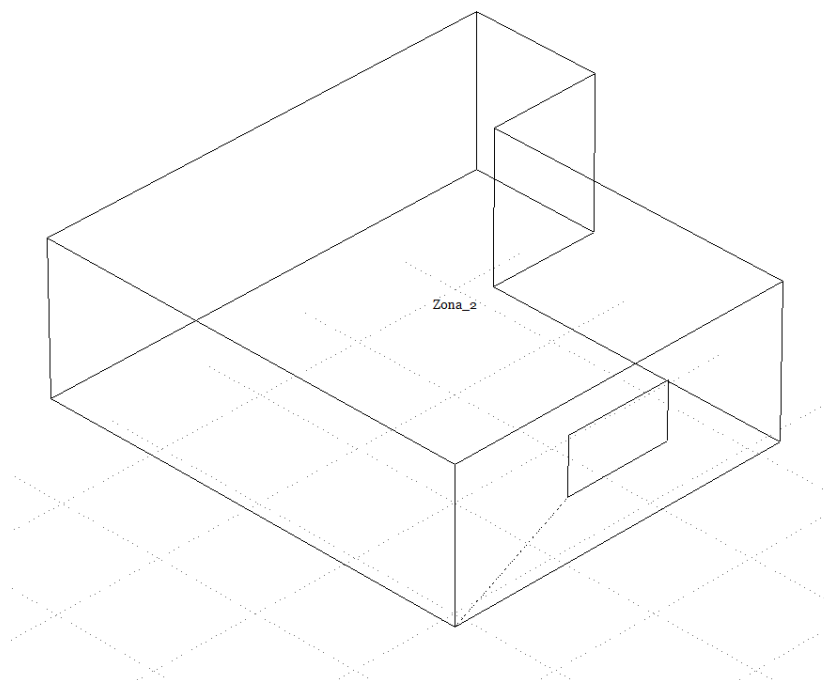


Figura V.4 - Vista em perspectiva da Zona 2.

A Tabela V-6 apresenta uma descrição construtiva da Zona 2 bem como a condutividade térmica global de cada construção.

Tabela V-6 - Descrição construtiva da Zona 2.

| Construção | Descrição | Espessura (cm) | U_{global} $\left(\frac{W}{m^2K}\right)$ |
|----------------------|---|----------------|--|
| Paredes norte e este | Parede dupla de tijolo com argamassa e azulejo branco | 30 | 1,483 |
| Parede sul | Parede dupla de tijolo com argamassa e azulejo branco | 30 | 1,237 |
| Parede oeste | Parede dupla de tijolo com argamassa e azulejo branco | 30 | 1,474 |
| Teto | Teto em betão com gesso branco | 30 | 2,422 |
| Chão | Chão em betão com argamassa e azulejo antiderrapante cinzento | 30 | 2,724 |

A Zona 3 é composta por uma sala de jantar um pequeno corredor de acesso e uma local de receção ao público. Esta zona tem uma área de 124 m² definida na simulação do modelo. Possui uma porta e oito janelas com acesso ao exterior. Na simulação apenas estão representadas 4 janelas devido a uma limitação do programa. Cada janela possui maior área vidro, mas a área do conjunto das 4 janelas é a mesma área do conjunto das 8 janelas reais.

A Figura V.5 apresenta a vista em perspectiva da Zona 3 gerada pelo *ESP-r*.

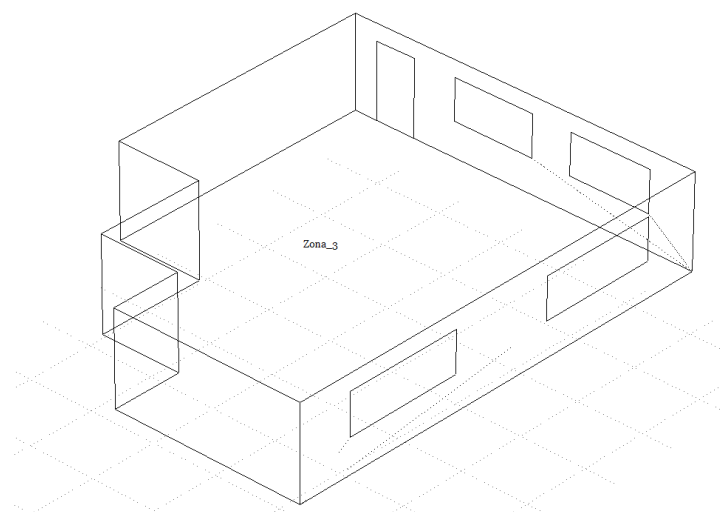


Figura V.5 - Vista em perspectiva da Zona 3.

A Tabela V-7 apresenta uma descrição construtiva da Zona 3 bem como a condutividade térmica global de cada construção.

Tabela V-7 - Descrição construtiva da Zona 3.

| Construção | Descrição | Espessura (cm) | U_{global} ($\frac{W}{m^2K}$) |
|---------------------------|---|----------------|--------------------------------------|
| Paredes norte, sul e este | Parede dupla de tijolo com argamassa e madeira | 30 | 1,237 |
| Parede oeste | Parede dupla de tijolo com argamassa e madeira | 30 | 1,231 |
| Teto | Teto em betão com argamassa e madeira | 30 | 2,157 |
| Chão | Chão em betão com argamassa e azulejo castanho | 30 | 2,724 |
| Porta de acesso | Porta de madeira de dimensões de 2,2 m de altura por 1,2 m de largura | 4 | 2,908 |

A Zona 4 é composta por uma copa, 2 casas de banho e um pequeno corredor de acesso. Esta zona tem uma área de 52,2 m² definida na simulação do modelo. Possui uma porta com acesso ao exterior.

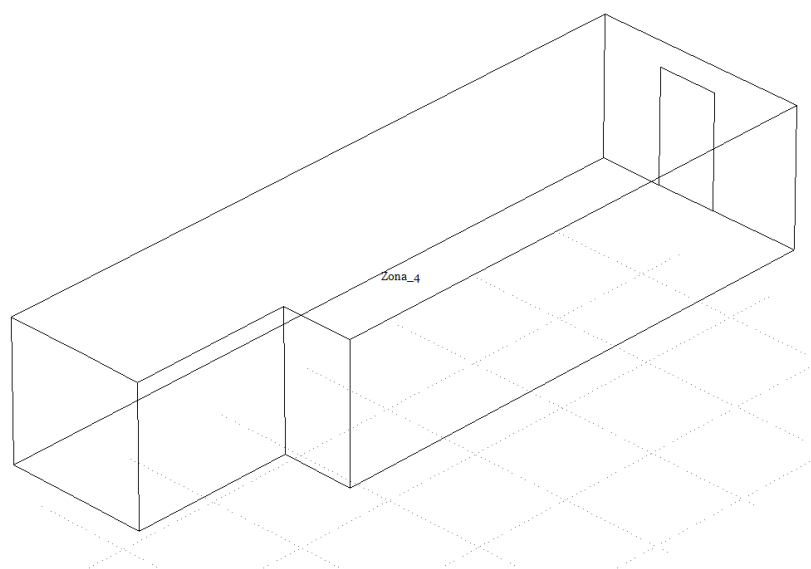


Figura V.6 - Vista em perspectiva da Zona 4.

A Tabela V-8 apresenta uma descrição construtiva da Zona 4 bem como a condutividade térmica global de cada construção.

Tabela V-8 - Descrição construtiva da Zona 4.

| Construção | Descrição | Espessura (cm) | $U_{global} \left(\frac{W}{m^2K}\right)$ |
|-----------------|---|----------------|--|
| Parede norte | Parede dupla de tijolo com argamassa e azulejo branco | 30 | 1,474 |
| Parede sul | Paredes de alvenaria ordinária “calcário” com reboco branco | 45 | 2,194 |
| Parede este | Parede dupla de tijolo com argamassa e azulejo branco | 30 | 1,361 |
| Parede oeste | Parede dupla de tijolo com argamassa e azulejo branco | 30 | 1,237 |
| Teto | Teto em betão com gesso branco | 30 | 2,422 |
| Chão | Chão em betão com argamassa e azulejo castanho | 30 | 2,839 |
| Porta de acesso | Porta de madeira de dimensões de 2,2 m de altura por 1,2 m de largura | 4 | 2,908 |

A Zona 5 é composta por um bar e um pequeno corredor de acesso. Esta zona tem uma área de 69 m² definida na simulação do modelo. Possui uma janela com acesso ao exterior.

A Figura V.7 apresenta a vista em perspectiva da Zona 5 gerada pelo *ESP-r*.

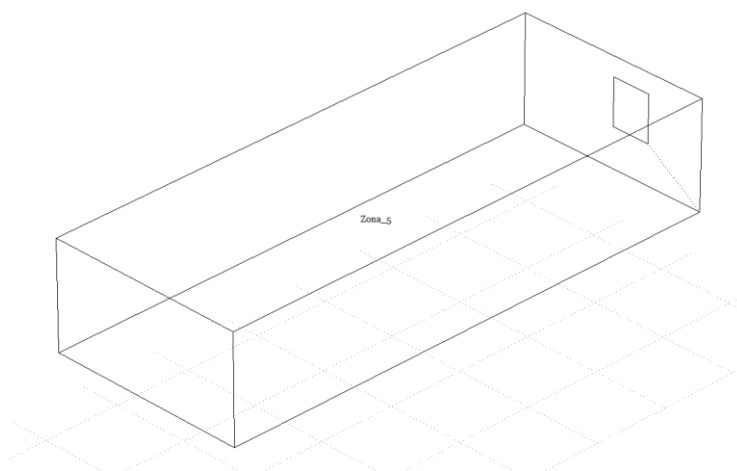


Figura V.7 - Vista em perspectiva da Zona 5.

A Tabela V-9 apresenta uma descrição construtiva da Zona 5 bem como a condutividade térmica global de cada construção.

Tabela V-9 - Descrição construtiva da Zona 5.

| Construção | Descrição | Espessura (cm) | U_{global} $(\frac{W}{m^2K})$ |
|---------------------------|---|----------------|------------------------------------|
| Paredes norte, sul e este | Parede de alvenaria ordinária “calcário” com gesso branco | 45 | 2,011 |
| Parede oeste | Parede dupla de tijolo com gesso branco | 30 | 1,361 |
| Teto | Teto em betão com gesso branco | 30 | 2,422 |
| Chão | Chão em betão com argamassa e azulejo castanho | 30 | 2,839 |

A Zona 6 é composta por um gabinete de administração. Esta zona tem uma área de 12,8 m² definida na simulação do modelo.

A Figura V.8 apresenta a vista em perspectiva da Zona 6 gerada pelo *ESP-r*.

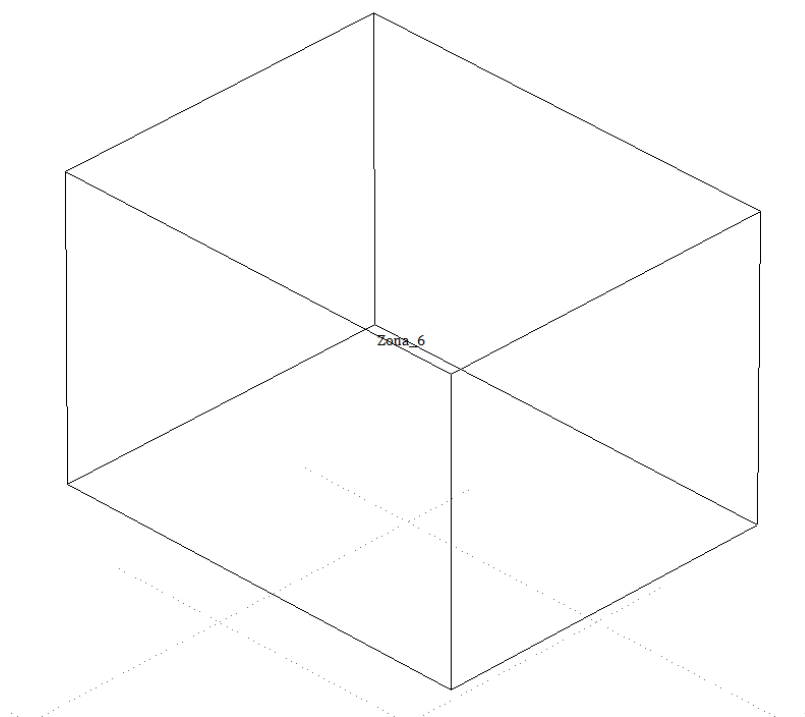


Figura V.8 - Vista em perspectiva da Zona 6.

A Tabela V-10 apresenta uma descrição construtiva da Zona 6 bem como a condutividade térmica global de cada construção.

Tabela V-10 - Descrição construtiva da Zona 6.

| Construção | Descrição | Espessura (cm) | U_{global} $\left(\frac{W}{m^2K}\right)$ |
|---------------------------|--|----------------|--|
| Paredes norte, sul e este | Parede dupla de tijolo com reboco branco | 30 | 1,474 |
| Parede oeste | Parede dupla de tijolo com reboco branco | 30 | 1,429 |
| Teto | Teto em betão com gesso branco | 30 | 2,422 |
| Chão | Chão em betão com argamassa e azulejo castanho | 30 | 2,839 |

A Zona 7 é composta por um armazém, 2 balneários, uma copa, um refeitório e um corredor de acesso. Esta zona tem uma área de 141 m² definida na simulação do modelo.

A Figura V.9 apresenta a vista em perspectiva da Zona 7 gerada pelo *ESP-r*.

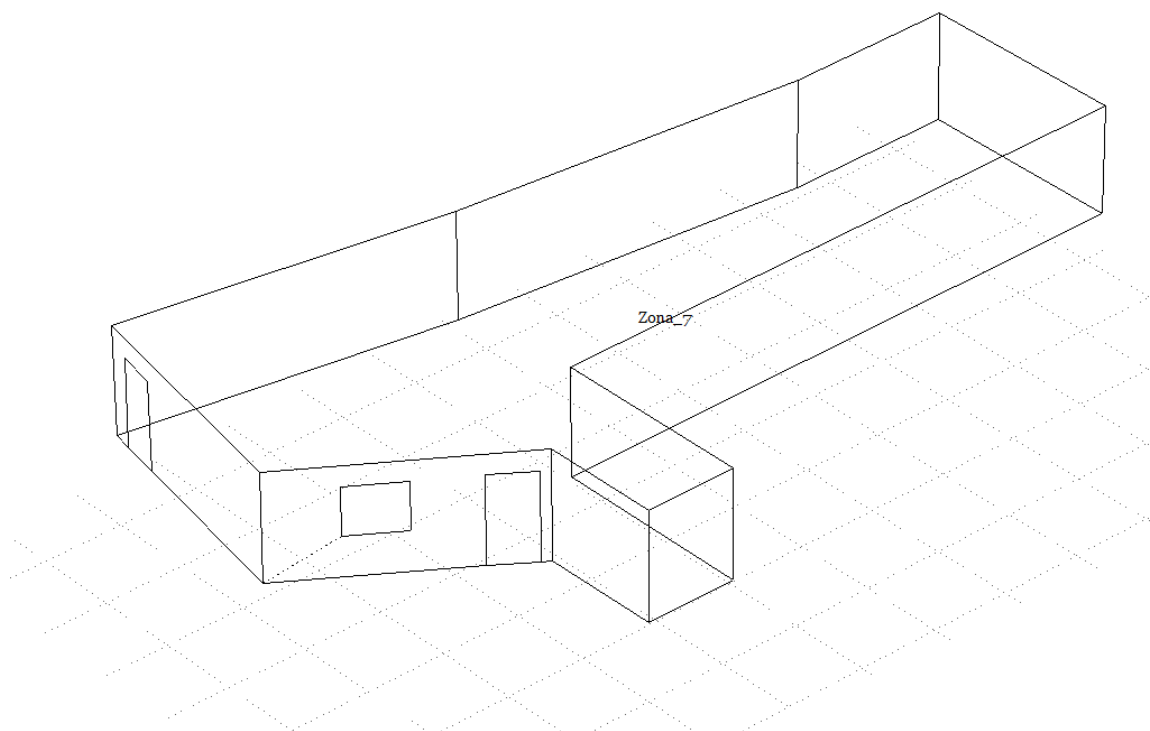


Figura V.9 - Vista em perspectiva da Zona 7.

A Tabela V-11 apresenta uma descrição construtiva da Zona 7 bem como a condutividade térmica global de cada construção.

Tabela V-11 - Descrição construtiva da Zona 7.

| Construção | Descrição | Espessura (cm) | U_{global} ($\frac{W}{m^2K}$) |
|------------------|---|----------------|--------------------------------------|
| Parede norte | Parede dupla de tijolo com reboco branco | 30 | 1,465 |
| Parede sul | Parede dupla de tijolo com argamassa e azulejo preto | 30 | 1,474 |
| Parede este | Parede de alvenaria ordinária “calcário” com gesso branco | 45 | 2,269 |
| Parede oeste | Parede dupla de tijolo com argamassa e azulejo de cor preto | 30 | 1,483 |
| Teto | Teto em betão com reboco branco | 30 | 2,806 |
| Chão | Chão em betão com argamassa e azulejo cinzento | 30 | 2,839 |
| Portas de acesso | Porta de alumínio de dimensões de 1,2 m largura por 2,2 m de altura | 3,5 | 5,875 |

A Zona 8 é composta por uma cozinha de grelhados. Esta zona tem uma área de 52,3 m² definida na simulação do modelo.

A Figura V.10 apresenta a vista em perspetiva da Zona 8 gerada pelo *ESP-r*.

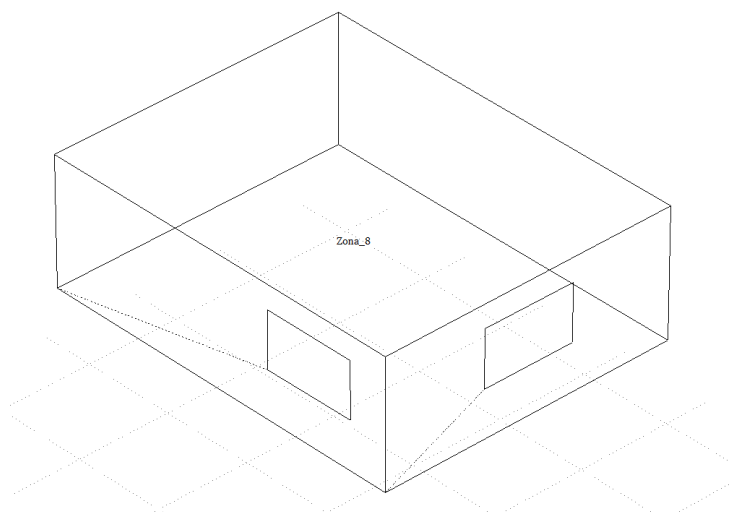


Figura V.10 - Vista em perspetiva da Zona 8.

A Tabela V-12 apresenta uma descrição construtiva da Zona 8 bem como a condutividade térmica global de cada construção.

Tabela V-12 - Descrição construtiva da Zona 8.

| Construção | Descrição | Espessura (cm) | U_{global} $\left(\frac{W}{m^2K}\right)$ |
|---------------------------|---|---------------------------|--|
| Paredes norte, sul e este | Parede dupla de tijolo com argamassa e azulejo branco | 30 | 1,483 |
| Parede oeste | Parede dupla de tijolo com argamassa e azulejo branco | 30 | 1,474 |
| Teto | Teto em betão com reboco branco | 30 | 2,806 |
| Chão | Chão em betão com argamassa e azulejo antiderrapante cinzento | 30 | 2,839 |

V.1.2.3 Envidraçados (janelas)

Após aplicar os respetivos materiais a cada elemento construtivo de cada zona é necessário definir as dimensões e o tipo de vidro de cada janela existente no modelo do edifício.

Tal como descrito no anterior ponto, na simulação da Zona 3 apenas estão representadas 4 janelas devido a uma limitação do simulador. Cada janela da simulação possui maior área de vidro em relação às janelas reais do edifício, mas a área do conjunto das 4 janelas da simulação é a mesma área do conjunto das 8 janelas reais do edifício.

Na Tabela V-13 é apresentada para cada zona a descrição dos envidraçados existentes no edifício bem como a condutividade térmica respetiva.

Tabela V-13 - Descrição dos envidraçados existentes no modelo do edifício.

| Zona | Descrição da janela | Tipo de vidro | Fator solar (g) | $U_{global} \left(\frac{W}{m^2 K} \right)$ |
|--------|--|-------------------------------|-----------------|---|
| Zona 1 | Janela com dimensões de 2,4 m de largura por 0,2 m de altura | Simples com 5 mm de espessura | 0,87 | 5,722 |
| | Janela com dimensões de 1,4 m de largura por 0,2 m de altura | | | |
| Zona 2 | Janela com dimensões de 1,98 m de largura por 1,03 m de altura | | | |
| Zona 3 | Janela com dimensões de 3,5 m de largura por 1,2 m de altura | | | |
| | Janela com dimensões de 3,5 m de largura por 1,2 m de altura | | | |
| | Janela com dimensões de 2,45 m de largura por 1,2 m de altura | | | |
| | Janela com dimensões de 2,45 m de largura por 1,2 m de altura | | | |
| Zona 5 | Janela com dimensões de 1 m de largura por 1,2 m de altura | | | |
| Zona 7 | Janela com dimensões de 1,4 m de largura por 1,2 m de altura | | | |
| Zona 8 | Janela com dimensões de 2 m de largura por 1,2 m de altura | | | |
| | Janela com dimensões de 2 m de largura por 1,2 m de altura | | | |

V.1.2.4 Padrões de ocupação, iluminação e equipamentos

De acordo com o ponto nº 1 do artigo nº 6 do 3º Capítulo do Decreto-Lei nº 79/2006, os requisitos energéticos são calculados com base em padrões nominais de utilização dos edifícios. Estes padrões de referência, definidos para diferentes tipologias de edifício, encontram-se no Anexo XV do regulamento bem como os perfis variáveis, os perfis constantes e densidades de ocupação e equipamentos. A simulação do funcionamento de um edifício de acordo com os padrões de referência resulta num consumo nominal específico que traduz uma estimativa da energia utilizada para o funcionamento de um edifício durante um ano tipo, por unidade de área ou por unidade de serviço prestado (Agência para a Energia, 2015).

Como neste tipo de edifício é difícil de estabelecer padrões de ocupação, iluminação e de equipamentos, a atribuição é feita através de padrões de referência presentes na legislação (Decreto-Lei nº 79/2006, Anexo XV – Restaurantes).

A Tabela V-14 apresenta as densidades impostas pelo RSECE para as tipologias de restaurante utilizados na simulação.

Tabela V-14 - Densidades impostas pelo RSECE para a tipologia de restaurante.

| Zona de Atendimento e de apoio ao serviço | Densidades |
|---|----------------------------|
| Ocupação | 5 m ² /Ocupante |
| Iluminação | ----- |
| Equipamento | 5 W/m ² |

Na Tabela V-15, Tabela V-16 e Tabela V-17 são apresentados respetivamente os perfis de ocupação, iluminação e equipamentos para as tipologias de restaurante utilizados na simulação.

Tabela V-15 - Perfil de ocupação para restaurantes.

| Horas | % de Ocupação | | |
|------------|---------------|---------|----------|
| | Dias úteis | Sábados | Domingos |
| 0H às 1H | 0% | 0% | 5% |
| 1H às 2H | 0% | 0% | 0% |
| 2H às 3H | 0% | 0% | 0% |
| 3H às 4H | 0% | 0% | 0% |
| 4H às 5H | 0% | 0% | 0% |
| 5H às 6H | 0% | 0% | 0% |
| 6H às 7H | 0% | 0% | 0% |
| 7H às 8H | 0% | 0% | 0% |
| 8H às 9H | 5% | 5% | 5% |
| 9H às 10H | 5% | 5% | 5% |
| 10H às 11H | 20% | 20% | 10% |
| 11H às 12H | 50% | 45% | 20% |
| 12H às 13H | 100% | 50% | 25% |
| 13H às 14H | 90% | 50% | 25% |
| 14H às 15H | 40% | 35% | 15% |
| 15H às 16H | 20% | 20% | 20% |
| 16H às 17H | 25% | 25% | 25% |
| 17H às 18H | 35% | 35% | 35% |
| 18H às 19H | 75% | 75% | 55% |
| 19H às 20H | 75% | 85% | 65% |
| 20H às 21H | 75% | 85% | 70% |
| 21H às 22H | 50% | 65% | 35% |
| 22H às 23H | 35% | 55% | 20% |
| 23H às 24H | 20% | 35% | 20% |

Tabela V-16 - Perfil de iluminação para restaurantes.

| Horas | % de Iluminação | | |
|------------|-----------------|---------|----------|
| | Dias úteis | Sábados | Domingos |
| 0H às 1H | 0% | 0% | 5% |
| 1H às 2H | 0% | 0% | 0% |
| 2H às 3H | 0% | 0% | 0% |
| 3H às 4H | 0% | 0% | 0% |
| 4H às 5H | 0% | 0% | 0% |
| 5H às 6H | 0% | 0% | 0% |
| 6H às 7H | 20% | 20% | 15% |
| 7H às 8H | 40% | 30% | 30% |
| 8H às 9H | 60% | 55% | 45% |
| 9H às 10H | 60% | 55% | 50% |
| 10H às 11H | 90% | 75% | 60% |
| 11H às 12H | 100% | 80% | 75% |
| 12H às 13H | 100% | 95% | 95% |
| 13H às 14H | 100% | 95% | 95% |
| 14H às 15H | 95% | 85% | 70% |
| 15H às 16H | 90% | 85% | 60% |
| 16H às 17H | 90% | 85% | 60% |
| 17H às 18H | 90% | 90% | 60% |
| 18H às 19H | 95% | 95% | 75% |
| 19H às 20H | 95% | 100% | 95% |
| 20H às 21H | 100% | 100% | 100% |
| 21H às 22H | 100% | 100% | 90% |
| 22H às 23H | 80% | 100% | 50% |
| 23H às 24H | 50% | 70% | 30% |

Tabela V-17 - Perfil de equipamento para restaurantes.

| Horas | % de Equipamentos | | |
|------------|-------------------|---------|----------|
| | Dias úteis | Sábados | Domingos |
| 0H às 1H | 45% | 45% | 45% |
| 1H às 2H | 45% | 45% | 45% |
| 2H às 3H | 45% | 45% | 45% |
| 3H às 4H | 45% | 45% | 45% |
| 4H às 5H | 45% | 45% | 45% |
| 5H às 6H | 45% | 45% | 45% |
| 6H às 7H | 60% | 50% | 55% |
| 7H às 8H | 70% | 60% | 60% |
| 8H às 9H | 85% | 70% | 65% |
| 9H às 10H | 90% | 75% | 75% |
| 10H às 11H | 95% | 80% | 90% |
| 11H às 12H | 100% | 85% | 95% |
| 12H às 13H | 100% | 90% | 95% |
| 13H às 14H | 100% | 85% | 95% |
| 14H às 15H | 90% | 80% | 95% |
| 15H às 16H | 90% | 85% | 80% |
| 16H às 17H | 90% | 80% | 55% |
| 17H às 18H | 90% | 90% | 55% |
| 18H às 19H | 90% | 95% | 75% |
| 19H às 20H | 100% | 100% | 80% |
| 20H às 21H | 100% | 100% | 80% |
| 21H às 22H | 100% | 100% | 75% |
| 22H às 23H | 80% | 95% | 60% |
| 23H às 24H | 50% | 70% | 30% |

Após definir os perfis de referência na simulação é necessário saber os valores máximos de cada zona para cada tipo de perfil. No perfil de ocupação através das densidades é possível obter para a área real a ocupação dos espaços. Nas zonas em que não há serviço de atendimento ao público e apoio ao serviço foi estimado de acordo com os proprietários o número de ocupantes dessas zonas. Após obter esses valores de ocupação é necessário traduzir esses valores em carga sensível e latente de forma a introduzir os dados na simulação.

A Tabela V-18 apresenta as cargas sensíveis e latentes para cada zona.

Tabela V-18 - Cargas sensíveis e latentes de cada zona.

| Zona | Área simulação (m ²) | Área real (m ²) | Densidade | | Ocupação para área real | Sensível (W) | Latente (W) |
|------|----------------------------------|-----------------------------|-----------|------------------------|-------------------------|--------------|-------------|
| 1 | 113 | 86 | 3 | Pessoas | 3 | 240 | 120 |
| 2 | 57,6 | 44 | 5 | m ² /pessoa | 9 | 700 | 350 |
| 3 | 124 | 94 | 5 | m ² /pessoa | 19 | 1508 | 754 |
| 4 | 52,2 | 40 | 5 | m ² /pessoa | 8 | 635 | 317 |
| 5 | 69 | 52 | 5 | m ² /pessoa | 10 | 839 | 420 |
| 6 | 12,8 | 10 | 2 | Pessoas | 2 | 160 | 80 |
| 7 | 141 | 107 | 10 | Pessoas | 10 | 800 | 400 |
| 8 | 52,3 | 40 | 5 | m ² /pessoa | 8 | 636 | 318 |

A Tabela V-19 apresenta a potência por m² considerada para a iluminação para cada zona.

Tabela V-19 - Densidade de Potência de Iluminação (DPI) e potência total de cada zona.

| Zona | Área (m ²) | Área real | Potência instalada total real (W) | DPI (W/m ²) |
|------|------------------------|-----------|-----------------------------------|-------------------------|
| 1 | 113 | 86 | 268 | 3,12 |
| 2 | 57,6 | 44 | 638 | 14,57 |
| 3 | 124 | 94 | 781 | 8,29 |
| 4 | 52,2 | 40 | 1156 | 29,14 |
| 5 | 69 | 52 | 685 | 13,06 |
| 6 | 12,8 | 10 | 116 | 11,92 |
| 7 | 141 | 107 | 474 | 4,42 |
| 8 | 52,3 | 40 | 580 | 14,59 |

A Tabela V-20 apresenta a potência considerada para os equipamentos para cada zona.

Tabela V-20 - Potência dos equipamentos em cada zona.

| Zona | Área (m ²) | Área real | Densidade | | Potência (W) |
|------|------------------------|-----------|-----------|------------------|--------------|
| 1 | 113 | 86 | 5 | W/m ² | 429,4 |
| 2 | 57,6 | 44 | | | 218,9 |
| 3 | 124 | 94 | | | 471,2 |
| 4 | 52,2 | 40 | | | 198,4 |
| 5 | 69 | 52 | | | 262,2 |
| 6 | 12,8 | 10 | | | 48,6 |
| 7 | 141 | 107 | | | 535,8 |
| 8 | 52,3 | 40 | | | 198,7 |

V.2 Modelo de referência do edifício

De acordo com o RECS, para o cálculo do IEE do modelo de referência, deverão ser consideradas diversas soluções de referência que são especificadas na Tabela. I.07 do Anexo I da Portaria nº 349-D/2013 que se encontra no Anexo A.

O modelo de referência do edifício tem as mesmas dimensões do modelo real bem como a mesma divisão das zonas. A envolvente, ventilação e iluminação são alteradas de acordo com as soluções de referência indicadas no RECS.

As considerações assumidas no início da criação do modelo de referência serão as mesmas do modelo real do edifício. A parametrização do modelo de referência será idêntica ao modelo real. Terá como alterações a adição de novos materiais de isolamento, diferentes tipos de envidraçados, potências de iluminação diferentes e caudais de ar novo para as zonas climatizadas.

V.2.1 Coeficientes de transmissão térmica e fator solar para o edifício de referência

Uma das soluções de referência especificada no RECS é a alteração dos coeficientes de transmissão térmica da envolvente opaca do edifício e o fator solar dos vãos envidraçados de acordo com a zona climática do edifício. Para saber quais os coeficientes e o fator solar correto a utilizar tem de se saber em primeiro lugar qual é a zona climática do edifício.

Através do Despacho Nº 15793-F/2013 na Tabela 01 – NUTS III é possível determinar a zona climática do edifício. Como o edifício encontra-se no município de Vila Nova de Poiares a Nomenclatura das Unidades Territoriais para Fins Estatísticos - NUTS é “Pinhal Interior Norte”. Para “Pinhal Interior Norte” os valores de referência para ajustes em altitude para a estação de aquecimento e arrefecimento são apresentados na Tabela V-21. Estes valores estão de acordo com as Tabelas 04 e 05 da respetiva legislação.

Tabela V-21 - Valores de referência para ajustes para a estação de aquecimento e arrefecimento.

| NUTS III | Estação de Aquecimento | Estação de arrefecimento |
|-----------------------|------------------------|--------------------------|
| | GD | $\Theta_{ext,v}$ |
| | REF (°C) | REF (°C) |
| Pinhal Interior Norte | 1555 | 21,2 |

Com os valores de referência, através dos critérios para a determinação da zona climática facilmente se define a zona climática do edifício. Na Tabela V-22 e na Tabela V-23 são apresentados os critérios para a determinação da zona climática de inverno e verão respetivamente. Estes critérios encontram-se definidos na Tabela 02 e 03 da respetiva legislação.

Tabela V-22 - Critérios para a determinação da zona climática de inverno.

| Critério | $GD \leq 1300$ | $1300 < GD \leq 1800$ | $GD \geq 1800$ |
|----------|----------------|-----------------------|----------------|
| Zona | I1 | I2 | I3 |

Tabela V-23 - Critérios para a determinação da zona climática de verão.

| Critério | $20^{\circ}\text{C} \leq \Theta_{\text{ext,v}}$ | $20^{\circ}\text{C} < \Theta_{\text{ext,v}} \leq 22^{\circ}\text{C}$ | $\Theta_{\text{ext,v}} \geq 22^{\circ}\text{C}$ |
|----------|---|--|---|
| Zona | V1 | V2 | V3 |

Com os critérios de determinação e os valores de referência definidos facilmente se conclui que a zona climática do edifício é I2/V2. Sabendo a zona climática do edifício, é possível saber quais os coeficientes de transmissão térmica de referência para a zona climática em questão de acordo com a Tabela I.09 e a Tabela I.10 do Anexo I da Portaria nº 349-D/2013. Na Tabela V-24 estão definidos os coeficientes de transmissão térmica e o fator solar a utilizar para a zona climática do edifício.

Tabela V-24 - Coeficientes de transmissão térmica e fator solar a utilizar no edifício de referência.

| | Zona climática |
|--|----------------|
| Zona corrente da envolvente | I2 |
| Elementos opacos verticais exteriores ou interiores | 0,60 |
| Elementos opacos horizontais exteriores ou interiores | 0,45 |
| Vãos envidraçados exteriores (portas e janelas) | 3,30 |
| Fator solar dos vãos envidraçados de referência | V2 |
| Fator solar do vão (sem dispositivos de sombreamento) | 0,2 |

V.2.2 Ventilação

Uma das soluções de referência a considerar na criação do modelo do edifício de referência são os novos valores de caudal de ar novo nos espaços climatizados. Tal como a Tabela I.07 da Portaria nº 349-D/2013 (Anexo A) indica, os valores de caudal de ar novo terão se ser obtidos pelo método prescritivo e o sistema de ventilação terá de ser exclusivamente mecânico com uma eficiência de ventilação de 0,8. Os espaços não climatizados mantêm as taxas de infiltração de ar exterior num valor constante de 0,6 renovações de ar por hora, tal como foi assumido no início da criação modelo.

Assim como é referido no ponto 2.2 da Portaria nº 353-A/2013 o método prescritivo baseia-se na determinação dos caudais de ar novo que garantem a diluição da carga poluente devido aos ocupantes do espaço, em função do tipo de atividade física, e ao próprio edifício, em função do tipo de materiais usados na construção, nos revestimentos das superfícies e mobiliários.

Para efetuar o cálculo do caudal mínimo de ar novo é necessário saber qual a ocupação para as zonas climatizadas. Na Tabela V-25 apresenta-se a ocupação para a área real do edifício nas zonas climatizadas.

Tabela V-25 - Ocupação para a área real das zonas climatizadas.

| Zona | Área (m ²) | Área real (m ²) | Ocupação para a área real | Densidade |
|------|------------------------|-----------------------------|---------------------------|--------------------------|
| 3 | 124 | 94 | 19 | 5 m ² /pessoa |
| 5 | 69 | 52 | 10 | 5 m ² /pessoa |
| 6 | 12,8 | 10 | 2 | Pessoas |

Com a ocupação nas áreas climatizadas definida é possível com o auxílio da Tabela I.04 e da Tabela I.05 da Portaria nº 353-A/2013 (Anexo C) calcular o caudal mínimo de ar novo determinado em função da carga poluente devida à ocupação e devido ao edifício. A Tabela V-26 e a Tabela V-27 apresentam o caudal mínimo de ar novo determinado em função da carga poluente devida à ocupação e devido ao edifício respetivamente.

Tabela V-26 - Caudal mínimo de ar novo determinado em função da carga poluente devida à ocupação.

| Zona | Taxa de metabolismo (met) | Caudal de ar novo [m ³ /(hora.pessoa)] | Caudal de ar novo (m ³ /hora) |
|------|---------------------------|---|--|
| 3 | 1,2 | 24 | 542,8224 |
| 5 | 1,75 | 35 | 642,39 |
| 6 | 1,2 | 24 | 57,6 |

Tabela V-27 - Caudal mínimo de ar novo determinado em função da carga poluente devida ao edifício.

| Zona | Situação edifício | Caudal ar novo [m ³ /(hora.m ²)] | Caudal de ar novo (m ³ /hora) |
|------|-------------------|---|--|
| 3 | Sem Poluentes | 3 | 282,72 |
| 5 | Sem Poluentes | 3 | 157,32 |
| 6 | Sem Poluentes | 3 | 29,184 |

De acordo com o ponto 2 da alínea 2.2 da respetiva legislação apenas é considerado o maior dos valores determinados para os dois tipos de métodos referidos no método prescritivo. Como os valores de caudal mínimo de ar novo determinado em função da carga poluente devida à ocupação são maiores, serão esses que serão utilizados para calcular os novos valores de caudal de ar novo corrigidos através da ventilação mecânica. A Tabela V-28 apresenta os caudais de ar novo corrigidos da eficiência de 0,8 calculados de acordo com o ponto 3 a alínea 1.2 da respetiva legislação.

Tabela V-28 - Caudal de ar novo corrigido da eficiência 0,8.

| Zona | Caudal de ar novo corrigido da eficiência (0.8) (m ³ /h) | l/s | m ³ /s |
|------|---|---------|-------------------|
| 3 | 678,5 | 188,495 | 0,188 |
| 5 | 803,0 | 223,070 | 0,223 |
| 6 | 72,0 | 20,002 | 0,020 |

V.2.3 Propriedades dos novos materiais utilizados na simulação

Tal como na simulação do modelo real após efetuar a parametrização do modelo de referência no *ESP-r* é necessário identificar quais os materiais que serão utilizados na simulação. Posteriormente esses materiais serão aplicados a cada elemento construtivo de cada zona na simulação do edifício de referência.

Na Tabela V-29 são indicados os materiais utilizados no modelo de referência do edifício bem como as suas propriedades.

Tabela V-29 - Materiais utilizados no modelo do edifício.

| Materiais | Emissividade (ϵ) | Condutividade ($\frac{W}{m^2K}$) | Densidade ($\frac{kg}{m^3}$) |
|------------------|---|--|--|
| Tijolo | 0,9 | 0,47 | 782 |
| Reboco branco | 0,91 | 1,15 | 1800 |
| Calcário | 0,915 | 1,76 | 2100 |
| Betão | 0,9 | 1,75 | 2400 |
| Argamassa | 0,93 | 1,3 | 1900 |
| Azulejo | 0,9 | 1,05 | 1690 |
| Gesso branco | 0,91 | 0,5 | 1200 |
| Madeira | 0,9 | 0,19 | 700 |
| Vidro | 0,83 | 1,05 | 2500 |
| Alumínio | 0,805 | 50 | 7800 |
| <i>Wallmate</i> | 0,9 | 0,028 | 20 |
| <i>Roofmate</i> | 0,9 | 0,027 | 32 |
| <i>Floormate</i> | 0,9 | 0,027 | 32 |

V.2.3.1 Elementos construtivos (paredes, tetos, chão e portas exteriores)

No seguimento da identificação dos materiais a usar na simulação do modelo do edifício de referência é necessário aplicar esses mesmos materiais a cada elemento construtivo de cada zona.

Tal como no modelo real do edifício todas as paredes do edifício de referência são duplas, as paredes do exterior do edifício apenas têm reboco branco e só são consideradas para a simulação do modelo de referência as portas e janelas que têm acesso ao exterior.

A Tabela V-30 apresenta uma descrição construtiva da Zona 1 bem como a condutividade térmica global de cada construção.

Tabela V-30 - Descrição construtiva da Zona 1 do edifício de referência.

| Construção | Descrição | Espessura (cm) | U_{global} ($\frac{W}{m^2K}$) |
|----------------------------|---|-----------------------|---|
| Paredes norte, sul e oeste | Parede dupla de tijolo com reboco branco com isolamento <i>wallmate</i> | 32,8 | 0,594 |
| Parede este | Parede de alvenaria ordinária “calcário” com reboco branco com isolamento <i>wallmate</i> | 50 | 0,449 |
| Teto | Teto em betão com reboco branco e isolamento <i>roofmate</i> | 35,2 | 0,45 |
| Chão | Chão em betão com isolamento <i>floormate</i> | 30,4 | 0,446 |
| Porta de acesso | Porta de alumínio de dimensões de 1,3 m largura por 2,2 m de altura | 3,5 | 5,875 |

A Tabela V-31 apresenta uma descrição construtiva da Zona 2 bem como a condutividade térmica global de cada construção.

Tabela V-31 - Descrição construtiva da Zona 2 do edifício de referência.

| Construção | Descrição | Espessura (cm) | U_{global} ($\frac{W}{m^2K}$) |
|----------------------|--|-----------------------|---|
| Paredes norte e este | Parede dupla de tijolo com argamassa, isolamento <i>wallmate</i> e azulejo branco | 32,8 | 0,597 |
| Parede sul | Parede dupla de tijolo com argamassa, isolamento <i>wallmate</i> e azulejo branco | 32,5 | 0,588 |
| Parede oeste | Parede dupla de tijolo com argamassa, isolamento <i>wallmate</i> e azulejo branco | 32,8 | 0,596 |
| Teto | Teto em betão com gesso branco e isolamento <i>roofmate</i> | 35,2 | 0,441 |
| Chão | Chão em betão com argamassa, isolamento <i>floormate</i> e azulejo antiderrapante cinzento | 30,4 | 0,446 |

A Tabela V-32 apresenta uma descrição construtiva da Zona 3 bem como a condutividade térmica global de cada construção.

Tabela V-32 - Descrição construtiva da Zona 3 do edifício de referência.

| Construção | Descrição | Espessura (cm) | $U_{global} \left(\frac{W}{m^2 K} \right)$ |
|---------------------------|---|----------------|---|
| Paredes norte, sul e este | Parede dupla de tijolo com argamassa, isolamento <i>wallmate</i> e madeira | 32,5 | 0,588 |
| Parede oeste | Parede dupla de tijolo com argamassa, isolamento <i>wallmate</i> e madeira | 32,5 | 0,586 |
| Teto | Teto em betão com argamassa, isolamento <i>roofmate</i> e madeira | 35,1 | 0,438 |
| Chão | Chão em betão com argamassa, isolamento <i>floormate</i> e azulejo castanho | 30,4 | 0,446 |
| Porta de acesso | Porta de madeira de dimensões de 2,2 m de altura por 1,2 m de largura | 4 | 2,908 |

A Tabela V-33 apresenta uma descrição construtiva da Zona 4 bem como a condutividade térmica global de cada construção.

Tabela V-33 - Descrição construtiva da Zona 4 do edifício de referência.

| Construção | Descrição | Espessura (cm) | $U_{global} \left(\frac{W}{m^2 K} \right)$ |
|-----------------|---|----------------|---|
| Parede norte | Parede dupla de tijolo com argamassa, isolamento <i>wallmate</i> e azulejo branco | 32,8 | 0,596 |
| Parede sul | Parede de alvenaria ordinária “calcário” com isolamento <i>wallmate</i> e reboco branco | 48,4 | 0,599 |
| Parede este | Parede dupla de tijolo com argamassa, isolamento <i>wallmate</i> e azulejo branco | 32,8 | 0,576 |
| Parede oeste | Parede dupla de tijolo com argamassa, isolamento <i>wallmate</i> e azulejo branco | 32,5 | 0,588 |
| Teto | Teto em betão com isolamento <i>roofmate</i> e gesso branco | 35,2 | 0,441 |
| Chão | Chão em betão com argamassa, isolamento <i>floormate</i> e azulejo castanho | 35,3 | 0,445 |
| Porta de acesso | Porta de madeira de dimensões de 2,2 m de altura por 1,2 m de largura | 4 | 2,908 |

A Tabela V-34 apresenta uma descrição construtiva da Zona 5 bem como a condutividade térmica global de cada construção.

Tabela V-34 - Descrição construtiva da Zona 5 do edifício de referência.

| Construção | Descrição | Espessura (cm) | U_{global} ($\frac{W}{m^2K}$) |
|---------------------------|---|-----------------------|---|
| Paredes norte, sul e este | Paredes de alvenaria ordinária “calcário” com isolamento <i>wallmate</i> e gesso branco | 48,3 | 0,597 |
| Parede oeste | Parede dupla de tijolo com isolamento <i>wallmate</i> e gesso branco | 32,8 | 0,576 |
| Teto | Teto em betão com isolamento <i>roofmate</i> e gesso branco | 35,2 | 0,441 |
| Chão | Chão em betão com argamassa, isolamento <i>floormate</i> e azulejo castanho | 35,3 | 0,445 |

A Tabela V-35 apresenta uma descrição construtiva da Zona 6 bem como a condutividade térmica global de cada construção.

Tabela V-35 - Descrição construtiva da Zona 6 do edifício de referência.

| Construção | Descrição | Espessura (cm) | U_{global} ($\frac{W}{m^2K}$) |
|---------------------------|---|-----------------------|---|
| Paredes norte, sul e este | Parede dupla de tijolo com isolamento <i>wallmate</i> e reboco branco | 32,8 | 0,596 |
| Parede oeste | Parede dupla de tijolo com isolamento <i>wallmate</i> e reboco branco | 32,8 | 0,576 |
| Teto | Teto em betão com isolamento <i>roofmate</i> e gesso branco | 35,2 | 0,441 |
| Chão | Chão em betão com argamassa, isolamento <i>floormate</i> e azulejo castanho | 35,3 | 0,445 |

A Tabela V-36 apresenta uma descrição construtiva da Zona 7 bem como a condutividade térmica global de cada construção.

Tabela V-36 - Descrição construtiva da Zona 7 no edifício de referência.

| Construção | Descrição | Espessura (cm) | $U_{global} \left(\frac{W}{m^2 K}\right)$ |
|------------------|--|----------------|---|
| Parede norte | Parede dupla de tijolo com isolamento <i>wallmate</i> e reboco branco | 32,8 | 0,594 |
| Parede sul | Parede dupla de tijolo com argamassa, isolamento <i>wallmate</i> e azulejo preto | 32,8 | 0,596 |
| Parede este | Parede de alvenaria ordinária “calcário” com isolamento <i>wallmate</i> e gesso branco | 48,5 | 0,591 |
| Parede oeste | Parede dupla de tijolo com argamassa, isolamento <i>wallmate</i> e azulejo preto | 32,8 | 0,597 |
| Teto | Teto em betão com isolamento <i>roofmate</i> e reboco branco | 35,3 | 0,445 |
| Chão | Chão em betão com argamassa, isolamento <i>floormate</i> e azulejo cinzento | 35,3 | 0,445 |
| Portas de acesso | Porta de alumínio de dimensões de 1,2 m largura por 2,2 m de altura | 3,5 | 5,875 |

A Tabela V-37 apresenta uma descrição construtiva da Zona 8 bem como a condutividade térmica global de cada construção.

Tabela V-37 - Descrição construtiva da Zona 8 do edifício de referência.

| Construção | Descrição | Espessura (cm) | $U_{global} \left(\frac{W}{m^2 K}\right)$ |
|----------------------------------|--|----------------|---|
| Paredes norte, sul, este e oeste | Parede dupla de tijolo com argamassa, isolamento <i>wallmate</i> e azulejo branco | 32,8 | 0,597 |
| Teto | Teto em betão com isolamento <i>roofmate</i> e reboco branco | 35,3 | 0,445 |
| Chão | Chão em betão com argamassa, isolamento <i>floormate</i> e azulejo antiderrapante cinzento | 35,3 | 0,445 |

V.2.3.2 Envidraçados (janelas)

Após aplicar os novos materiais a cada elemento construtivo de cada zona no modelo do edifício de referência é necessário definir nos envidraçados o novo tipo de vidro da janela de forma a cumprir com o fator solar e a condutividade térmica exigida nas soluções de referência indicadas no RECS. As janelas do edifício de referência mantêm-se com as mesmas dimensões do edifício real.

Na Tabela V-38 é apresentada para cada zona a descrição dos envidraçados existentes no edifício de referência bem como a condutividade térmica e o respetivo fator solar.

Tabela V-38 - Descrição dos envidraçados existentes no modelo do edifício.

| Zona | Descrição da janela | Tipo de vidro | Fator solar (g) | U _{global} ($\frac{W}{m^2K}$) |
|--------|--|---|-----------------|--|
| Zona 1 | Janela com dimensões de 2,4 m de largura por 0,2 m de altura | Duplo com 6 mm de espessura em cada vidro e uma câmara de ar de 12 mm | 0,20 | 2,864 |
| | Janela com dimensões de 1,4 m de largura por 0,2 m de altura | | | |
| Zona 2 | Janela com dimensões de 1,98 m de largura por 1,03 m de altura | | | |
| Zona 3 | Janela com dimensões de 3,5 m de largura por 1,2 m de altura | | | |
| | Janela com dimensões de 3,5 m de largura por 1,2 m de altura | | | |
| | Janela com dimensões de 2,45 m de largura por 1,2 m de altura | | | |
| | Janela com dimensões de 2,45 m de largura por 1,2 m de altura | | | |
| Zona 5 | Janela com dimensões de 1 m de largura por 1,2 m de altura | | | |
| Zona 7 | Janela com dimensões de 1,4 m de largura por 1,2 m de altura | | | |
| Zona 8 | Janela com dimensões de 2 m de largura por 1,2 m de altura | | | |
| | Janela com dimensões de 2 m de largura por 1,2 m de altura | | | |

V.2.3.3 Padrões de ocupação, iluminação e equipamentos

Em relação aos padrões de ocupação, iluminação e equipamentos estes serão os mesmos que foram utilizados na criação do modelo real do edifício. Os valores máximos de cada zona para a ocupação e para os equipamentos também serão os mesmos que foram utilizados no modelo real do edifício.

Nas soluções de referência apresentadas na Tabela I.07 da Portaria nº 349-D/2013 (Anexo A) é indicado, na componente da iluminação, que se deve considerar que a densidade de potência de iluminação corresponda ao requisito mínimo aplicável, sem sistemas de controlo, por ocupação ou por disponibilidade de luz natural, ao definido na Tabela I.28 (Anexo D) da respetiva legislação.

Com base nos valores máximos de densidade de potência indicados na Tabela I.28 da respetiva legislação, a Tabela V-39 apresenta a potência da iluminação por m² bem como a potência total para cada zona.

Tabela V-39 - Densidade de Potência de Iluminação e potência total de cada zona do modelo do edifício de referência.

| Zona | Área (m²) | Área real | DPI (W/m²) | Potência total (W) |
|-------------|-----------------------------|------------------|------------------------------|---------------------------|
| 1 | 113 | 86 | 3,4 | 291,99 |
| 2 | 57,6 | 44 | 3,4 | 148,84 |
| 3 | 124 | 94 | 8,29 | 781,00 |
| 4 | 52,2 | 40 | 3,8 | 150,75 |
| 5 | 69 | 52 | 13,06 | 685,00 |
| 6 | 12,8 | 10 | 2,40 | 23,35 |
| 7 | 141 | 107 | 3,80 | 407,21 |
| 8 | 52,3 | 40 | 3,40 | 135,14 |

CAPÍTULO VI - ANÁLISE E DISCUSSÃO DE RESULTADOS

Finalizada a criação dos modelos real e de referência no *ESP-r* procede-se à realização da simulação do desempenho térmico dos mesmos. As simulações terão a duração de um ano de atividade.

Com os resultados obtidos das simulações e com o cálculo dos consumos energéticos do edifício (Águas Quentes Sanitárias - AQS, iluminação interior e exterior, equipamentos e bombas/ventiladores) será possível proceder-se ao cálculo do IEE e posteriormente à classificação energética do edifício.

Após obter a classificação energética do edifício precede-se à identificação das diversas medidas de melhoria de classificação energética do mesmo.

VI.1 Simulações do edifício

Considerando uma temperatura interior compreendida entre 20 °C e 25 °C, os horários de climatização, as soluções construtivas e os perfis de utilização de referência referidos no capítulo anterior, realizaram-se então as simulações dos modelos dos edifícios real e de referência.

De seguida são apresentados os resultados principais obtidos na simulação.

Na Tabela VI-1 são apresentados os resultados para a simulação do edifício real.

Tabela VI-1 - Resultados da simulação para o edifício real.

| Zonas | Necessidade de energia para aquecimento | | Necessidades de energia para arrefecimento | |
|--------------|---|---------------------|--|---------------------|
| | Energia (kWh) | Nº de horas por ano | Energia (kWh) | Nº de horas por ano |
| 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 3 | 1743,32 | 1333 | 2995,81 | 1600 |
| 4 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 5 | 1210,65 | 2101 | 4,54 | 38 |
| 6 | 102,56 | 555 | 7,45 | 171 |
| 7 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 8 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Total | 3056,5 | 3989 | 3007,80 | 1809 |

Na Tabela VI-2 são apresentados os resultados para a simulação do edifício de referência.

Tabela VI-2 - Resultados da simulação para o edifício de referência.

| Zonas | Necessidade de energia para aquecimento | | Necessidades de energia para arrefecimento | |
|--------------|---|---------------------|--|---------------------|
| | Energia (kWh) | Nº de horas por ano | Energia (kWh) | Nº de horas por ano |
| 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 3 | 680,43 | 761 | 4601,32 | 1959 |
| 4 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 5 | 2413,2 | 1954 | 813,47 | 746 |
| 6 | 105,89 | 547 | 10,55 | 167 |
| 7 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 8 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Total | 3199,5 | 3262 | 5425,3 | 2872 |

Nesta análise (puramente energética) considerou-se que o rendimento do sistema de climatização para aquecimento é igual a 1 e o rendimento para o sistema de arrefecimento é igual a 2. Posto isso teremos os seguintes resultados. A Tabela VI-3 apresenta os resultados das simulações anteriores corrigidos pelos rendimentos dos sistemas de climatização.

Tabela VI-3 - Resultados das simulações corrigidos pelos rendimentos dos sistemas de climatização.

| | Edifício real (kWh/ano) | Edifício de referência (kWh/ano) |
|---|----------------------------|-------------------------------------|
| Necessidades de energia para aquecimento | 3056,50 | 3199,50 |
| Necessidades de energia para arrefecimento | 1503,90 | 2712,65 |

Como podemos observar na Tabela VI-3, o edifício de referência tem um consumo de energia mais elevado tanto na estação de aquecimento como na estação de arrefecimento. Isto deve-se às alterações das características do edifício conforme as soluções de referência consideradas.

VI.1.1 Águas quentes sanitárias

Em relação às AQS, nas soluções de referência apresentadas na Tabela I.07 do Anexo I da Portaria nº. 349-D/2013 indica que no caso de existir em sistemas com recurso a equipamentos de queima de combustível, o valor de eficiência da unidade de produção será igual ao limite inferior (menos eficiente) da classe correspondente ao requisito mínimo aplicável para a caldeira, definido na Tabela I.19 da respetiva legislação. Como a eficiência do esquentador utilizado no edifício real corresponde à eficiência indicada na Tabela I.19 (77%), o consumo de energia para AQS será o mesmo tanto para o edifício real como para o edifício de referência.

A Tabela VI-4 indica o consumo diário de AQS bem como as características do esquentador utilizado no edifício.

Tabela VI-4 - Consumo diário de AQS e características do esquentador.

| Dados AQS | | Descrição do esquentador | |
|---|-----|--------------------------|------|
| Consumo diário de água quente a 65 °C (l) | 500 | Capacidade (l) | 14 |
| | | Consumo de gás (Kg/h) | 2,75 |
| | | Caudal (l/min) | 8 |
| | | Eficiência | 77% |

A Tabela VI-5 apresenta os consumos e custos calculados para as AQS.

Tabela VI-5 - Consumos e custos das AQS.

| | |
|--|----------|
| Preço do gás propano [€/Kg] | 2,16 |
| Poder calorífico do gás propano (kWh/Kg) | 12,87 |
| Funcionamento diário [h] | 1,042 |
| Consumo diário de gás [Kg] | 2,865 |
| Consumo médio mensal [Kg] | 74,479 |
| Consumo médio anual [Kg] | 893,75 |
| Consumo anual [kWh/ano] | 11502,56 |
| Custo mensal [€/mês] | 160,875 |
| Custo anual [€/ano] | 1930,5 |

VI.1.2 Iluminação interior e exterior

Na iluminação interior dos edifícios real e de referência foram utilizadas as respetivas densidades de potências de iluminação apresentadas no capítulo anterior. Com as densidades de potências de iluminação e os perfis de iluminação de referência referidos no capítulo anterior e os dias correspondentes a um ano para os dias úteis, sábados e domingos foi possível calcular o consumo de energia em iluminação interior por zona durante um ano para cada tipo de edifício (real e de referência). A Tabela VI-6 apresenta o número de dias correspondentes a um ano para os dias úteis, sábados e domingos.

Tabela VI-6 - Número de dias correspondentes a um ano para cada tipo de dia.

| | |
|------------|-----|
| Domingos | 52 |
| Sábados | 52 |
| Dias úteis | 261 |

A Tabela VI-7 indica os consumos de energia anuais em iluminação interior para cada zona do edifício real.

Tabela VI-7 - Consumo de energia em iluminação para o edifício real.

| Zonas | Dias úteis | Sábados | Domingos | Total por ano |
|--------------|------------|---------|----------|---------------|
| | kWh/Ano | kWh/Ano | kWh/Ano | |
| 1 | 11,85 | 2,30 | 1,88 | 16,03 |
| 2 | 55,35 | 10,72 | 8,79 | 74,86 |
| 3 | 31,47 | 6,10 | 5,00 | 42,57 |
| 4 | 110,66 | 21,44 | 17,58 | 149,67 |
| 5 | 49,61 | 9,61 | 7,88 | 67,10 |
| 6 | 45,28 | 8,77 | 7,19 | 61,25 |
| 7 | 16,80 | 3,25 | 2,67 | 22,72 |
| 8 | 55,41 | 10,74 | 8,80 | 74,95 |
| Total | 376,43 | 72,93 | 59,79 | 509,15 |

A Tabela VI-8 indica os consumos de energia anuais em iluminação interior para cada zona do edifício de referência.

Tabela VI-8 - Consumo de energia em iluminação para o edifício de referência.

| Zonas | Dias úteis | Sábados | Domingos | Total por ano |
|--------------|------------|---------|----------|---------------|
| | kWh/Ano | kWh/Ano | kWh/Ano | |
| 1 | 12,91 | 2,50 | 2,05 | 17,46 |
| 2 | 12,91 | 2,50 | 2,05 | 17,46 |
| 3 | 31,47 | 6,10 | 5,00 | 42,57 |
| 4 | 14,43 | 2,80 | 2,29 | 19,52 |
| 5 | 49,61 | 9,61 | 7,88 | 67,10 |
| 6 | 9,11 | 1,77 | 1,45 | 12,33 |
| 7 | 14,43 | 2,80 | 2,29 | 19,52 |
| 8 | 12,91 | 2,50 | 2,05 | 17,46 |
| Total | 157,79 | 30,57 | 25,06 | 213,42 |

Quanto à iluminação exterior, como nas soluções de referência não especifica qualquer requisito, os consumos de energia anuais serão os mesmos tanto para o edifício real como o edifício de referência.

A Tabela VI-9 especifica quais os tipos de lâmpadas utilizados no exterior do edifício, a sua potência, o tempo de utilização diário e anual e o seu consumo anual.

Tabela VI-9 - Consumo de energia anual em iluminação exterior.

| Tipo | Quantidade | Potência [W] | Horas por dia | Horas por ano | kWh/ano |
|--|------------|--------------|---------------|---------------|---------|
| Lâmpadas Fluorescentes Compactas (CFL) | 6 | 8 | 6 | 2190 | 17,52 |
| Iodetos metálicos | 1 | 100 | 4 | 1460 | 146 |
| Total | | | | | 163,52 |

VI.1.3 Equipamentos

Nas soluções de referência não especifica qualquer requisito para os consumos de energia anuais referentes aos equipamentos do edifício. Sendo assim, os consumos de energia dos equipamentos serão os mesmos tanto para o edifício real como para o edifício de referência.

No cálculo do consumo de energia por parte dos equipamentos foram utilizados os valores máximos de potência dos equipamentos apresentados no capítulo anterior. Com os valores máximos de potência dos equipamentos, os perfis de equipamentos de referência apresentados no capítulo anterior e os dias correspondentes a um ano para os dias úteis, sábados e domingos é possível obter o consumo de energia dos equipamentos por zona durante um ano para o edifício.

A Tabela VI-10 indica os consumos de energia anuais dos equipamentos para cada zona do edifício real e de referência.

Tabela VI-10 - Consumo de energia dos equipamentos para o edifício real e de referência.

| Zonas | Dias úteis | Sábados | Domingos | Total por ano |
|--------------|------------|---------|----------|---------------|
| | kWh/Ano | kWh/Ano | kWh/Ano | |
| 1 | 2073,36 | 392,99 | 353,91 | 2820,26 |
| 2 | 1056,86 | 200,32 | 180,40 | 1437,58 |
| 3 | 2275,19 | 431,24 | 388,36 | 3094,79 |
| 4 | 957,78 | 181,54 | 163,49 | 1302,81 |
| 5 | 1266,03 | 239,97 | 216,11 | 1722,10 |
| 6 | 234,86 | 44,52 | 40,09 | 319,46 |
| 7 | 2587,11 | 490,36 | 441,61 | 3519,08 |
| 8 | 959,62 | 181,89 | 163,80 | 1305,30 |
| Total | 11410,81 | 2162,82 | 1947,77 | 15521,39 |

VI.1.4 Bombas/Ventiladores

Em relação às bombas/ventiladores é considerado que o consumo das mesmas para o setor dos restaurantes corresponde a 15% do consumo global do edifício.

Na Tabela VI-11 é apresentado o consumo global sem as bombas/ventiladores para o edifício real e para o edifício de referência.

Tabela VI-11 - Consumo global sem as bombas/ventiladores para o edifício real e de referência.

| Tipos de Consumos | Edifício real (kWh/ano) | Edifício de referência (kWh/ano) |
|---|----------------------------|-------------------------------------|
| Necessidades de energia para aquecimento | 3056,50 | 3199,50 |
| Necessidades de energia para arrefecimento | 1503,90 | 2712,65 |
| AQS | 11502,56 | 11502,56 |
| Iluminação | 509,15 | 213,42 |
| Equipamentos | 15521,39 | 15521,39 |
| Iluminação exterior | 163,52 | 163,52 |
| Consumo global sem bombas/ventiladores | 32257,03 | 33313,05 |

A Tabela VI-12 indica o consumo energético das bombas/ventiladores para os edifícios real e de referência.

Tabela VI-12 - Consumo de energia das bombas/ventiladores para o edifício real e de referência.

| Tipos de Consumos | Edifício real (kWh/ano) | Edifício de referência (kWh/ano) |
|----------------------------|----------------------------|-------------------------------------|
| Bombas/Ventiladores | 4838,55 | 4996,96 |

VI.2 Cálculo do IEE e da classificação energética do edifício

Para obter a classificação energética do edifício é necessário o cálculo do Índice de Eficiência Energética (IEE).

No caso dos edifícios de comércio e serviços, a classe energética é determinada através do rácio de classe energética (R_{IEE}).

O IEE_s , presente na equação do cálculo do rácio da classe energética (R_{IEE}), representa os consumos de energia que são considerados para efeitos de cálculo da classificação energética do edifício, sendo determinado pela equação seguinte e considerando os consumos anuais de energia por fontes de energia i , $E_{S,i}$, para as funções indicadas na Tabela II-2 presente no subcapítulo da legislação deste documento.

$$IEE_s = \frac{1}{A_p} \sum_i (E_{S,i} \cdot F_{pu,i}) \quad [\text{kWh}_{EP}/\text{m}^2 \cdot \text{ano}]$$

Em que:

- $E_{S,i}$ – Consumo de energia por fonte de energia i para os usos do tipo S, [kWh/ano]
- A_p – Área interior útil de pavimento, [m²]
- $F_{pu,i}$ – Fator de conversão de energia útil para energia primária que traduz o rendimento global do sistema de conversão e transporte de energia de origem primária, de acordo com o ponto 1 do despacho n.º 15793-D/2013, [kWh_{EP}/kWh]

O $IEE_{ref,S}$ representa o consumo anual de energia do tipo S para o edifício dotado de soluções de referência nos elementos da envolvente e sistemas técnicos, mantendo inalteradas as restantes características do edifício.

Para efetuar o cálculo do IEE_S e do $IEE_{ref,S}$ é necessário saber os vários consumos do edifício. A Tabela VI-13 apresenta os diversos consumos de energia do edifício real e do edifício de referência.

Tabela VI-13 - Consumo de energia desagregado por utilização final para o edifício real e de referência.

| Tipos de consumos | Edifício real (kWh/ano) | Edifício de referência (kWh/ano) |
|---|----------------------------|-------------------------------------|
| Necessidades de energia para aquecimento | 3056,50 | 3199,50 |
| Necessidades de energia para arrefecimento | 1503,90 | 2712,65 |
| AQS | 11502,56 | 11502,56 |
| Iluminação | 509,15 | 213,42 |
| Equipamentos | 15521,39 | 15521,39 |
| Iluminação exterior | 163,52 | 163,52 |
| Bombas/Ventiladores | 4838,55 | 4996,96 |

A Tabela VI-14 apresenta os resultados dos IEE calculados bem como a classificação energética do edifício.

Tabela VI-14 - IEE_S, IEE_{ref,S}, R_{IEE}, e classificação energética do edifício.

| | |
|---|-----------|
| IEE_S | 159,59 |
| IEE_{ref,S} | 166,01 |
| R_{IEE} | 0,96 |
| Classificação energética do edifício | B- |

VI.3 Medidas de melhoria de classificação energética do edifício

Finalizada a análise apresentada anteriormente, foi possível identificar oportunidades de melhoria do desempenho energético do edifício, nomeadamente nas áreas relativas à envolvente, vãos envidraçados, bombas/ventiladores e energias renováveis. Nas medidas da envolvente e envidraçados foram efetuadas simulações dinâmicas com as características da simulação do modelo real idênticas, alterando apenas alguns materiais propostos em cada medida.

VI.3.1 Variador eletrônico de velocidade

Na situação das bombas/ventiladores a instalação de um variador eletrônico de velocidade (VEV) seria uma mais valia no desempenho energético e no prolongamento da duração da vida útil do motor, em consequência da redução de choques mecânicos e do maior tempo de vida da parte mecânica. Com a instalação de um VEV nas bombas/ventiladores é possível efetuar uma poupança de cerca de 30% de energia mesmas. O VEV utilizado para o dimensionamento desta medida é o *Altivar 12* da *Schneider Electric* (Schneider Electric, 2015)

Na Tabela VI-15 é apresentado o investimento, a poupança de energia elétrica por ano e o tempo de retorno do investimento na instalação do VEV nas bombas/ventiladores.

Tabela VI-15 – Tempo de retorno do investimento na instalação do VEV.

| | |
|--|---------|
| Investimento [€] | 181,00 |
| Poupança [kWh/ano] | 1451,57 |
| Preço médio do kWh [€] | 0,1421 |
| Poupança [€/ano] | 206,27 |
| Tempo de retorno do investimento [Anos] | 0,88 |

De acordo com as poupanças atingidas com a instalação de um VEV obtemos um novo R_{IEE} para o edifício, representado na Tabela VI-16.

Tabela VI-16 - $IEEs$, $IEE_{ref,S}$, R_{IEE} , e classificação energética do edifício com a instalação do VEV.

| | |
|---|-----------|
| $IEEs$ | 151,92 |
| $IEE_{ref,S}$ | 166,01 |
| R_{IEE} | 0,92 |
| Classificação energética do edifício | B- |

VI.3.2 Isolamento da cobertura

Tendo em conta a inexistência de qualquer tipo de isolamento no terraço é proposta a instalação de lajetas térmicas na zona do terraço, este é um material de fácil aplicação e permite um bom isolamento térmico permitindo assim menos perdas de calor no inverno e menos ganhos de calor no verão. A área da cobertura a isolar é de 309 m² e as lajetas térmicas utilizadas nesta medida são da empresa *Imperialum* e têm dimensões de 600X600 mm, isolamento de 50 mm e betonilha de 35mm (Imperialum, 2015).

A Tabela VI-17 apresenta o consumo de energia desagregado por utilização final para o edifício com isolamento da cobertura.

Tabela VI-17 - Consumo de energia desagregado por utilização final para o edifício com isolamento da cobertura.

| Tipos de consumos | Isolamento cobertura (kWh/ano) |
|---|---------------------------------------|
| Necessidades de energia para aquecimento | 1501,3 |
| Necessidades de energia para arrefecimento | 1492,9 |
| AQS | 11502,56 |
| Iluminação | 509,15 |
| Equipamentos | 15521,39 |
| Iluminação exterior | 163,52 |
| Bombas/Ventiladores | 4603,62 |

As poupanças energéticas foram calculadas por diferença, em relação à situação de utilização da cobertura sem isolamento (situação real), das necessidades de energia para aquecimento, das necessidades de energia para arrefecimento e das necessidades de energia anuais.

Na Tabela VI-18 é apresentado o investimento, poupança de energia elétrica por ano e o tempo de retorno do investimento na instalação do isolamento da cobertura.

Tabela VI-18 - Tempo de retorno do investimento na instalação do isolamento na cobertura.

| | |
|--|------------|
| Investimento [€] | 5 392,05 € |
| Poupança [kWh/ano] | 1801,19 |
| Preço médio do kWh [€] | 0,1421 |
| Poupança [€/ano] | 255,95 € |
| Tempo de retorno do Investimento [Anos] | 21,07 |

Apesar de ser uma medida em que o tempo de retorno do investimento é elevado, o isolamento da cobertura não carece de elevada manutenção e terá uma durabilidade elevada.

De acordo com as poupanças atingidas com a aplicação do isolamento da cobertura obtemos um novo R_{IEE} para o edifício, representado na Tabela VI-19.

Tabela VI-19 - IEE_S , $IEE_{ref,S}$, R_{IEE} , e classificação energética do edifício com o isolamento da cobertura.

| | |
|---|-----------|
| IEE_S | 150,07 |
| $IEE_{ref,S}$ | 166,01 |
| R_{IEE} | 0,90 |
| Classificação energética do edifício | B- |

VI.3.3 Isolamento de paredes exteriores

Tendo em conta a inexistência de qualquer tipo de isolamento nas paredes exteriores do edifício é proposta a instalação de Poliestireno Extrudido com sistema ETICS (*External Thermal Insulation Composite Systems*). Este é um material de fácil aplicação que tem um isolamento térmico de forma contínua na face exterior da fachada e permite uma considerável redução das pontes térmicas. O material utilizado é o “*IFOAM ECO*” da empresa *Imperialum*, cada placa tem dimensões de 1250x600 mm e espessura de 40 mm (Imperialum, 2015). O preço presente por m² é de 9,04€. A área de paredes exteriores a isolar é de 201 m².

A Tabela VI-20 apresenta o consumo de energia desagregado por utilização final para o edifício com isolamento das paredes exteriores.

Tabela VI-20 - Consumo de energia desagregado por utilização final para o edifício com isolamento das paredes exteriores.

| Tipos de consumos | Isolamento paredes exteriores (kWh/ano) |
|--|---|
| Necessidades de energia para aquecimento | 2675,5 |
| Necessidades de energia para arrefecimento | 1659,65 |
| AQS | 11502,56 |
| Iluminação | 509,15 |
| Equipamentos | 15521,39 |
| Iluminação exterior | 163,52 |
| Bombas/Ventiladores | 4804,77 |

Como podemos observar na estação de aquecimento a utilização de isolamento nas paredes exteriores é favorável, já na estação de arrefecimento não o é. Isto deve-se às menores perdas de calor por parte do edifício e conseqüentemente um maior consumo de energia para arrefecer o edifício à temperatura desejada (25 °C). No entanto no balanço anual é positivo.

As poupanças energéticas foram calculadas por diferença, em relação à situação de utilização de paredes exteriores sem isolamento (situação real), das necessidades de energia para aquecimento, das necessidades de energia para arrefecimento e das necessidades de energia anuais.

Na Tabela VI-21 é apresentado o investimento, poupança de energia elétrica por ano e o tempo de retorno do investimento na instalação do isolamento nas paredes exteriores.

Tabela VI-21 - Tempo de retorno do investimento na instalação do isolamento nas paredes exteriores.

| | |
|---|---------|
| Investimento [€] | 1818,20 |
| Poupança [kWh/ano] | 259,04 |
| Preço médio do kWh [€] | 0,1421 |
| Poupança [€/ano] | 36,81 |
| Tempo de retorno do investimento [Anos] | 49,40 |

Tal como a medida anterior, apesar de ser uma medida em que o tempo de retorno do investimento é elevado, o isolamento das paredes exteriores não carece de elevada manutenção e terá uma durabilidade muito elevada.

De acordo com as poupanças atingidas com a aplicação do isolamento das paredes exteriores obtemos um novo R_{IEE} para o edifício, representado na Tabela VI-22.

Tabela VI-22 - IEEs, $IEE_{ref,S}$, R_{IEE} , e classificação energética do edifício com o isolamento das paredes exteriores.

| | |
|---|-----------|
| IEEs | 158,22 |
| $IEE_{ref,S}$ | 166,01 |
| R_{IEE} | 0,95 |
| Classificação energética do edifício | B- |

VI.3.4 Vidro duplo

Tendo em conta que o edifício apenas possui envidraçados do tipo simples é proposta a instalação de janelas com vidro duplo. Dentro da mesma proposta teremos duas situações, nova janela com vidro duplo ou apenas a substituição do vidro simples por vidro duplo no mesmo caixilho da janela. Foi pedido orçamento em relação a estas situações a uma empresa local e o preço presente para estas situações era o seguinte: 60€ por m^2 para substituir apenas o vidro e 200€ por m^2 para substituir o vidro e caixilho. A área de envidraçados do edifício é de 24,5 m^2 . Na Tabela VI-23 encontram-se definidas as propriedades físicas dos vidros simples e duplos utilizados na simulação dinâmica.

Tabela VI-23 - Propriedades físicas dos tipos de vidros considerados.

| Propriedades | Simple | Duplo |
|--|---------------------------|-----------------------------------|
| | <i>Vidro simples 5 mm</i> | <i>Vidro duplo (6mm/12mm/6mm)</i> |
| U_{global} ($W/(m^2 \cdot ^\circ C)$) | 5,722 | 2,849 |
| g | 0,86 | 0,75 |

A Tabela VI-24 apresenta o consumo de energia desagregado por utilização final para o edifício com a aplicação de vidro duplo.

Tabela VI-24 - Consumo de energia desagregado por utilização final para o edifício com a aplicação de vidro duplo.

| Tipos de consumos | Vidro duplo (kWh/ano) |
|---|----------------------------------|
| Necessidades de energia para aquecimento | 2756,7 |
| Necessidades de energia para arrefecimento | 1707,1 |
| AQS | 11502,56 |
| Iluminação | 509,15 |
| Equipamentos | 15521,39 |
| Iluminação exterior | 163,52 |
| Bombas/Ventiladores | 4824,06 |

A análise dos resultados da Tabela VI-24 mostra que a utilização de vidro duplo é favorável na estação de aquecimento (devido às menores perdas, mas também menores ganhos solares úteis), mas desfavorável na estação de arrefecimento (menores perdas, mas também maiores ganhos solares úteis) - devido ao vidro duplo, apresentar já um fator solar (g) menor (0,75) que o vidro simples (0,86), no entanto o balanço anual é positivo.

Há, pois, que fazer um balanceamento entre as perdas e os ganhos de energia térmica na estação de aquecimento e de arrefecimento. Esta situação deve ser tida em conta e bem analisada, para climas em que as necessidades de energia para arrefecimento são dominantes.

As poupanças energéticas foram calculadas por diferença, em relação à situação de utilização de vidro simples (situação real), das necessidades de energia para aquecimento, das necessidades de energia para arrefecimento e das necessidades de energia anuais.

Na Tabela VI-25 é apresentado o investimento, a poupança de energia elétrica por ano e o tempo de retorno do investimento na instalação das duas situações de vidro duplo.

Tabela VI-25 - Tempo de retorno do investimento na instalação do vidro duplo para as duas situações.

| Medidas | Vidro duplo (Substituir vidro) | Vidro duplo (Mudar janela) |
|--|---|---------------------------------------|
| Investimento [€] | 1471,03 | 4903,44 |
| Poupança [kWh/ano] | 111,09 | 111,09 |
| Preço médio do kWh [€] | 0,1421 | 0,1421 |
| Poupança [€/ano] | 15,79 | 15,79 |
| Tempo de retorno do investimento [Anos] | 93,19 | 310,62 |

Tal como as medidas anteriores, apesar de ser uma medida em que o tempo de retorno do investimento é demasiado elevado, a aplicação do vidro duplo não requer elevada manutenção e proporciona não só isolamento térmico, mas também isolamento acústico aos utilizadores do edifício.

De acordo com as poupanças atingidas com a aplicação do vidro duplo obtemos um novo R_{IEE} para o edifício, apresentado na Tabela VI-26.

Tabela VI-26 - IEE_S, IEE_{ref,S}, R_{IEE}, e classificação energética do edifício com a aplicação do vidro duplo.

| | |
|---|-----------|
| IEE_S | 159,00 |
| IEE_{ref,S} | 166,01 |
| R_{IEE} | 0,96 |
| Classificação energética do edifício | B- |

VI.3.5 Painel solar térmico

Tendo em conta a quantidade significativa de consumo de água quente no restaurante pode ser viável a instalação de um painel solar para aquecimento de águas. Grande parte da área do edifício tem telhado plano (terraço) e com ótima exposição solar o que facilita em muito a instalação inicial e pode contribuir para um rápido tempo de retorno de investimento. Com esta medida consegue-se a cobertura média da necessidade de água quente em 86%, reduzindo assim a fatura de gás. No Apêndice II encontra-se um estudo para o dimensionamento do painel solar. A Tabela VI-27 apresenta o investimento, a poupança de gás por ano e o tempo de retorno do investimento na instalação do sistema solar térmico.

Tabela VI-27 - Tempo de retorno do investimento na instalação do painel solar térmico.

| | |
|--|---------|
| Investimento [€] | 7589 |
| Poupança gás [kg/ano] | 599,95 |
| Preço gás [€/Kg] | 2,16 |
| Poupança [€/ano] | 1295,89 |
| Tempo de retorno do investimento [Anos] | 5,86 |

O custo do sistema e da instalação tem retorno em 5,86 anos, o que é relativamente rápido se considerarmos o tempo de vida útil deste tipo de sistema de 20 a 25 anos (Energie, 2016).

De acordo com as poupanças atingidas com a instalação do sistema solar térmico obtemos um novo R_{IEE} para o edifício, apresentado na Tabela VI-28.

Tabela VI-28 - IEE_S, IEE_{ref,S}, R_{IEE}, e classificação energética do edifício com a aplicação do sistema solar térmico.

| | |
|---|-----------|
| IEE_S | 159,59 |
| IEE_{ren} | 16,32 |
| IEE_{ref,S} | 166,01 |
| R_{IEE} | 0,86 |
| Classificação energética do edifício | B- |

VI.3.6 Pannel solar fotovoltaico

O sistema solar fotovoltaico foi dimensionado para reduzir o consumo de energia associado aos equipamentos consumidores de energia elétrica. O local escolhido para a instalação foi na cobertura da zona 3 do edifício que possui uma área de 112 m². O sistema foi dimensionado com o recurso a uma ferramenta disponível “on-line” intitulada de *PVWatts* (Alliance for Sustainable Energy, 2016), que, para além de nos permitir o correto dimensionamento do sistema, indica também uma estimativa da energia produzida. O estudo do dimensionamento do sistema fotovoltaico encontra-se no Apêndice IV.

A Tabela VI-29 apresenta o investimento, a poupança de energia elétrica por ano e o tempo de retorno do investimento na instalação do sistema solar térmico.

Tabela VI-29 - Tempo de retorno do investimento na instalação do sistema fotovoltaico.

| | |
|--|----------|
| Investimento [€] | 44455 |
| Poupança [kWh/ano] | 22897,93 |
| Preço médio do kWh [€] | 0,1421 |
| Poupança [€/ano] | 3253,80 |
| Tempo de retorno do Investimento [Anos] | 13,66 |

Como se pode observar o investimento inicial é avultado, mas o retorno do investimento é relativamente rápido se considerarmos o tempo de vida útil deste tipo de sistema de 25 a 30 anos (Sotecnisol Energia, 2015).

De acordo com as poupanças atingidas com a instalação do sistema fotovoltaico obtemos um novo R_{IEE} para o edifício, apresentado na Tabela VI-30.

Tabela VI-30 - IEE_S, IEE_{ref,S}, R_{IEE}, e classificação energética do edifício com a aplicação do sistema fotovoltaico.

| | |
|---|-----------|
| IEE_S | 159,59 |
| IEE_{ren} | 121,02 |
| IEE_{ref,S} | 166,01 |
| R_{IEE} | 0,23 |
| Classificação energética do edifício | A+ |

VI.3.7 Isolamento de paredes exteriores e cobertura mais aplicação de vidro duplo

Esta medida é a aplicação em conjunto de outras três medidas previamente estudadas, o isolamento de paredes exteriores, isolamento da cobertura e a substituição apenas do vidro simples para vidro duplo. Tal como para as outras medidas indicadas, também se realizou uma simulação dinâmica com estas medidas com os parâmetros específicos de cada uma.

Na Tabela VI-31 é apresentado o consumo de energia desagregado por utilização final para o edifício com a aplicação do conjunto de medidas definido.

Tabela VI-31 - Consumo de energia desagregado por utilização final para o edifício com a aplicação do conjunto de medidas definido.

| | |
|---|----------|
| Necessidades de energia para aquecimento | 1099,7 |
| Necessidades de energia para arrefecimento | 2506,8 |
| AQS | 11502,56 |
| Iluminação | 509,15 |
| Equipamentos | 15521,39 |
| Iluminação exterior | 163,52 |
| Bombas/Ventiladores | 4695,47 |

Esta medida apresenta os melhores resultados no consumo de energia na estação de arrefecimento, mas na estação de aquecimento, como previsto, os resultados do consumo de energia são superiores aos do modelo real, isto devido aos diversos fatores já especificados nas medidas anteriores respetivas ao conjunto definido.

A Tabela VI-32 apresenta o investimento, a poupança de energia elétrica por ano e o tempo de retorno do investimento na instalação do conjunto de medidas definido.

Tabela VI-32 - Tempo de retorno do investimento na instalação do conjunto de medidas definido.

| | |
|--|---------|
| Investimento [€] | 8681,28 |
| Poupança [kWh/ano] | 2171,32 |
| Preço médio do kWh [€] | 0,1421 |
| Poupança [€/ano] | 308,54 |
| Tempo de retorno do Investimento [Anos] | 28,13 |

Apesar do conjunto de medidas ter um tempo de retorno do investimento elevado, este conjunto de medidas não requer elevada manutenção e terá um tempo útil de vida bastante elevado.

De acordo com as poupanças atingidas com o conjunto de medidas aplicadas obtemos um novo R_{IEE} para o edifício, apresentado na Tabela VI-33.

Tabela VI-33 - IEE_S , $IEE_{ref,S}$, R_{IEE} , e classificação energética do edifício com a aplicação do conjunto de medidas definido.

| | |
|---|--------|
| IEE_S | 153,79 |
| $IEE_{ref,S}$ | 166,01 |
| R_{IEE} | 0,93 |
| Classificação energética do edifício | B- |

VI.3.8 Conjunto de várias medidas

Neste ponto será analisada a aplicação de várias combinações das medidas anteriormente definidas.

Na Tabela VI-34 são apresentados os diversos consumos de energia desagregados para as diversas medidas definidas.

Tabela VI-34 - Consumos de energia globais desagregados para as diversas medidas definidas.

| (kWh/ano) | Edifício real | Isolamento cobertura | Vidro duplo | Isolamento paredes exteriores | Isolamento cobertura paredes exteriores vidro duplo |
|--|---------------|----------------------|-------------|-------------------------------|---|
| Poupança com VEV | -1451,57 | -1381,08 | -1447,22 | -1441,43 | -1408,64 |
| Bombas Ventilador com VEV | 3386,99 | 3222,53 | 3376,84 | 3363,34 | 3286,83 |
| Consumo global | 37095,58 | 35294,39 | 36984,49 | 36836,54 | 35998,60 |
| Consumo global com VEV | 35644,01 | 33913,31 | 35537,27 | 35395,11 | 34589,95 |
| Consumo global com P.S.T. | 29374,22 | 27573,03 | 29263,13 | 29115,18 | 28277,24 |
| Consumo global com P.S.F. | 14197,65 | 12396,47 | 14086,56 | 13938,62 | 13100,67 |
| Consumo global com P.S.T. e P.S.F. | 6476,29 | 4675,11 | 6365,20 | 6217,26 | 5379,31 |
| Consumo global com P.S.T., P.S.F. e VEV | 5024,73 | 3294,02 | 4917,99 | 4775,83 | 3970,67 |

Numa primeira instância podemos observar que a medida do isolamento de cobertura é a medida que, no global, conduz ao menor consumo de energia. Isto deve-se à diminuição das necessidades de energia para aquecimento e arrefecimento que esta medida proporciona. Apesar das outras medidas que alteram a envolvente e os envidraçados do edifício diminuírem as necessidades de energia para aquecimento do edifício, o mesmo não acontece com as necessidades de energia para arrefecimento, isto devido a existirem menos perdas térmicas e a ser necessário um maior consumo de energia para arrefecer o edifício.

De acordo com as poupanças atingidas com o conjunto de medidas definidas anteriormente é possível obter um novo R_{IEE} para cada medida sem e com a aplicação do VEV apresentado na Tabela VI-35 e na Tabela VI-36 respetivamente.

Tabela VI-35 - IEE_S , $IEE_{ref,S}$, IEE_{ren} , R_{IEE} , e classificação energética do edifício para as diversas situações das medidas definidas sem a aplicação do VEV.

| Sem VEV | | | | | |
|--|---------------|----------------------|-------------|-------------------------------|---|
| | Edifício real | Isolamento cobertura | Vidro duplo | Isolamento paredes exteriores | Isolamento cobertura paredes exteriores vidro duplo |
| IEE_S | 159,59 | 150,07 | 159,00 | 158,22 | 153,79 |
| $IEE_{ref,S}$ | 166,01 | 166,01 | 166,01 | 166,01 | 166,01 |
| R_{IEE} | 0,96 | 0,90 | 0,96 | 0,95 | 0,93 |
| Classificação | B- | B- | B- | B- | B- |
| Com painel solar térmico | | | | | |
| IEE_{ren} | 16,32 | 16,32 | 16,32 | 16,32 | 16,32 |
| R_{IEE} | 0,86 | 0,81 | 0,86 | 0,85 | 0,83 |
| Classificação | B- | B- | B- | B- | B- |
| Com painel solar fotovoltaico | | | | | |
| IEE_{ren} | 121,02 | 121,02 | 121,02 | 121,02 | 121,02 |
| R_{IEE} | 0,23 | 0,17 | 0,23 | 0,22 | 0,20 |
| Classificação | A+ | A+ | A+ | A+ | A+ |
| Com painel solar térmico e painel solar fotovoltaico | | | | | |
| IEE_{ren} | 137,35 | 137,35 | 137,35 | 137,35 | 137,35 |
| R_{IEE} | 0,13 | 0,08 | 0,13 | 0,13 | 0,10 |
| Classificação | A+ | A+ | A+ | A+ | A+ |

Tabela VI-36 - IEE_S, IEE_{ref,S}, IEE_{ren}, R_{IEE}, e classificação energética do edifício para as diversas situações das medidas definidas com a aplicação do VEV.

| Com VEV | | | | | |
|---|----------------------|-----------------------------|--------------------|--------------------------------------|--|
| | Edifício real | Isolamento cobertura | Vidro duplo | Isolamento paredes exteriores | Isolamento cobertura paredes exteriores vidro duplo |
| IEE_S | 151,92 | 142,77 | 151,35 | 150,60 | 146,34 |
| IEE_{ref,S} | 166,01 | 166,01 | 166,01 | 166,01 | 166,01 |
| R_{IEE} | 0,92 | 0,86 | 0,91 | 0,91 | 0,88 |
| Classificação | B- | B- | B- | B- | B- |
| Com painel solar térmico | | | | | |
| IEE_{ren} | 16,32 | 16,32 | 16,32 | 16,32 | 16,32 |
| R_{IEE} | 0,82 | 0,76 | 0,81 | 0,81 | 0,78 |
| Classificação | B- | B- | B- | B- | B- |
| Com painel solar fotovoltaico | | | | | |
| IEE_{ren} | 121,02 | 121,02 | 121,02 | 121,02 | 121,02 |
| R_{IEE} | 0,19 | 0,13 | 0,18 | 0,18 | 0,15 |
| Classificação | A+ | A+ | A+ | A+ | A+ |
| Com painel solar térmico e painel solar fotovoltaico | | | | | |
| IEE_{ren} | 137,35 | 137,35 | 137,35 | 137,35 | 137,35 |
| R_{IEE} | 0,09 | 0,03 | 0,08 | 0,08 | 0,05 |
| Classificação | A+ | A+ | A+ | A+ | A+ |

Como se pode observar apenas é possível melhorar a classificação energética do edifício através da instalação do sistema solar fotovoltaico. Isto deve-se à capacidade de este sistema suplantar suprimir a maior parte das necessidades de energia elétrica presentes no consumo de energia deste edifício (equipamentos, iluminação, bombas/ventiladores).

CAPÍTULO VII - CONCLUSÃO

O certificado energético de um edifício é uma importante ferramenta de análise do comportamento térmico e dos consumos energéticos do edifício ao longo de um ano, permitindo identificar durante a sua elaboração problemas existentes que normalmente são responsáveis por elevados consumos energéticos.

O objetivo principal desta dissertação foi concluído, tendo-se efetuada uma análise energética detalhada, recorrendo ao simulador *ESP-r* para criar as simulações dinâmicas multizona de acordo com as soluções de referência solicitadas pela atual legislação e obtendo assim o índice de eficiência energética e a respetiva classificação energética do edifício.

A criação do modelo foi efetuada tendo como base toda a informação (características arquitetónicas, equipamentos, iluminação, sistemas de climatização, etc.) do edifício, recolhidas através de alguns documentos disponibilizados, informações obtidas em conjunto com os proprietários e utilizadores e através de levantamento de várias características e propriedades dos diversos equipamentos e iluminação efetuados no local.

Verificou-se que o edifício tem um elevado consumo energético, sendo a energia elétrica responsável por 60% desse consumo, que se justifica pela elevada potência instalada em termos de sistemas de iluminação e equipamentos. O consumo de gás propano é responsável por 11% do consumo global, uma vez que a sua utilização é utilizada para o aquecimento de águas sanitárias e no fogão para a confeção de refeições.

Relativamente à classificação energética do edifício, verificou-se que esta é razoável, possuindo neste momento uma classificação de B-, mas, porém, foram identificados diversos pontos de redução dos consumos energéticos.

Posto isto, foram apresentadas algumas medidas de eficiência energética recorrendo-se ao modelo computacional previamente criado, de modo a permitir prever qual o efeito dessas medidas em termos de consumos energéticos. O principal foco das medidas apresentadas foram a alteração da envolvente, a alteração dos envidraçados e a instalação de sistemas com fonte de energia de origem renovável, tendo-se efetuado uma análise técnica e económica da aplicação de cada uma das medidas.

A aplicação de cada uma das medidas obteve uma redução significativa dos consumos energéticos anuais, porém, tal não inferiu resultados em termos de classificação exceto na instalação do sistema solar fotovoltaico que cobre a maior parte dos consumos elétricos do edifício e com o qual é possível obter uma classificação do edifício de A+.

VII.1 Trabalho futuro

É importante referir que este trabalho pretende formar um passo complementar para estudos futuros que apontem para a racionalização do uso dos recursos energéticos nos edifícios. A metodologia utilizada poderá ser aplicada em estudos semelhantes, permitindo aos gestores e técnicos de energia, assim como aos utilizadores, adotarem soluções e procedimentos que

melhorem o desempenho dos edifícios, conseguindo assim, aumentar a eficiência dos mesmos, tornando-os ecologicamente mais limpos.

Um dos pontos que se poderá trabalhar no futuro é a possibilidade de identificação de novas medidas e soluções de construção capazes de tornar este edifício num edifício de energia quase nula (*Net-Zero Building*), em que a quantidade de energia total utilizada pelo edifício é aproximadamente igual à quantidade de energia produzida pelos sistemas de energia renovável.

Quanto ao nível de profundidade do processo da análise de melhorias é sempre possível fazer uma análise, para os sistemas de energia renovável, com mais detalhe, uma vez que foi uma análise muito “superficial”, sem obter uma procura muito extensa no que toca a preços, qualidade e configuração destes sistemas. Por fim, para obter melhores e mais eficientes consumos por parte dos sistemas de climatização seria a substituição das máquinas de climatização por outras mais eficientes e/ou promover uma solução que proteja estas máquinas da radiação solar direta.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adene. (4 de Abril de 2006). *Decreto-Lei n.º 78/2006*. Obtido em 10 de Setembro de 2016, de <http://www.adene.pt/sites/default/files/24112415.pdf>
- Agência para a Energia. (2015). *Sistema de Certificação Energética dos Edifícios (SCE) - Perguntas e Respostas*. Obtido em 20 de Setembro de 2016, de http://www.adene.pt/sites/default/files/documentos/pr-sce_v0_mai2015.pdf
- Alliance for Sustainable Energy. (2016). *PVWatts Calculator*. Obtido em 18 de Agosto de 2016, de PVWatts Calculator: <http://pvwatts.nrel.gov/>
- Cristo, N. F., & Simões, C. F. (Setembro de 2013). Auditoria Energética da Empresa Restaurante A Estrela da Mó. Instituto Superior de Engenharia de Coimbra.
- DGEG - Direção Geral de Energia e Geologia. (2016). *Caracterização Energética Nacional - 2012*. (DGEG - Direção Geral de Energia e Geologia) Obtido em 4 de Setembro de 2016, de <http://www.dgeg.pt/>
- Diário da República. (2006). Decreto-Lei n.º 79/2006. Ministério das Obras Públicas, Transportes e Comunicações.
- Diário da República. (2013). Despacho (extrato) n.º 15793-D/2013. Ministério da Economia e do Emprego.
- Diário da República. (2013). Despacho (extrato) n.º 15793-E/2013. Ministério da Economia e do Emprego.
- Diário da República. (2013). Despacho (extrato) n.º 15793-F/2013. Ministério da Economia e do Emprego.
- Diário da República. (2013). Despacho (extrato) n.º 15793-H/2013. Ministério da Economia e do Emprego.
- Diário da República. (2013). Despacho (extrato) n.º 15793-J/2013. Ministério da Economia e do Emprego.
- Diário da República. (2013). Despacho (extrato) n.º 15793-K/2013. Ministério da Economia e do Emprego.
- Diário da República. (2013). Portaria n.º 349-D/2013. Ministério do Ambiente, Ordenamento do Território e Energia e da Solidariedade, Emprego e Segurança Social.
- Diário da República. (2013). Portaria n.º 353-A/2013. Ministério do Ambiente, Ordenamento do Território e Energia e da Solidariedade, Emprego e Segurança Social.
- Diário da República Eletrónico. (20 de Agosto de 2013). *Decreto-Lei n.º 118/2013*. Obtido em 12 de Outubro de 2016, de <https://dre.pt/application/dir/pdf1s/2013/08/15900/0498805005.pdf>
- Direcção Geral de Energia. (1994). *Caracterização Energética do Sector de Serviços - Relatório de Síntese Outubro de 1994*. Lisboa.

- Energie. (2016). *Energia Solar Termodinâmica - Princípio de funcionamento*. Obtido em 22 de Setembro de 2016, de <https://www.energie.pt/pt/energia-solar-termodinamica>
- EUR-Lex. (16 de Dezembro de 2002). *Directiva 2002/91/CE*. (EUR-Lex) Obtido em 4 de Setembro de 2016, de <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/?uri=CELEX:32002L0091>
- EUR-Lex. (19 de Maio de 2010). *Directiva 2010/31/UE*. Obtido em 10 de Setembro de 2016, de <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/?uri=celex:32010L0031>
- EUR-Lex. (6 de Agosto de 2015). *O desempenho energético dos edifícios*. (EUR-Lex) Obtido em 5 de Setembro de 2016, de <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/?uri=uriserv%3Aen0021>
- Geographic, N. (2016). *Global Electricity Outlook*. Obtido em 3 de Outubro de 2016, de <http://environment.nationalgeographic.com/environment/energy/great-energy-challenge/world-electricity-mix/>
- Gonçalves, H. (25 de Junho de 2012). *Net Zero Energy Buildings (NZE)*. Obtido em 2 de Outubro de 2016, de [http://www.lneg.pt/download/5653/Net%20Zero%20Energy%20Buildings%20\(NZE\)_Helder%20Gon%27alves.pdf](http://www.lneg.pt/download/5653/Net%20Zero%20Energy%20Buildings%20(NZE)_Helder%20Gon%27alves.pdf)
- Imperialum. (2015). *Lajetas Térmicas*. Obtido em 23 de Setembro de 2016, de <http://www.imperialum.com/cms/wp-content/uploads/2015/10/Lajetas-T%C3%A9rmicas-LIT.pdf>
- Imperialum. (2015). *Poliestireno Extrudido*. Obtido em 23 de Setembro de 2016, de <http://www.imperialum.com/cms/wp-content/uploads/2015/10/Poliestireno-Extrudido-XPS.pdf>
- Instituto Nacional de Estatística. (2013). *Estatísticas do Ambiente 2012*. Estatísticas Oficiais. Obtido em 22 de Junho de 2016, de https://www.ine.pt/ngt_server/attachfileu.jsp?look_parentBoui=210211805&att_display=n&att_download=y
- Mesquita, M. (Novembro de 2016). *Reabilitação de um Edifício de Serviços e sua Convergência para NZEB*. ISEL. Obtido em 13 de Setembro de 2016, de <https://repositorio.ipl.pt/bitstream/10400.21/6720/1/Dissertação.pdf>
- Pina dos Santos, C., & Rodrigues, R. (2010). Coeficientes de Transmissão Térmica de Elementos Opacos da Envolvente dos Edifícios. *Soluções construtivas de edifícios antigos; Edifícios - ITE 54*. Laboratório Nacional de Engenharia Civil.
- PORDATA. (2012). *Consumo de energia eléctrica: total e por setor de actividade - Portugal*. (PORDATA) Obtido em 20 de Agosto de 2016, de <http://www.pordata.pt/Portugal/Consumo+de+energia+el%C3%A9ctrica+total+e+por+sector+de+actividade+econ%C3%B3mica-1125>

Schneider Electric. (Março de 2015). *Automação & Controlo - Tabela de Preços*. Obtido em 14 de Setembro de 2016, de http://www.schneiderelectric.pt/documents/product-services/documentacao/tabela_industry_2015.pdf

Sotecnisol Energia. (2015). *FAQ's*. Obtido em 22 de Setembro de 2016, de <http://www.sotecnisol.pt/minigeracao/faqs.html>

University of Strathclyde. (2000). (University of Strathclyde) Obtido em 22 de Julho de 2016, de <http://www.esru.strath.ac.uk/Programs/ESP-r.htm>

ANEXOS

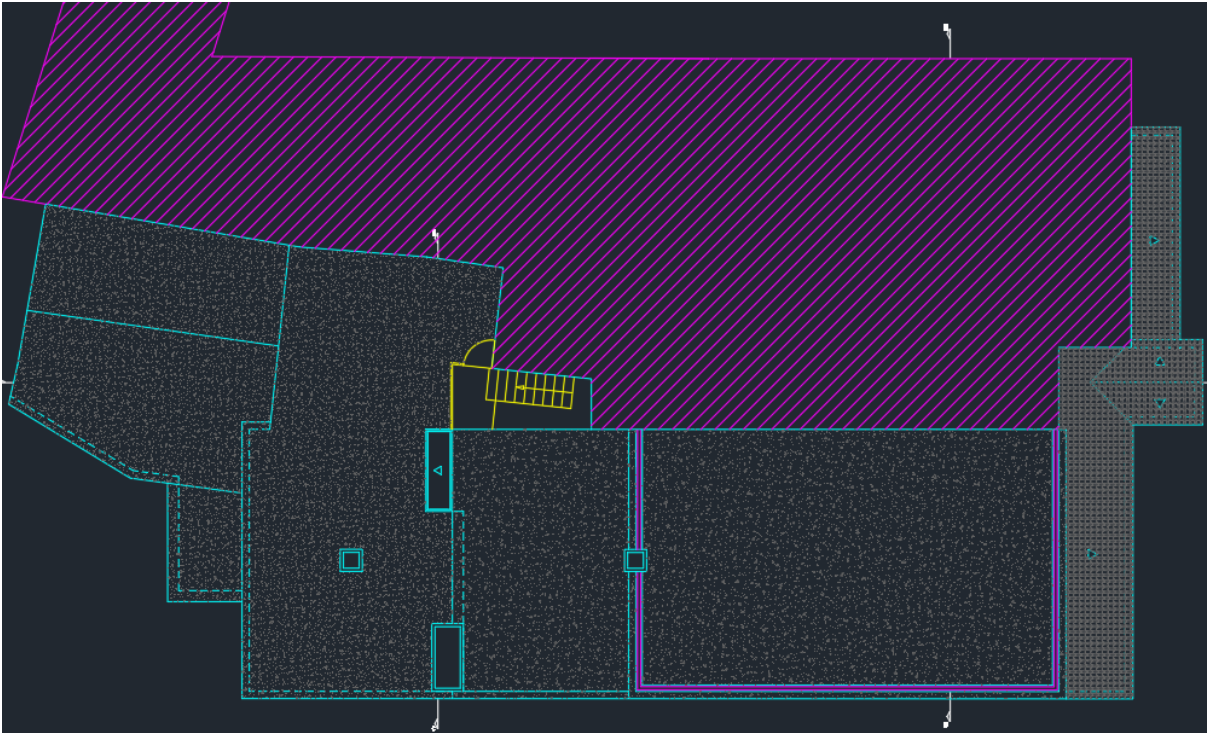
Anexo A – Soluções de referência a considerar

Tabela. I.07 - Soluções de referência a considerar na determinação do IEE_{ref} para os métodos de previsão, sendo que todas as demais características e soluções do edifício não especificadas na tabela devem ser iguais às utilizadas na determinação do IEE_{pr} .

| Tipo de elemento / solução | Soluções de referência a considerar |
|---|--|
| Envolvente | <p>Considerar:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Coeficientes de transmissão térmica superficiais de referência de elementos opacos constantes da Tabela I.09, obtidos mediante alteração da espessura do isolamento previsto na solução construtiva, sendo que, no caso de não estar previsto isolamento, a solução de referência deverá considerar a aplicação desse isolamento ou uma outra solução construtiva, desde que em ambos os casos se mantenha a inércia do edifício; - Coeficientes de transmissão térmica superficiais de referência para envidraçados constantes da Tabela I.09; - Área de vão envidraçado igual a 30% da área de fachada e 0% nas coberturas; - Fator solar dos vãos envidraçados de referência constantes da Tabela I.10; - Coeficiente de absorção da radiação solar da envolvente opaca, $\alpha = 0,4$ |
| Aquecimento e/ou arrefecimento ambiente | <p>Nas situações em que exista ou esteja prevista a instalação de sistema(s) para aquecimento e para arrefecimento ambiente:</p> <ol style="list-style-type: none"> a) No caso de produção de aquecimento com recurso a bomba de calor, considerar bomba de calor do tipo chiller de compressão com permuta exterior a ar, com o valor da eficiência igual ao limite inferior (menos eficiente) da classe correspondente ao requisito mínimo aplicável e definido na Tabela I.17 para o efeito (outros sistemas); b) No caso de produção de aquecimento com recurso a caldeira, considerar o valor de eficiência da(s) unidade(s) de produção igual ao limite inferior (menos eficiente) da classe correspondente ao requisito mínimo aplicável e definido na Tabela I.19 para o efeito; c) No caso de produção de arrefecimento, considerar chiller de compressão com permuta exterior a ar, com o valor da eficiência igual ao limite inferior (menos eficiente) da classe correspondente ao requisito mínimo aplicável e definido na Tabela I.17 para o efeito (outros sistemas). <ul style="list-style-type: none"> - Caso não exista ou não esteja previsto instalar uma ou ambas as funções (aquecimento e arrefecimento), considerar que o edifício dispõe de sistema para essa(s) função(ões), aplicando-se o disposto nas alíneas a) e/ou c) anteriores para a função não existente ou não prevista; - No caso de um edifício híbrido ou passivo, que disponha de sistema(s) de climatização, a temperatura interior deve considerar-se compreendida no intervalo de 20°C a 25°C, inclusive. - Ausência de sistemas de arrefecimento gratuito, de recuperação de calor, de caudal variável ou outras soluções de eficiência energética na climatização. |
| Ventilação | <ul style="list-style-type: none"> - Considerar os valores de caudal de ar novo por espaço determinados pelo método prescritivo e utilização de um sistema de ventilação exclusivamente mecânico, com uma eficácia de ventilação de 0,8; - Caso esteja instalados ou prevista a instalação de ventiladores de extração e de insuflação associados à ventilação das áreas climatizadas ou a unidades de tratamento de ar (UTA e UTAN), considerar valores de eficiência (potência específica, SFP) iguais ao limite inferior (mais eficiente) da classe correspondente ao requisito mínimo aplicável e definido na Tabela I.21 para o efeito; - No caso de espaços com a existência predominante (mais de 75%) de materiais de baixa emissão poluente, o caudal de referência deve ser o correspondente à situação do edifício sem atividades que envolvam a emissão de poluentes específicos; - Ausência de sistemas de arrefecimento gratuito, de recuperação de calor, de caudal de ar variável ou outras soluções de eficiência energética na climatização. |
| Água quente sanitária e de piscinas | <p>Considerar:</p> <ul style="list-style-type: none"> - No caso de sistemas com recurso a equipamentos de queima de combustível, o valor de eficiência da(s) unidade(s) de produção igual ao limite inferior (menos eficiente) da classe correspondente ao requisito mínimo aplicável para caldeira(s) e definido na Tabela I.19 para o efeito (outros sistemas); - No caso de sistemas com recurso a bomba(s) de calor, um valor de COP igual a 2,8 de acordo com a EN16147; |

| | |
|---------------------|--|
| | <ul style="list-style-type: none">- No caso de sistemas com recurso a termoacumulador elétrico, um valor de eficiência igual a 0,95;- Ausência de sistemas de recuperação de calor, de caudal variável ou outras soluções de eficiência energética na AQS. |
| Iluminação | Considerar: <ul style="list-style-type: none">- Densidade de potência de iluminação correspondente ao requisito mínimo aplicável, sem sistemas de controlo por ocupação ou por disponibilidade de luz natural e definido na Tabela I.28 para o efeito;- Caso estejam previstos (em edifícios novos) níveis de iluminância inferiores aos estabelecidos na Norma EN 12464-1, esses valores deverão ser considerados para o cálculo dos valores de densidade de potência de iluminação de referência.- Ausência de sistemas de controlo da iluminação em função da ocupação, da luz natural ou outras soluções de eficiência energética na iluminação. |
| Energias Renováveis | Considerar: <ul style="list-style-type: none">- Inexistência de qualquer sistema de energias renováveis instalado. |

Planta da cobertura do edifício.



Anexo C – Tabelas de caudal mínimo de ar novo

Tabela I.04 - Caudal mínimo de ar novo determinado em função da carga poluente devida à ocupação, [m³/(hora.pessoa)]

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

Tabela I.05 - Caudal mínimo de ar novo determinado em função da carga poluente devida ao edifício [m³/(hora.m²)]

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

Anexo D – Valores máximos de densidade de potência de iluminação

Tabela I.28 - Valores máximos de densidade de potência de iluminação (DPI)

| Tipo de espaço segundo a função | DPI | | Fator de controlo | |
|--|------------------------------|-------------|-------------------|-----------------------------------|
| | [(w/m ²)/100lux] | | Ocupação FO | Disponibilidade de luz natural FD |
| | Entrada em vigor | 31 dez 2015 | | |
| Escritórios com mais de 6 pessoas, salas de desenho. | 2,5 | 2,1 | 0,9 | 0,9 |
| Escritório individual 1-6 pessoas | 2,8 | 2,4 | 0,9 | 0,9 |
| Show room e salas de exposição, museus | 2,8 | 2,4 | 1,0 | 1,0 |
| Salas de aula, salas de leitura, bibliotecas, salas de trabalho de apoio, salas de reuniões/conferências/auditórios | 2,8 | 2,4 | 0,9 | 0,8 |
| Laboratórios, salas de exames/tratamento (1), blocos operatórios (1) | 2,8 | 2,4 | 1,0 | 1,0 |
| Salas de pré e pós-operatório, | 4,0 | 3,4 | 0,8 | 0,8 |
| Cozinhas, armazéns, arquivos, polidesportivos/ginásios e similares (2), salas técnicas (centros de dados, fotocópias e similares), parques de estacionamento interiores | 4,0 | 3,4 | 0,9 | 1,0 |
| Plataformas de transportes e similares | 4,0 | 3,4 | 1,0 | 1,0 |
| Lojas de comércio e serviços, retalhistas em geral - zona de público, espaços fabris em geral | 4,0 | 3,4 | 1,0 | 1,0 |
| Hall/Entradas, Corredores, escadas, salas de espera, instalações sanitárias, enfermarias e quartos individuais de clínicas e hospitais (3), salas de refeições (exceto restaurantes) | 4,5 | 3,8 | 0,8 | 0,9 |

Notas:

- (1) O valor do DPI/100lux pode ser ajustado de acordo com necessidades especiais.
- (2) Excluem-se recintos desportivos em regime de alta competição
- (3) Inclui a instalação de iluminação interior do quarto/enfermaria e WC, formada por iluminação geral, iluminação de leitura e iluminação para exames
- (4) Exclui-se a iluminação dedicada dos expositores das entidades/empresas aí presentes

APÊNDICES

Apêndice I – Lista do levantamento de equipamentos do restaurante

| Equipamento | Quantidade | Potência unitária | Unidade | Fonte de energia | Especialização | Localização | Tempos de utilização (h/dia) |
|-------------------------|------------|-------------------|---------|------------------|--------------------------|-------------|------------------------------|
| Ar condicionado | 1 | 3,45 | kW | Elétrica | Climatização | Bar | 1 |
| Máquina de café | 1 | 3 | kW | Elétrica | Cafeteria | Bar | 24 |
| Moinho de Café | 1 | 0,175 | kW | Elétrica | Cafeteria | Bar | 0,2 |
| Arrefecedor de garrafas | 1 | 0,82 | kW/dia | Elétrica | Refrigeração | Bar | 24 |
| Máquina de cerveja | 1 | 0,7 | W/Max | Elétrica | Cafeteria | Bar | 24 |
| Computador | 1 | 0,2 | kW | Elétrica | Informática | Bar | 12 |
| Televisão | 1 | 0,15 | kW | Elétrica | Audiovisual | Bar | 12 |
| Frigorífico | 1 | 6,7 | kWh/dia | Elétrica | Refrigeração | Copa | 24 |
| Arca “Olá” | 1 | 13 | kWh/dia | Elétrica | Refrigeração | Copa | 24 |
| Máquina de lavar copos | 1 | 3,45 | kW | Elétrica | Lavagem | Copa | 7 |
| Máquina de gelo | 1 | 0,41 | kW | Elétrica | Produção de Gelo | Copa | 24 |
| Frigorífico (vitrine) | 1 | 2,5 | kWh/dia | Elétrica | Refrigeração | Copa | |
| Micro-ondas | 1 | 0,8 | kW | Elétrica | Aquecimento de alimentos | Copa | 1 |
| Ar condicionado | 1 | 3,45 | kW | Elétrica | Climatização | Escritório | 1 |
| Computador | 2 | 0,2 | kW | Elétrica | Informática | Escritório | 14 |
| Máquina lavar loiça | 1 | 7,2 | kW | Elétrica | Lavagem | Copa | 10 |
| Arcas | 3 | 1,388 | kWh/dia | Elétrica | Refrigeração | Dispensa | 24 |
| Arca | 1 | 7,5 | kWh/dia | Elétrica | Refrigeração | Dispensa | 24 |

| | | | | | | | |
|--------------------------------|---|-------|---------|----------|--------------------------------|---------------|-----|
| Forno | 1 | 9,5 | kWh | Elétrica | Confeção de Alimentos | Cozinha | 6 |
| Fritadeira | 1 | 24 | kWh | Elétrica | Confeção de Alimentos | Cozinha | 5 |
| Micro-ondas | 1 | 1,4 | kWh | Elétrica | Aquecimento de alimentos | Cozinha | 2 |
| Micro-ondas | 1 | 1,5 | kWh | Elétrica | Aquecimento de alimentos | Cozinha | 1 |
| Lâmpadas de aquecimento | 1 | 0,6 | kWh | Elétrica | Aquecimento de alimentos | Cozinha | 2 |
| Estufa pratos | 1 | 1,4 | kWh | Elétrica | Aquecimento | Cozinha | |
| Exaustão | 1 | 0,5 | kWh | Elétrica | Exaustão de fumos | Cozinha | |
| Fogão | 1 | | | Gás | Cozinhar | Cozinha | |
| Frigorifico | 3 | 3,3 | kWh/dia | | | | |
| Esquentador | 1 | 8 | kW | Gás | Aquecimento de águas | Cozinha | |
| Descascador | 1 | | kW | Elétrica | Descascar | Armazém | 1 |
| Exaustão | 1 | 1,3 | kWh | Elétrica | Exaustão de fumos | Churrasqueira | 1 |
| Motor | 2 | 0,17 | kW | Elétrica | Grelhador | Churrasqueira | 7 |
| Motores | | 0,16 | kWh | Elétrica | Bombeamento de águas residuais | Armazém | 0,5 |
| Arca "Olá" | 2 | 2,7 | kWh/dia | Elétrica | Refrigeração | 2º Armazém | 24 |
| Frigorifico | 1 | 3,3 | kWh/dia | Elétrica | Refrigeração | 2º Armazém | 24 |
| Ar condicionado | 1 | 1,45 | kWh | Elétrica | Climatização | Refeitório | 1 |
| Camara de vinhos | 2 | 0,54 | kWh | Elétrica | Climatização de vinhos | Sala | 24 |
| Frigorifico (vitrine) | 1 | 3,3 | kWh/dia | Elétrica | Refrigeração | Sala | 24 |
| Televisão | 1 | 0,119 | kWh | Elétrica | Audiovisual | Sala | 12 |
| Ar condicionado | 2 | 3,65 | kWh | Elétrica | Climatização | Sala | 7 |

Apêndice II – Dimensionamento do sistema de painel solar térmico

Modelo Energético RETScreen - Projeto do Sistema de Aquecimento

| Projeto do Sistema de Aquecimento | | Aquecedor solar de água | | | |
|--|---|-------------------------|---------------|---------------------|---------------------------|
| Tecnologia | | | | | |
| Características da carga | <input type="radio"/> Piscina <input checked="" type="radio"/> Água quente | | | | |
| Aplicação | | | | | |
| | Unidade | Caso de referência | Caso proposto | | |
| Tipo de carga | | Restaurante | | | |
| Número de unidades | | 100 | | | |
| Taxa de ocupação | % | 60% | | | |
| Uso diário de água quente - estimado | L/d | 546 | | | |
| Uso diário de água quente | L/d | 500 | 500 | | |
| Temperatura | °C | 65 | 65 | | |
| Dias de operação por semana | d | 6 | 6 | | |
| <input type="checkbox"/> Percentual de utilização do mês | | | | | |
| Método de avaliação da temperatura de alimentação | | Fórmula | | | |
| Temperatura da água - mínima | °C | 13,7 | | | |
| Temperatura da água - máxima | °C | 17,9 | | | |
| | Unidade | Caso de referência | Caso proposto | Economia de energia | Custo inicial incremental |
| Demanda de calor | MWh | 9,0 | 9,0 | 0% | € 7.089 |
| Avaliação de recursos | | | | | |
| Sistema de posicionamento solar | | Fixo | | | |
| Inclinação | ° | 36,0 | | | |
| Azimut | ° | -5,0 | | | |
| <input type="checkbox"/> Mostrar dado | | | | | |
| Aquecedor solar de água | | | | | |
| Tipo | Evacuado | | | | € - |
| Fabricante | Schott-Rohrglas | | | | |
| Modelo | ETC 16 | | | | |
| Área bruta por coletor solar | m² | 2,51 | | | |
| Área de Captação por coletor solar | m² | 2,37 | | | |
| Coefficiente Fr (tau alpha) | | 0,48 | | | |
| Coefficiente Fr UL | (W/m²)°C | 1,20 | | | |
| Coefficiente de Temperatura de Fr UL | (W/m²)°C² | 0,000 | | | |
| Número de coletores | | 4 | 4 | | |
| Área do coletor solar | m² | 10,04 | | | |
| Capacidade | kW | 6,64 | | | |
| Perdas diversas | % | 2,0% | | | |
| Balanco do sistema e misc. | | | | | |
| Armazenamento | | Sim | | | |
| Capacidade de armazenamento / area do coletor solar | L/m² | 50 | | | |
| Capacidade de armazenamento | L | 474,0 | | | |
| Trocador de calor | sim/não | Sim | | | |
| Eficiência do trocador de calor | % | 89,0% | | | |
| Perdas diversas | % | 3,0% | | | |
| Potência da bomba / área do coletor solar | W/m² | 0,00 | | | |
| Preço da eletricidade | €/kWh | 0,100 | | | |
| Resumo | | | | | |
| Demanda de eletricidade - bomba | MWh | 0,0 | | | |
| Calor fornecido | MWh | 5,8 | | | |
| Fração solar | % | 65% | | | |

| Sistema de aquecimento | | |
|--|---------------------------|----------------------|
| | Caso de referência | Caso Proposto |
| Tipo de combustível | Propano - kg | Propano - kg |
| Eficiência sazonal | 75% | 75% |
| Consumo de combustível - anual [kg] | 893,75 | 293,8 |
| Preço do combustível [€/kg] | 2,16 | 2,16 |
| Custo do combustível [€] | 1930 | 634,608 |
| Consumo anual [kWh/ano] | 11502,56 | 3781,21 |
| Poupança [kWh/ano] | 7721,3565 | |

Apêndice III – Lista do levantamento de cargas de iluminação

| Local | Incandescente | | Fluorescente | | | | Outras | | | | Utilização diária (horas) |
|---------------|---------------|--------------|--------------|--------------|---------|--------------|-------------------|--------------|----|--------------|---------------------------|
| | Halogénio | | CFL | | Tubular | | Iodetos metálicos | | | | |
| | Nº | Potência (W) | Nº | Potência (W) | Nº | Potência (W) | Nº | Potência (W) | Nº | Potência (W) | |
| Bar | | | | | | | | | 6 | 70 | 13 |
| Bar | | | | | | | | | 3 | 35 | 0 |
| Bar | | | 5 | 12 | | | | | | | 0 |
| Bar | 2 | 50 | | | | | | | | | 0 |
| Copa apoio | | | 4 | 18 | | | | | | | 10 |
| Escritório | | | | | 2 | 58 | | | | | 7 |
| Copa | | | | | 1 | 58 | | | | | 8 |
| Copa | | | | | 1 | 18 | | | | | 8 |
| Dispensa | | | | | 1 | 58 | | | | | 1 |
| Cozinha | | | | | 11 | 58 | | | | | 10 |
| Armazém | | | | | 4 | 58 | | | | | 1 |
| Armazém | | | | | 2 | 18 | | | | | 1 |
| Churrasqueira | | | | | 10 | 58 | | | | | 7 |
| Armazém 2 | | | | | 5 | 58 | | | | | 4 |
| Balneários M | | | | | 4 | 18 | | | | | 1 |
| Balneários H | | | | | 3 | 18 | | | | | 1 |
| Refeitório | | | | | 1 | 58 | | | | | 1 |
| Sala | | | 9 | 7 | | | | | | | 6 |
| Sala | | | 26 | 18 | | | | | | | 10 |
| Sala | 5 | 50 | | | | | | | | | 0 |
| Entrada | 11 | 50 | | | | | | | | | 6 |
| Sanitários | 8 | 50 | | | | | | | | | 1 |
| Exterior | | | 6 | 8 | | | | | | | 6 |
| Exterior | | | | | | | 1 | 100 | | | 4 |

Apêndice IV– Dimensionamento do sistema solar fotovoltaico

| Detalhes painel fotovoltaico | |
|-------------------------------------|------------------------------|
| Módulo | "Standard" 15% Eficiência |
| Sistema de posicionamento solar | Fixo |
| Inclinação | 20° |
| Azimute | 180° |
| Elevação (m) | 140 |
| Potencia DC [kW] | 16,8 |
| Perdas no sistema | 14% |
| Eficiência do inversor | 96% |
| Custo médio de eletricidade (€/kWh) | 0,14021 |
| Custo inicial | 2,6 |
| Fator de capacidade | 15,6% |

| Resumo | | | | | | |
|--------------|------------------|--|--------------------------------|------------------|------------|-----------|
| Mês | Energia AC (kWh) | Radiação solar (kWh/m ² /dia) | Irradiação (W/m ²) | Energia DC (kWh) | Valor [\$] | Valor [€] |
| 1 | 1253,39 | 2,99 | 92,70 | 1314,40 | 196,09 | 175,73 |
| 2 | 1251,25 | 3,28 | 91,82 | 1312,14 | 195,76 | 175,43 |
| 3 | 1989,35 | 4,80 | 148,91 | 2079,69 | 311,23 | 278,91 |
| 4 | 2293,17 | 5,79 | 173,76 | 2395,11 | 358,77 | 321,52 |
| 5 | 2409,00 | 5,93 | 183,98 | 2518,99 | 376,89 | 337,75 |
| 6 | 2564,85 | 6,69 | 200,79 | 2679,58 | 401,27 | 359,60 |
| 7 | 2701,93 | 6,94 | 215,02 | 2822,15 | 422,72 | 378,82 |
| 8 | 2626,10 | 6,74 | 208,82 | 2741,56 | 410,85 | 368,19 |
| 9 | 2068,47 | 5,44 | 163,15 | 2162,08 | 323,61 | 290,01 |
| 10 | 1664,06 | 4,14 | 128,33 | 1741,30 | 260,34 | 233,31 |
| 11 | 1080,80 | 2,65 | 79,47 | 1136,36 | 169,09 | 151,53 |
| 12 | 995,57 | 2,35 | 72,80 | 1046,76 | 155,76 | 139,59 |
| Total | 22897,93 | 57,74 | 1759,54 | 23950,10 | 3582,38 | 3210,39 |

| Análise económica | | |
|-------------------------------|----------|-----------|
| | Unidades | Preço [€] |
| Painéis fotovoltaicos de 240W | 68 | 21 760 € |
| Controlador digital | 1 | 385 € |
| Baterias | 34 | 20 230 € |
| Inversor | 1 | 1 580 € |
| Mão de obra | 1 | 500 € |
| Total | | 44 455 € |