

UNIVERSIDADE DE LISBOA  
FACULDADE DE CIÊNCIAS  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA GEOGRÁFICA GEOFÍSICA E ENERGIA



## **Certificação Energética e Dimensionamento de Sistemas de um Edifício Histórico**

Carlos Henrique Ribeiro Alves

**Mestrado Integrado em Engenharia da Energia e do Ambiente**

Dissertação orientada por:  
Guilherme Carrilho da Graça

2022



## **Agradecimentos**

No decorrer deste trabalho aprendi muito mais do que o que se pode traduzir nesta dissertação, no trajeto foram fundamentais as pessoas que me proporcionaram as condições de aprendizagem e companheirismo. Agradeço de sobremaneira ao meu orientador Guilherme Carrilho da Graça pela oportunidade de estágio na sua empresa e pelos seus ensinamentos. Um especial agradecimento ao meu amigo e professor João Simões pelo seu companheirismo, transmissão de conhecimentos e grande disponibilidade para me auxiliar sempre que necessário.

Ao professor assistente Rafael Monge Palma pelos seus ensinamentos e amizade no início desta caminhada.

No meu estágio na Natural Works contatei com profissionais de excelência na área da engenharia e agradeço à Maria Malato Lerer pela sua orientação no decorrer do estágio. Pela transmissão de conhecimento e disponibilidade. À Ana Rita agradeço imenso pela sua amizade e ajuda na integração e constante apoio nas minhas tarefas.

Um agradecimento sentido aos meus familiares que me proporcionaram tudo para que pudesse concluir esta tese: aos meus pais, avós, irmã e à minha namorada que estiveram sempre disponíveis para o que eu necessitasse.

## Resumo

Atualmente, de acordo com dados da União Europeia o consumo energético associado ao setor dos edifícios está na ordem dos 40%. Assim, os estados-membros nos quais se inclui Portugal comprometem-se em transpor as diretivas europeias que visam a implementação de medidas de eficiência energética de forma a reduzir os impactos nefastos da emissão de gases efeito de estufa, bem como, na redução da fatura energética. A regulamentação associada ao desempenho energético dos edifícios tem estado em constante evolução nas últimas décadas.

Nesta dissertação, foi abordado um caso de estudo que resultou de um projeto realizado, em meio empresarial, para a pré-certificação energética no decorrer do projeto de musealização e refuncionalização do Quarteirão Cultural de Loulé. Como tal, nesta dissertação foi realizada uma revisão bibliográfica com o intuito de conhecer o contexto legislativo para os edifícios de Comércio e Serviços (regulamento do desempenho energético de Edifícios de comércio e Serviços).

Posteriormente, elaborar uma avaliação do desempenho energético do caso em estudo através de simulação energética dinâmica com recurso ao programa *EnergyPlus*. Para além do contexto e da sua envolvente é necessário obter um modelo geométrico, tal como conhecer as restantes características que definem o edifício. Nesta análise, e de forma que seja possível recorrer aos recursos renováveis é necessário conhecer a área disponível de coberturas, fachadas, vãos envidraçados, ganhos internos, caracterização do uso do próprio edifício, ganhos solares e soluções construtivas.

Para este estudo é fulcral a execução de uma simulação dinâmica desta dissertação para determinação do consumo nominal de energia com base nos perfis de utilização dos espaços e comparação com a referência regulamentar. Para caracterizar da melhor forma o caso de estudo irá ser realizada uma simulação dinâmica horária e multizona que visa traduzir o modelo geométrico definido. Assim, foram dimensionados os sistemas técnicos e os consumos conhecidos pelas diferentes tipologias de espaços presentes no projeto. A classificação energética resultante foi B, tal como, esperado ficando aquém da definição de edifício de balanço de energia quase nulo.

**Palavras-Chave:** Desempenho energético dos edifícios, Edifícios históricos, EnergyPlus, Simulação Dinâmica, Certificação energética.

## Abstract

According to European Union data, the energy consumption associated with the building sector is around 40%. Thus, member states, including Portugal, are committed to transposing European directives to implement energy efficiency measures to reduce the adverse impacts of greenhouse gas emissions and energy bills. The regulation associated with the energy performance of buildings has been in constant evolution in the last decades.

In this dissertation, a case study resulted from a project carried out in a business environment for energy pre-certification during the museum and refurbishment project of the Cultural Quarter of Loulé. As such, in this dissertation, a literature review was conducted to know the legislative context for Trade and Services buildings (regulation of energy performance of Buildings Trade and Services).

Afterward, the energy performance of the case study was evaluated through dynamic energy simulation using the EnergyPlus program. Besides the context and surroundings, it is necessary to obtain a geometric model and know the other characteristics that define the building. In this analysis and in order to be able to use renewable resources, it is necessary to know the available area of roofs, facades, glazed areas, internal gains, characterization of the use of the building itself, solar gains, and construction solutions.

Central to this study is the execution of a dynamic simulation of this dissertation to determine the nominal energy consumption based on the user profiles of the spaces and comparison with the regulatory reference. An hourly and multizone dynamic simulation will be performed to characterize the case study better to translate the defined geometric model. Thus, the technical systems and the known consumptions for the different typologies of spaces present in the project were dimensioned. As expected, the resulting energy classification was B, falling short of the definition of a building with almost zero energy balance.

**Keywords:** Building energy performance, historical buildings, EnergyPlus, Dynamic Energy Simulation, Energy Certification

# Índice

Agradecimentos.....	iii
Resumo.....	iv
Abstract .....	v
Índice de Figuras .....	vii
Índice de Tabelas.....	viii
Siglas e Acrónimos.....	ix
1. Introdução.....	1
2. Estado da Arte .....	3
2.1. Legislação e regulação do desempenho energético dos edifícios.....	3
2.1.1. Legislação comunitária de regulação do desempenho energético dos edifícios.....	3
2.1.2. Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios em Portugal.....	5
2.2. Conceito de edifícios com balanço de energia nulo .....	7
2.3. Aplicação de medidas de Eficiência Energética no desempenho energético dos Edifícios ....	9
3. Metodologia .....	12
4. Caso de estudo.....	13
4.1. Enquadramento da intervenção - Quarteirão Cultural Loulé.....	13
4.2. Projeto de comportamento térmico .....	16
4.2.1. Caracterização dos edifícios em estudo.....	17
4.2.2. Constituição e soluções construtivas dos edifícios.....	18
4.2.2.1. Caracterização da Envolvente Opaca .....	18
4.2.2.2. Vãos envidraçados.....	21
4.3. Projeto de Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado.....	23
4.4. Simulação Dinâmica do caso de estudo .....	26
4.4.1. Zonamento térmico.....	26
4.4.2. Ganhos internos.....	27
5. Resultados e Discussão .....	29
5.1. Dimensionamento de sistemas .....	29
5.2. Certificação Energética e análise dos dados da Simulação Dinâmica.....	31
6. Conclusões e Desenvolvimentos Futuros.....	35
7. Referências Bibliográficas .....	37
Anexo A – Soluções construtivas aplicadas no caso de estudo.....	39
Anexo B – Modelo da Simulação dinâmica e sistemas técnicos.....	42

# Índice de Figuras

Figura 1.1: Consumo de energia final por setor de atividade (Fonte:ECA, relatório Eurostat 2017, <a href="https://op.europa.eu/webpub/eca/special-reports/energy-efficiency-11-2020/en/">https://op.europa.eu/webpub/eca/special-reports/energy-efficiency-11-2020/en/</a> ) .....	1
Figura 1.2: Metas da União Europeia para diminuição do consumo de energia primária [5](Fonte: <a href="https://op.europa.eu/webpub/eca/special-reports/energy-efficiency-11-2020/en/">https://op.europa.eu/webpub/eca/special-reports/energy-efficiency-11-2020/en/</a> ) .....	3
Figura 2.1: Evolução da legislação portuguesa do desempenho energético dos edifícios [7].....	5
Figura 2.2: Evolução do conceito de Zero Energy Buildings (fonte:International Partnership for efficiency cooperation).....	8
Figura 2.3: Tipologias de nZEB por geração de energia e conexão entre edifício com rede elétrica [14] .....	9
Figura 2.4: Medidas a aplicar para a obtenção de edifício de necessidades energéticas nulas [16].....	10
Figura 2.5: Medidas passivas de eficiência energética [17] .....	10
Figura 3.1: Representação da cronologia para análise do caso de estudo .....	13
Figura 4.1. Vista elevada da zona do Quarteirão Cultural, a partir de sul (fonte: <i>Google Earth</i> , 2019)	14
Figura 4.2. Planta geral do conjunto e identificação dos Núcleos.....	14
Figura 4.3. Maquete com a proposta (branco) e zona envolvente (cinzento).....	15
Figura 4.4. Proposta de corpo novo em ponte em delimitação da praça, com passadiço recriando as casas de passagem para ligação dos dois núcleos.....	15
Figura 4.5. Dados climáticos regulamentares para o local do edifício (LNEG, CLIMAS-SCE 1_05.xlsm) .....	17
Figura 4.6. Exemplo de alvenaria de pedra ordinária presente no complexo de edifícios do Quarteirão Cultural de Loulé.....	18
Figura 4.7. Exemplo de elementos pétreos aparentes em fachadas, que serão recuperados .....	19
Figura 4.8: Representação tridimensional do modelo do caso de estudo (Sketch up) .....	26
Figura 4.9: Perfil de ganhos internos na tipologia de Museu de 2ª a 6ª feira .....	28
Figura 4.10: Perfil de ganhos internos na tipologia Museu para os dias de fim-de-semana .....	28
Figura 4.11: Perfil de ganhos internos na tipologia de Escritório de 2ª a 6ª feira .....	28
Figura 4.12:Perfil de ganhos internos na tipologia de Escritório para os dias de fim-de-semana.....	28
Figura 4.13: Perfil de ganhos internos na tipologia de Restauração de 2ª a 6ª feira .....	28
Figura 4.14:Perfil de ganhos internos na tipologia de Restauração para os dias de fim-de-semana.....	28
Figura 5.1: Necessidades de arrefecimento para o Museu num dia típico de Verão.....	32
Figura 5.2: Necessidades de aquecimento para o Museu num dia típico de Inverno.....	32
Figura 5.3: Necessidades de arrefecimento para o Escritório num dia típico de Verão.....	32
Figura 5.4: Necessidades de aquecimento para o Escritório num dia típico de Inverno.....	32
Figura 5.5:Necessidades de arrefecimento para a Restauração num dia típico de Verão .....	32
Figura 5.6: Necessidades de aquecimento para a Restauração num dia típico de Inverno .....	32
Figura 5.7: Distribuição dos consumos energéticos nas zonas térmicas do museu.....	33
Figura 5.8: Distribuição dos consumos energéticos nas zonas térmicas do escritório .....	33
Figura 5.9: Distribuição dos consumos energéticos nas zonas térmicas da restauração .....	33
Figura 5.10: Distribuição dos consumos energéticos totais .....	33
Figura 5.11: Indicadores de atribuição da classe energética .....	34

## Índice de Tabelas

Tabela 2.1: Intervalos do rácio de classe energética para certificação energética (fonte: Despacho (extrato) n.º 15793-J/2013).....	7
Tabela 4.1 – Caracterização das alvenarias de pedra existentes, situação anterior e após a intervenção proposta.....	19
Tabela 4.2 – Total de área envidraçada por orientação (Aenv) e de área de envolvente vertical exterior do edifício por orientação (Aene), e rácio Aenv/Aene.....	22
Tabela 4.3: Soluções construtivas dos vãos e detalhe das suas propriedades .....	23
Tabela 5.1: Tabela das condições do ar interior e exterior.....	29
Tabela 5.2: Equipamentos inseridos nos sistemas técnicos e potencia de arrefecimento e aquecimento .....	30
Tabela 5.3: Unidades de tratamento de ar e caudais de insuflação .....	30
Tabela 5.4: Velocidade do ar para dimensionamento da rede aeráulica.....	31
Tabela A.1: Soluções construtivas da envolvente opaca.....	39
Tabela B.1: Zoneamento térmico e tipologia .....	42
Tabela B.2: Descrição das cargas de aquecimento, arrefecimento e caudais mínimos.....	43

## Siglas e Acrónimos

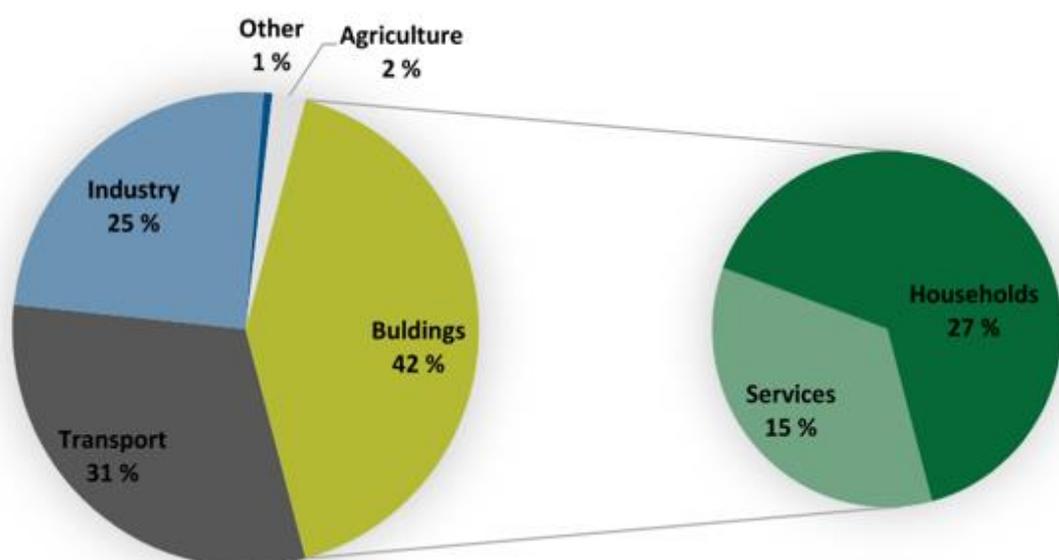
ADENE	Agência para a Energia
APA	Direção-Geral da Saúde e Agência Portuguesa do Ambiente
AVAC	Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado
CO <sub>2</sub>	Dióxido de Carbono
DGEG	Direção-Geral de Energia e Geologia
EPBD	Energy Performance of Buildings Directive
EPS	Poliestireno expandido moldado
GWP	Global Warming Potential
ICB	Aglomerado de cortiça expandida
IEA	Agência Internacional de Energia
IEE	Indicador de Eficiência Energética
IS	Instalação Sanitária
nZEB	Nearly Zero Energy Buildings
NZEB	Net Zero Energy Building
PQ	Perito Qualificado
RCCTE	Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios
RECS	Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços
REH	Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação
REHVA	Federation of European Heating, Ventilation and Air Conditioning Associations
REN	Rede de Energia Nacional
RSECE	Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios
TIM	Técnico de Instalação e Manutenção
UE	União Europeia
UTA	Unidade de Tratamento de Ar
XPS	Poliestireno expandido extrudido
ZEB	Zero Energy Buildings

# 1. Introdução

Atualmente é possível constatar um processo de transição energética, com a substituição de centrais de produção de energia de recursos fósseis, poluentes e finitos, por fontes de geração renovável. Esta alteração de paradigma é fundamental do ponto de vista ambiental, social e é essencial que seja economicamente viável.

Segundo um comunicado da REN, em 2021 no nosso país a produção de energias renováveis abasteceu 59% do consumo de energia elétrica em Portugal, sendo que 26% do consumo correspondeu a energia eólica, 23% a hidroelétrica, 7% a biomassa e por último, 3,5% a fotovoltaica. Relativamente à produção de energia não renovável, esta correspondeu a 31% do consumo, dos quais 29% referem-se a gás natural e no decorrer do encerramento das centrais a carvão, apenas 2% foi o seu contributo para suprir as necessidades energéticas do país [1].

A esta mudança de paradigma estão associados alguns constrangimentos, tais como, a variabilidade na disponibilidade do recurso (por exemplo: anos de seca), menor estabilidade da rede elétrica e até questões correntes como sanções económicas que implicam com o fornecimento e implicam na flutuação de preços dos combustíveis convencionais como o gás e o petróleo. Posto isto, tão importante como maximizar a oferta de mais soluções de fornecimento energético é diminuir a procura. Como tal, o setor dos edifícios, é responsável por cerca de 40% (Figura 1.1) do consumo da energia na Europa e aproximadamente 30% em Portugal [2]. E neste sentido apresenta um elevado potencial na integração de fontes renováveis e na melhoria da eficiência energética dos seus sistemas.



**Figura 1.1: Consumo de energia final por setor de atividade**

De acordo com a Direção-Geral de Energia e Geologia, mais de 50% do consumo poderá ser reduzido através da implementação de medidas de eficiência energética [2]. Deste modo, seria possível reduzir as emissões de CO<sub>2</sub> em cerca de 400 milhões de toneladas por ano (na U.E.). Um conjunto de medidas com o objetivo de motivar a melhoria do desempenho energético e o nível de conforto dos edifícios têm vindo a ser implementadas pelos Estados-Membros da União Europeia. Estas medidas a aplicar nos edifícios são fundamentais para o cumprimento das metas de neutralidade carbónica que foram assumidas pelos Estados membros da União Europeia [3]. Tais objetivos serão impossíveis de atingir sem considerar os edifícios como uma das prioridades a descarbonizar visto que têm um papel fundamental na qualidade da vida pessoal e profissional das pessoas.

Como tal, em meados de 2002 foi elaborada a primeira diretiva comunitária EPBD (*Energy Performance of Buildings Directive*) que impôs aos Estados Membros da União Europeia, a implementação de medidas com o intuito de tornar o parque edificado (novo e existente) mais eficientes energeticamente. As medidas que compõe a diretiva têm vindo a ser atualizada, nomeadamente em 2010 (*EPBD Recast*, Diretiva 2010/31/UE) e em 2018 (Diretiva (UE) 2018/844), com a progressão dos seus requisitos (com prazo de 20 meses para ser adaptada à legislação de cada país). Estas diretivas contribuíram para o enquadramento e aplicação do conceito dos edifícios de balanço de energia quase nulo e nulo (nZEB e ZEB) [4].

No entanto, atualmente 75% dos edifícios que constituem o parque edificado na Europa foram construídos previamente à implementação das diretivas que regulam o desempenho energético dos mesmos. A União Europeia estabelece como objetivo uma redução de 55% das emissões de CO<sub>2</sub> até 2030 [3], assim é necessária a diminuição das emissões de gases efeito de estufa em 60%, da sua energia consumida final em 14% (Figura 1.2). Será necessário também uma redução na energia despendida em necessidades de aquecimento e arrefecimento de aproximadamente 18% [3]. Estas medidas visam essencialmente a construção dos novos edifícios, mas é estimado que entre 85-95% do parque edificado atual estará em uso em 2050, logo será fundamental promover medidas de eficiência energética nos edifícios existentes. A taxa a que os edifícios existentes são renovados cifra-se somente em 1% normalmente através de medidas de melhoria dos sistemas técnicos ou, ainda mais raro, de implementação de soluções de energia renovável. O impacto de tais medidas de eficiência energética, para além do seu contributo no combate contra as alterações climáticas, irá beneficiar os cidadãos e instituições pela diminuição com os custos energéticos.

No âmbito económico, será importante na criação de novos empregos e desenvolvimento tecnológico, também na geopolítica irá ter um papel de grande relevância, visto que se perspetivam constrangimentos no fornecimento de energia para vários países por consequência de um conflito armado na Europa. No seguimento desta situação, a Comissão Europeia com o intuito de diminuir drasticamente a dependência da importação de bens energéticos da Rússia, propõe um plano intitulado *REPowerEU* [5].

Tendo como objetivo a independência energética dos países membros da União Europeia, este plano bem como aplicação das diretivas comunitárias tem como principais vetores a diminuição a larga escala do uso de combustíveis fósseis nos edifícios, na indústria e no fornecimento do sistema elétrico [5]. Como tal, é fundamental promover medidas de eficiência energética, em plena simbiose com o recurso a fontes de energia renovável (solar, eólica) e de sistemas técnicos que propiciem o seu potencial, como as bombas de calor, para complementar as novas soluções de aumento de novas fontes de produção de energia [5].

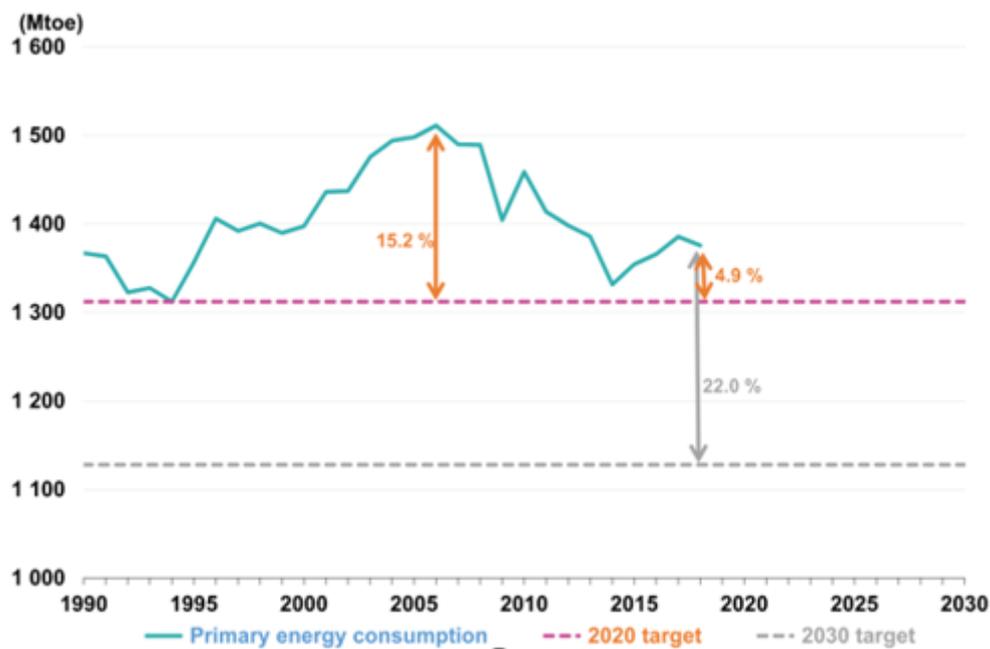


Figura 1.2: Metas da União Europeia para diminuição do consumo de energia primária [5](Fonte: <https://op.europa.eu/webpub/eca/special-reports/energy-efficiency-11-2020/en/>)

## 2. Estado da Arte

### 2.1. Legislação e regulação do desempenho energético dos edifícios

#### 2.1.1. Legislação comunitária de regulação do desempenho energético dos edifícios

As políticas de regulação do desempenho energético dos edifícios são essenciais para atingir as metas da União Europeia para mitigar os impactos negativos causados pelos edifícios e conceber um desenvolvimento sustentável do parque edificado.

Em Portugal, anteriormente a 1990 não existiam quaisquer regulamentos referentes a requisitos térmicos para edifícios (Figura 2.1). O Decreto-Lei n.º 40/90, de 6 de Fevereiro de 1990, foi o primeiro regulamento em Portugal que impôs requisitos de projeto para novos edifícios e grandes renovações. Este regulamento visa as características de comportamento térmico de edifícios (RCCTE), constituindo uma primeira abordagem aos pressupostos energéticos que envolviam os edifícios, tendo em consideração o contexto do nosso país. Decorrido o ano de 1998, foi estabelecido o regulamento dos sistemas energéticos de climatização em edifícios (RSECE) pelo Decreto-Lei n.º 118/98, de 7 de maio, no qual é pretendido prevenir o sobredimensionamento dos edifícios a nível da potência dos seus sistemas instalados, a fim de melhorar a eficiência energética dos edifícios. Com o intuito de estabelecer uma rota de melhoria do seu desempenho energético e das condições para os ocupantes dos edifícios, foi elaborada a 16 de dezembro de 2002 a Diretiva 2002/91/CE. Adicionalmente, com um novo paradigma fomentado pela nova Diretiva Europeia para o desempenho energético dos Edifícios (EPDB) surgem os Decretos-Lei número 78/2006, 79/2006 e 80/2006.

Em maio de 2010, foi atualizada a metodologia de análise do desempenho energético e reformulados os requisitos mínimos para a *performance* energética do parque edificado existente, bem como, dos edifícios construídos daí em diante ou sujeitos a uma grande intervenção. Com a chancela do Parlamento Europeu foi promulgada a Diretiva 2010/31/UE [6]. Estes têm como objetivo definir parâmetros mínimos para fomentar uma maior eficiência energética nos edifícios. Esta atualização da legislação em Portugal tem um impacto representativo, pois, estabelecem alterações para requisitos: em casos de grandes reabilitações (anteriormente apenas a partir dos 1000 m<sup>2</sup> seria considerado elegível), os sistemas de climatização, verificação dos processos relacionados com os certificados energéticos. Para além destes fatores, uma nova visão em torno da regulamentação de forma a introduzir uma ótica de custo/benefício numa aferição de custo de ciclo de vida nos edifícios. Estas medidas têm como objetivo definir uma matriz comum a todos os Estados-membros respeitando os requisitos mínimos definidos na legislação.

Nesta fase (EPDB 2010) é elaborado o conceito geral de edifícios com necessidades quase nulas de energia, estabelecendo que até ao final de 2018 todos os edifícios públicos para os restantes fora da órbita dos estados, até à data limite de 31 de dezembro 2020 que todas as novas edificações apresentem desempenhos energéticos “muito elevados”. Para além disso, é também mencionado que as suas necessidades energéticas sejam supridas por fontes de energias renováveis.

Decorrido o ano de 2013 de acordo com a Diretiva Europeia 2010/31/EU publicando o Decreto-Lei nº118/2013. Este decreto transpõe para o sistema jurídico nacional a Diretiva 2010/31/EU, que visa também revogar as temáticas vigentes nos Decretos-Lei número 78/2006, 79/2006 e 80/2006. Responsável pelo enquadramento no nosso país do Sistema Nacional de Certificação Energética de Edifícios, o Regulamento de Desempenho Energético de Edifícios de Habitação e o Regulamento de Desempenho Energético em Edifícios de Comércio e Serviços. [7]

O interveniente no processo de Sistema de Certificação Energética dos Edifícios com o papel de fiscalizar é a Direção-Geral de Energia e Geologia (DGEG). A entidade responsável pela gestão é a ADENE que é denominada Agência para a Energia (ADENE). A monitorização da qualidade do ar interior está ao cargo da Direção-Geral da Saúde e Agência Portuguesa do Ambiente, I.P. (APA). Em relação aos técnicos regulamentados para o SCE são: o Perito Qualificado (PQ) que está encarregue de dirigir o processo garantido a sua operacionalidade, o Técnico de Instalação e Manutenção (TIM) responsável pela coordenação do planeamento, gestão do uso dos recursos energéticos, instalação e manutenção em relação aos sistemas técnicos de edifício. [7]

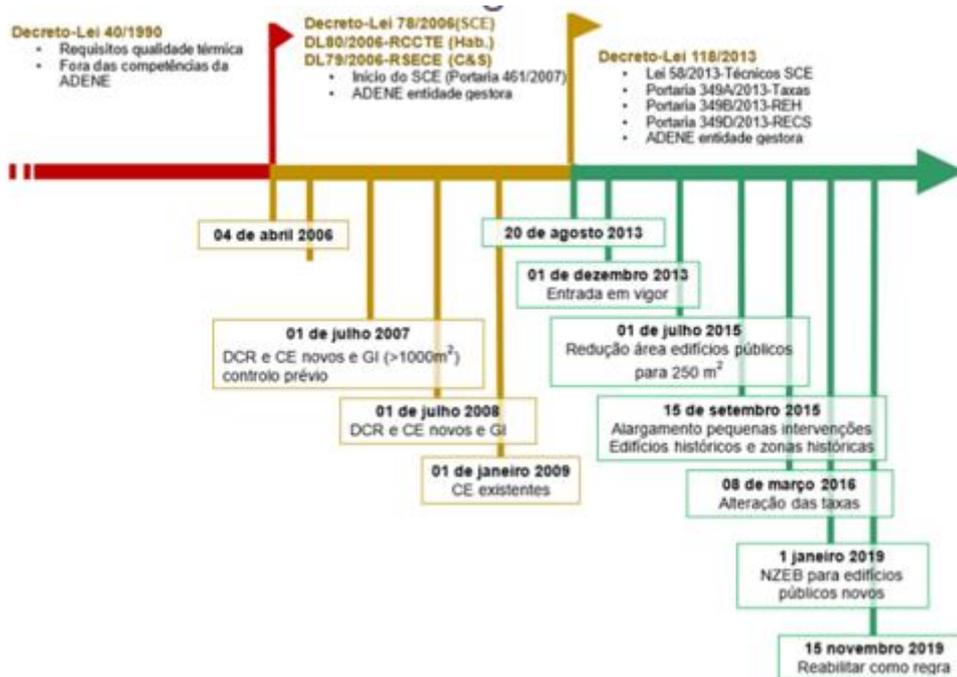


Figura 2.1: Evolução da legislação portuguesa do desempenho energético dos edifícios [7]

O objetivo da certificação energética é de sistematizar a qualidade térmica dos edifícios, quer no âmbito da planificação da construção ou aquando da sua compra, venda ou arrendamento. Deste modo, é possível permitir que todas as entidades em causa obtenham uma informação fidedigna sobre os potenciais consumos de energia no caso de uma nova construção ou aferir os consumos típicos no caso de edifícios já existentes. O certificado energético em relação aos edifícios existentes relata as medidas de melhoria de desempenho energético e da qualidade do ar interior. [6] Existe uma ponderação em relação à viabilidade económica do projeto, tendo em conta a disponibilidade do proprietário para investir de modo a implementar que reduza o dispêndio energético e melhore a eficiência energética do imóvel.

No caso dos novos edifícios, a certificação energética procura garantir aplicação da regulamentação térmica e da qualidade do ar interior para o edifício, tal como, a implementação de sistemas de energias renováveis. Os proprietários ou os promotores têm o dever de informar a classificação energética da fração ou edifício sempre que colocarem o imóvel no mercado mencionando o respetivo pré-certificado. O Pré-Certificado (PCE) tem o intuito de verificar se o projeto cumpre os parâmetros de acordo com os regulamentos em vigor e é emitido em fase de licenciamento. O certificado SCE é realizado por um perito qualificado no qual relata a situação real do desempenho energético de um edifício. Neste documento está sumariado o cálculo dos consumos anuais de energia previstos e contempla também a qualidade do ar interior de um edifício/fração autónoma. O edifício é classificado em função do seu desempenho energético através da atribuição de uma classe. A escala é composta pelas classes (A+, A, B, B-, C, D, E e F), sendo A+ atribuído ao edifício com um desempenho mais elevado e à classe F, por oposição, o pior desempenho energético [6] (Tabela 2.1).

### 2.1.2. Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios em Portugal

Ao abrigo do <sup>(1)</sup> Decreto-Lei nº118/2013 estão contemplados: o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação, REH (ao invés do antigo RCCTE) e o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços, RECS (em substituição do anterior RSECE). Neste diploma é definida uma separação em relação ao sistema de certificação energética

(SCE) dos edifícios de habitação e de comércio e serviços. Analisando a tipologia do edifício ou fração consideram-se tal como referido anteriormente, dois tipos de regulamentação (REH e RECS). O Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH) define os requisitos para os edifícios de habitação, novos ou existentes, mas sujeitos a intervenção. Estabelece ainda os parâmetros que caracterizam o desempenho energético eficiência dos seus sistemas técnicos, no sentido de promover a melhoria do respetivo comportamento térmico, também importante para minimizar o risco de ocorrência de condensações superficiais nos elementos da envolvente. Para os edifícios de comércio e serviços aplica-se o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços (RECS) estabelecendo os parâmetros a ter em consideração em fase de projeto, construção, alteração, operação e manutenção. Ou seja, estabelecer os requisitos para caracterizar o seu desempenho, com o intuito de fomentar a eficiência energética e a qualidade do ar interior. Em relação à qualidade do ar interior, a implementação de sistemas de ventilação natural deve ser priorizada em relação aos sistemas de ventilação mecânica. Para o bem-estar e saúde dos ocupantes dos edifícios é necessário garantir valores mínimos de caudal de ar novo por espaço e dos limiares de proteção para concentrações de poluentes do ar interior.

No âmbito desta dissertação o caso de estudo é um edifício de comércio e serviços. O desempenho desta tipologia é conhecido pelo cálculo do seu indicador de eficiência energética (IEE) [ $\text{kWh}_{\text{Ep}}/\text{m}^2 \cdot \text{ano}$ ] [7] e confrontando com o edifício de referência. O indicador IEE é determinado pelo somatório dos consumos anuais de energia, de acordo com a expressão (1.1):

$$IEE = IEE_s + IEE_T - IEE_{ren} \quad (1.1)$$

Os parâmetros  $IEE_s$  e  $IEE_T$  representam os consumos de energia que são considerados para efeitos de cálculo da classificação energética do edifício e considerando os consumos anuais de energia por fontes de energia. Os consumos  $IEE_s$  são relativos ao aquecimento e arrefecimento ambiente, tratamento de ar, ventilação e bombagem em sistemas de climatização, aquecimento de águas sanitárias e de piscinas, iluminação interior, elevadores, escadas e tapetes rolantes e iluminação exterior<sup>(4)</sup>. Os consumos  $IEE_T$  referem-se à ventilação e bombagem não associada ao controlo de carga térmica, equipamentos de frio, iluminação dedicada e de utilização pontual, tal como, todos os restantes equipamentos e sistemas não incluídos em  $IEE_s$  <sup>(4)</sup>. O parâmetro  $IEE_{ren}$  é calculado através da contabilização da energia produzida (térmica e elétrica) por fontes de energias renováveis. Apenas será considerada a energia elétrica referente ao autoconsumo, a energia térmica efetivamente utilizada ou que possa ser utilizada no edifício, tal como, a energia renovável produzida com recurso a bombas de calor.

Pelo <sup>(3)</sup> Despacho n° 15793-J/2013, da Direção-Geral de Energia e Geologia, o rácio de classe energética é dado pela expressão (1.2):

$$R_{IEE} = \frac{IEE_s - IEE_{ren}}{IEE_{ref,s}} \quad (1.2)$$

Na relação acima descrita o parâmetro  $IEE_{ref,s}$  é o índice de eficiência energética em condições de referência para a mesma tipologia de edifício.

<sup>(1)</sup> Redação dada pelos Decretos-Leis n.ºs 113/2013 de 7 de Agosto, Diário da Republica n° 151, <sup>(2)</sup> Portaria n°42/2019 de 30 de Janeiro 1ª Série, <sup>(3)</sup> Despacho extracto n° 15793-J/2013 de 3 de Dezembro, Portarias n° 353-A/2013 e n° 349-D/2013<sup>(4)</sup>

Na Tabela 2.1, é possível observar a classe energética correspondente ao intervalo de valores do rácio de classe energéticas  $R_{IEE}$ .

**Tabela 2.1: Intervalos do rácio de classe energética para certificação energética (fonte: Despacho (extrato) n.º 15793-J/2013)**

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	$R_{IEE} \geq 2.51$

## 2.2. Conceito de edifícios com balanço de energia nulo

O conceito de Edifícios com balanço de energia nulo ou também denominados *Net Zero Energy Building* (NZEB) motivaram até hoje inúmeras políticas e iniciativas que promovem a implementação desta categoria (Figura 2.2). Estas proliferam por toda a Europa e todo o mundo, mas a sua definição de forma concisa e consensual ainda não foi conseguida. Pode considerar-se que os primeiros exemplares surgiram nos Estados Unidos da América em meados do século XX, onde eram implementadas soluções construtivas vantajosas e a instalação de painéis solares na cobertura para aquecimento de águas sanitárias. Nos diversos termos é unânime a introdução de fontes de energia renováveis de forma a minimizar a pegada carbónica do edifício e providenciando um “elevado desempenho energético”. Estes pressupostos são algo vagos para uma conceptualização mais genérica. Desta forma, os vários Estados-membros têm flexibilidade para criar a sua própria definição de acordo com o seu contexto e visão para o parque edificado (Sartori et al., 2013). [8]

De acordo com Torcellini et al. (2006) [9] surgiram as seguintes quatro definições aceites pela comunidade científica: *Net zero site energy*, *Net zero source energy*, *Net zero cost energy* e *Net zero energy emissions*. O conceito de *Net zero site energy* aplica-se a um edifício que garante uma produção de energia renovável que sustente as suas necessidades energéticas localmente durante um ano. No âmbito de um *Net zero source energy* pode ser aplicado aos nZEB's que produzam, no mínimo a mesma energia renovável que é consumida num ano contabilizando a energia consumida na fonte. Referindo-se à energia primária utilizada para gerar e distribuir a energia para o local. Respeitando assim os fatores de conversão analisar e quantificar a energia realmente importada e exportada. No caso de um *Net zero cost energy* a produção e venda da energia produzida em quantidades suficientes para compensar custos associados da energia necessária para a utilização do edifício ao longo de um ano. *Net zero-energy emissions (Zero Carbon Building)*: apenas contempla a produção de energia de fontes renováveis livres de emissões de dióxido de carbono, de forma a compensar a energia utilizada a partir de fontes fósseis (Figura 2.3).

Em consonância com a diretiva europeia para o desempenho energético dos edifícios (EPDB) na sua mais atual designação é requerido que todos os novos edifícios de 2021 em diante sejam “*nearly zero-energy buildings*” (nZEB). [10] De acordo com o 2º artigo da EPBD de 2021, um edifício de balanço de energia quase nulo (nZeb) é caracterizado por um elevado desempenho energético, com os seus consumos a serem garantidos quase na totalidade por produção renovável no local ou nas proximidades.

Embora a referência conste da legislação desde a publicação do Decreto-Lei n.º 118/2013, de 20 de agosto, o conceito nZEB só foi efetivamente detalhado recentemente. Assim, para edifícios de Comércio e Serviços a especificação do conceito nZEB, incluindo parâmetros de eficiência energética e critérios de conceção de sistemas técnicos, que consta na <sup>(2)</sup> Portaria n.º 42/2019, de 30 de janeiro. Em termos numéricos, os critérios para definição de nZEB presentes na Portaria refletem duas preocupações principais e inerentes ao princípio: a redução das necessidades de energia (nomeadamente dos consumos regulados):  $IEE_S \leq 75\% IEE_{S,ref}$ . [11] Tal como, a satisfação de uma parte importante das necessidades de energia através de fontes de energia renovável, o que se traduz na redução adicional do indicador  $R_{IEE}$ :  $R_{IEE} \leq 0.50$ . Mas, a legislação não contempla diretrizes relativamente à distância para os centros de produção dessa mesma energia renovável deixando uma ambiguidade para a forma de como o edifício deve ser encarado.

Contudo, é essencial desde já distinguir os conceitos NZEB, como edifício de balanço de energia nulo e nZeb traduzindo um edifício com de balanço de energia quase nulo. De acordo com a proposta da REHVA, a distinção das duas tipologias prende-se com o consumo de energia primária não-renovável que no caso dos nZEB poderá ser superior a 0 kWh/m<sup>2</sup> respeitando os limites definidos nas diretivas de cada país. [12] No âmbito dos edifícios de balanço de energia nulo, NZEB, como o próprio nome indica é zero kWh/m<sup>2</sup>. Se este tipologia tiver um sistema de armazenamento instalado poderá até permanecer isolado da rede, sendo denominado Stand Alone Zeb.

## Increasing Ambition

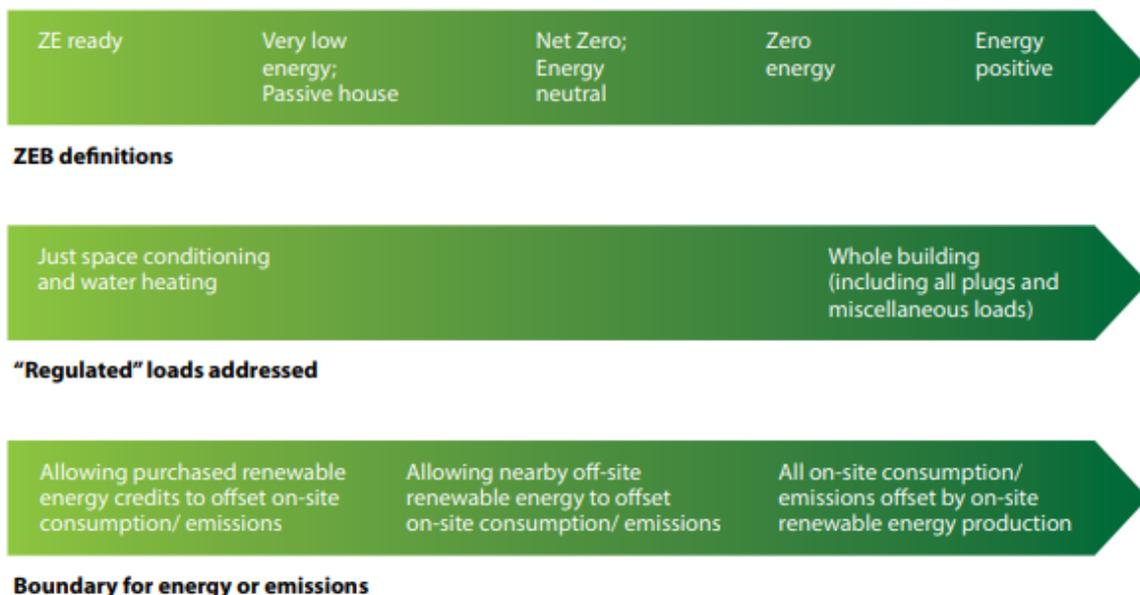


Figura 2.2: Evolução do conceito de Zero Energy Buildings (fonte:International Partnership for efficiency cooperation)

A Comissão Europeia pretende rever na próxima diretiva o atual conceito de NZEB para aproximar do conceito de ZEB (zero-emission building), concertando assim com objetivo de os Estados-membros alcançarem a neutralidade carbónica. [13] Assim, é proposta uma definição em que os edifícios com elevado desempenho energético, que gerem a energia mínima requerida para suprir as suas necessidades energéticas sejam somente produzidas através de fontes de energia renováveis (no local ou não). Estas novas diretrizes deverão ser implementadas a partir de dia 1 de janeiro de 2027 para edifícios públicos e 1 de janeiro de 2030 para os edifícios novos. No caso dos edifícios novos com área superior a 2000 m<sup>2</sup>, terá de ser incluído no certificado energético o cálculo do life-cycle Global Warming Potential (GWP).

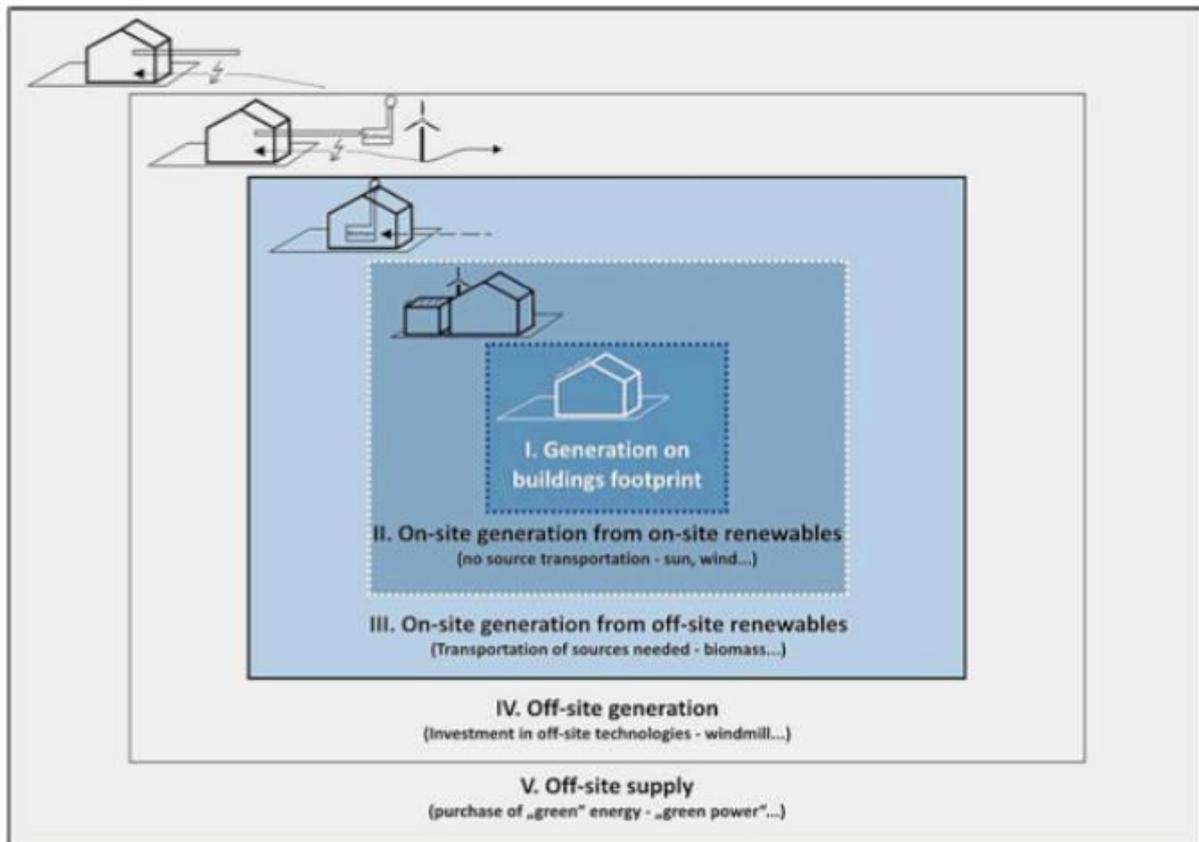


Figura 2.3: Tipologias de nZEB por geração de energia e conexão entre edifício com rede elétrica [14]

### 2.3. Aplicação de medidas de Eficiência Energética no desempenho energético dos Edifícios

Aproximadamente um terço do consumo de energia primária a nível global é associada ao ciclo de vida dos edifícios, tal como das emissões de gases efeito estufa direta e indiretamente. De acordo com a Agência Internacional de Energia (IEA,2018) de 2000 a 2017 o aumento do consumo de energia elétrica nos edifícios aumentou 70 % e a tendência será aumentar nos próximos anos. Neste aumento, o maior uso de sistemas mecânicos de climatização é um dos principais fatores.

Os edifícios mais eficientes são aqueles que adotam medidas eficiência energética que tanto podem ser ativas como passivas, idealmente as duas em conjunto (Figura 2.4). Estas incidem essencialmente na redução das necessidades energéticas para arrefecimento, aquecimento e iluminação (Rodriguez-Ubinas et al. 2014). [15]

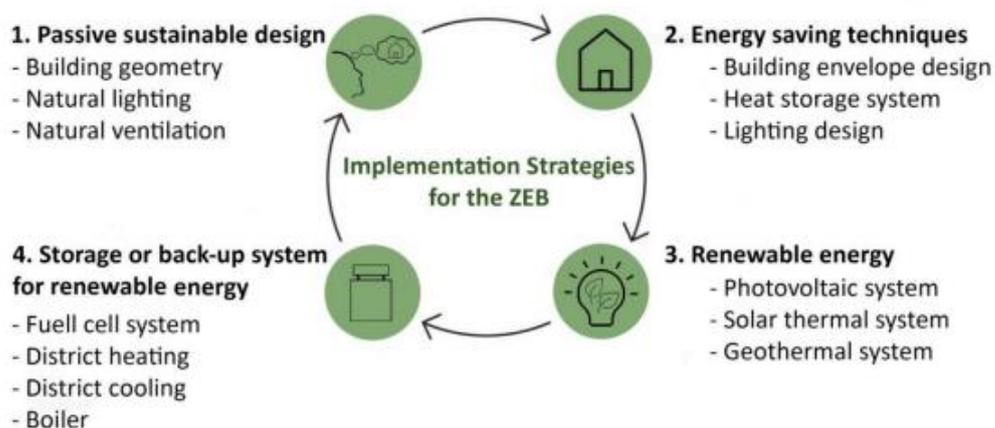


Figura 2.4: Medidas a aplicar para a obtenção de edifício de necessidades energéticas nulas [16]

Logo, a partir da conceção do projeto do edifício é necessário aplicar uma arquitetura bioclimática de acordo com a localização do edifício, integrando soluções de energias renováveis [16]. Assim, irá promover não só uma redução dos consumos bem como melhorar o potencial de conforto para os seus ocupantes. Existem medidas que não envolvem por si só um investimento maior, como por exemplo projetar os edifícios respeitando uma arquitetura bioclimática, comportamento dos ocupantes que promovam a ventilação natural ou mesmo adaptar o vestuário num dado contexto. As medidas passivas de poupança de energia são a forma mais antiga e economicamente viável de diminuir as cargas de aquecimento e arrefecimento nos edifícios (Figura 2.5).

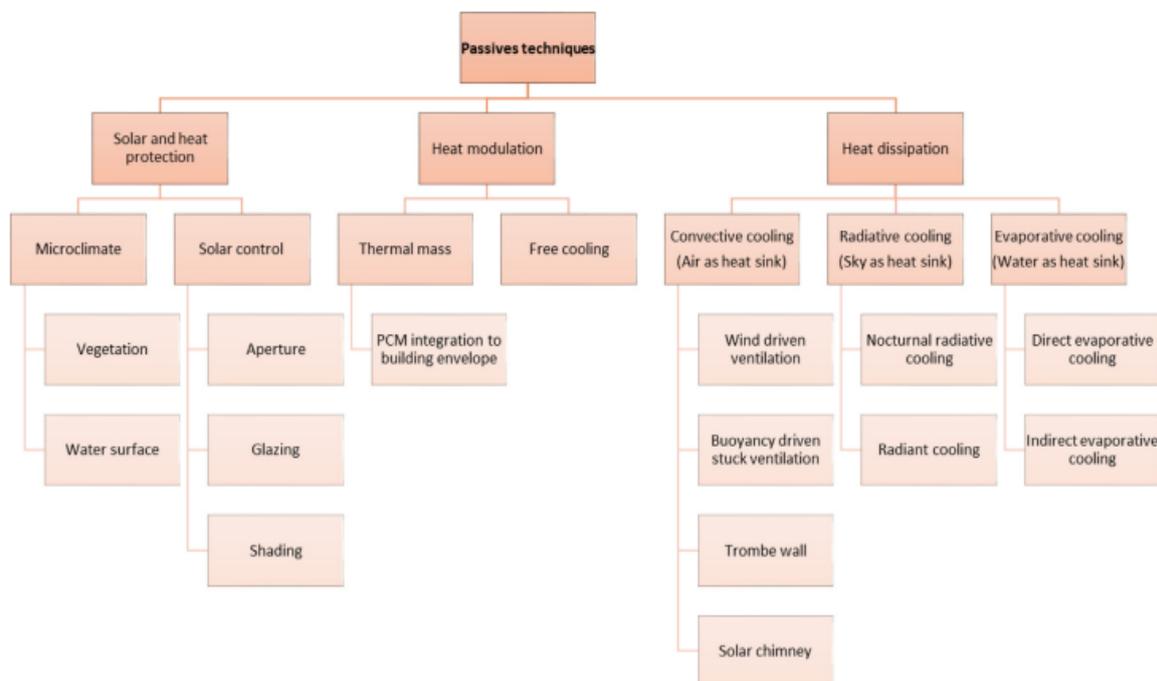


Figura 2.5: Medidas passivas de eficiência energética [17]

Desde a fase de projeto é fundamental adotar uma visão integrada de tudo o que envolve o edifício e como aproveitar esses fatores para benefício do conforto dos seus ocupantes. Como ponto de partida considerar a sua orientação é bastante importante pelo aproveitamento que possa ser feito dos ganhos

solares e como isso impactará no seu desempenho energético. Nos países localizados no hemisfério norte, nos quais se inclui Portugal, uma fachada orientada a sul obterá maiores ganhos solares, tal como iluminação natural [18]. Assim, durante o Inverno poderá atenuar as necessidades de aquecimento, como por oposição no Verão aumentará as necessidades de arrefecimento. No entanto, estes constrangimentos podem ser atenuados com a aplicação de soluções de sombreamento. No caso de estudo desta dissertação, visto tratar-se de um edifício existente no qual a arquitetura tem de respeitar a sua herança histórica, foram considerados novos vãos e proteções adequadas a cada orientação e uso dos mesmos.

Relativamente às soluções construtivas mais favoráveis existem várias alternativas possíveis entre construção da envolvente, sistemas técnicos de climatização e fontes energéticas ao edifício com o intuito de conceber um edifício com um elevado desempenho ou realizar uma grande intervenção que altere o paradigma energético de um edifício.

A envolvente opaca do edifício é constituída por: elementos verticais (paredes, pilares e vigas) e elementos horizontais (coberturas, pavimentos em contacto com o solo ou em contacto com o exterior) é possível melhorar o conforto térmico, a acústica e diminuir a fatura energética incorporando materiais isolantes, tais como, o aglomerado de cortiça expandida (ICB), poliestireno expandido extrudido (XPS), o poliestireno expandido moldado (EPS), lãs minerais, espuma rígida de poliuretano ou de poliisocianurato (PUR/PIR) ou argamassa térmica [19]. Assim, o interior do edifício fica menos sujeito às condições ambientais que o rodeiam.

A envolvente envidraçada, desempenha um papel de grande relevo no desempenho energético de um edifício. É fundamental considerar a sua área, orientação, tipologia de vidro, modelo de caixilharia e a sua proteção solar. Os ganhos solares pelos vãos envidraçados correspondem a 35% dos ganhos de calor numa habitação. A aplicação de proteções solares exteriores poderão evitar ganhos de calor até 96%, ao invés os interiores apenas 62%. Segundo o LNEC, a existência de proteções solares poderá reduzir a temperatura interior entre 1° C e 10° C com mais ênfase nas estações com maior amplitude térmica e nas envolventes opacas com maior percentagem de área de vão envidraçado [20]. Quanto mais eficiente for esta combinação menores serão as necessidades de consumo de energia relacionado com a climatização.

A melhoria da eficiência energética dos sistemas de iluminação (interior e exterior) tem um peso considerável no consumo de energia elétrica de um edifício, com impacto superior nos edifícios de comércio e serviços comparativamente com os de habitação (14% consumo de eletricidade) [21] Logo, o dimensionamento destes sistemas terá de ser tido em conta em fase de projeto de construção ou intervenção. Para dimensionar o sistema de iluminação é fundamental considerar o espaço e a sua utilização. Com o intuito de atingir um melhor aproveitamento, deverão ser tidos em conta a instalação de: lâmpadas tipo LED classe A+ ou superior, de luminárias/projetores com lâmpadas de classe A+ ou A++, de balastos de alto rendimento, detetores de movimento nas zonas comuns, sistemas de aproveitamento de iluminação natural; e sistemas de controlo de intensidade luminosa.

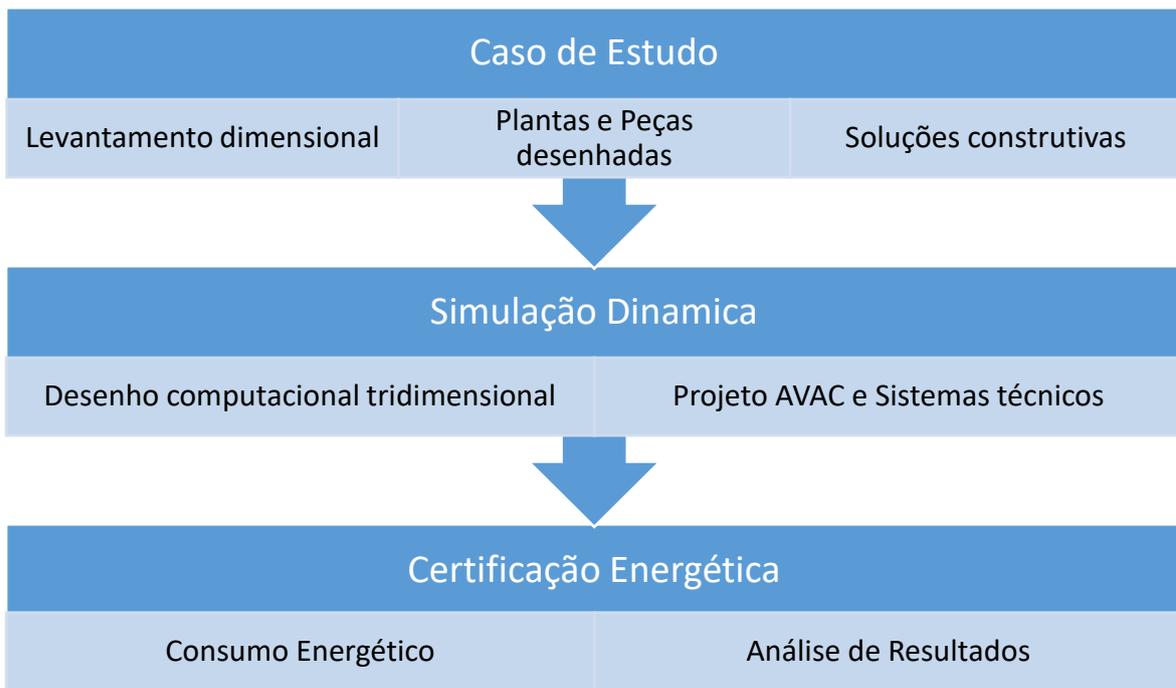
No decorrer da história civilizacional, a qualidade de vida foi melhorando e o bem-estar requerido no interior dos edifícios para os seus ocupantes deverá ser uma prioridade a assegurar durante o tempo de vida do edifício. Tal está relacionado, com o intervalo de temperaturas assegurado no interior do edifício, assim logicamente os sistemas técnicos para garantir o aquecimento, de arrefecimento e ventilação dos espaços tornaram-se responsáveis por grande parte do consumo de energia em edifícios de serviços. Assim, é premente recorrer a equipamentos de elevada eficiência como as bombas de calor. Por exemplo, as bombas de calor poderão ser inseridas em sistemas híbridos com unidades VRF/VRV onde pelo aproveitamento das suas características de funcionamento poderão através da recuperação de calor e simultaneamente fornecer aquecimento, arrefecimento, ventilação mecânica e a produção de águas quentes sanitárias ao edifício.

### 3. Metodologia

No decorrer desta dissertação foi considerado um caso de estudo de um edifício de comércio e serviços, o caso de estudo escolhido para retratar nesta dissertação enquadra-se num projeto desenvolvido na NaturalWorks durante um estágio profissional. Esta é uma empresa que se dedica à execução de estudos e projetos na área de consultoria energética com uma equipa que integra profissionais especialistas multidisciplinares. Com um amplo portefólio nas áreas de Projeto e Consultoria na área da Engenharia Mecânica e Civil, Certificação Energética, Auditoria Energética, Fiscalização de obra, Simulação Dinâmica e Energias Renováveis. No âmbito desta dissertação foi essencialmente desenvolvido um estudo de comportamento térmico, AVAC e pré-certificação energética no decorrer do projeto de musealização e refuncionalização do Quarteirão Cultural de Loulé. Como tal, a ordem de trabalhos será em primeiro lugar o conhecimento do projeto e o seu enquadramento regulamentar relativo ao seu desempenho energético.

Posteriormente elaborar uma avaliação do desempenho energético do(s) edifício(s) em estudo através de simulação energética dinâmica com recurso ao programa *EnergyPlus*. Para além do contexto e da sua envolvente é necessário obter um modelo geométrico, tal como conhecer as restantes características que definem o edifício. Nesta análise e de forma que seja possível recorrer aos recursos renováveis é necessário conhecer a área disponível de coberturas, fachadas, vãos envidraçados, ganhos internos, caracterização do uso do próprio edifício, ganhos solares e soluções construtivas.

É fulcral para este estudo a execução de uma simulação dinâmica detalhada no capítulo 4.5 desta dissertação para determinação do consumo nominal de energia com base nos perfis reais e comparação com a referência regulamentar. O *software* de simulação dinâmica de edifícios são modelos computacionais que simulam as condições e o comportamento energético de um edifício. Sendo este processo necessário para qualquer intervenção no edifício bem como para a certificação do mesmo. A simulação dinâmica através do *software EnergyPlus* permite calcular a real situação do desempenho potencial do edifício. Para caracterizar da melhor forma o caso de estudo irá ser realizada uma simulação dinâmica horária e multizona que visa traduzir o modelo geométrico define anteriormente. O seguinte esquema (Figura 3.1) representa de forma resumida os passos por ordem cronológica da metodologia definida.



**Figura 3.1: Representação da cronologia para análise do caso de estudo**

## 4. Caso de estudo

Nos seguintes subcapítulos iremos descrever o caso de estudo nesta dissertação e o âmbito da sua intervenção (4.1), no capítulos 4.2 e 4.3 iremos aprofundar a abordagem realizada no projeto de comportamento térmico, de sistemas para aquecimento, ventilação e ar condicionado (AVAC) tendo em conta o ponto inicial antes da intervenção e as soluções propostas para a sua intervenção bem como sistematizar algumas das suas melhorias de desempenho. No subcapítulo 4.4 irá ser explanada a simulação dinâmica realizada recorrendo ao programa computacional *EnergyPlus* e de desenho tridimensional *Sketch Up*.

### 4.1. Enquadramento da intervenção - Quarteirão Cultural Loulé

Os espaços abrangidos pelo projeto do Quarteirão Cultural de Loulé perfazem cerca de 4000m<sup>2</sup> e desenvolvem-se ao longo de dois núcleos principais, denominados Núcleo do Castelo e Núcleo do Convento. Apesar de ser na sua maioria uma reabilitação, o projeto contempla um volume novo em ponte, destinando-se a uma sala de exposições temporárias, e a demolição e reconstrução de uma zona especialmente degradada do núcleo do Castelo. A intervenção a realizar tem como objetivo a adaptação às instalações de um Quarteirão Cultural, reestruturando a sua organização funcional, qualificando o espaço com mais sofisticação, comodidade e qualidade.

A intervenção a realizar neste caso de estudo pretende reabilitar os espaços e tornar o mesmo num edifício mais sustentável. Com o objetivo de melhorar a qualidade de usufruto não somente na vertente da poupança energética, mas também conferindo aos seus ocupantes uma otimização do conforto térmico, qualidade do ar interior, isolamento acústico e soluções adequadas de iluminação para os diferentes contextos de cada espaço.

Este conceito de Quarteirão Cultural abrange as Muralhas e Torres do Castelo; a Alcaidaria; a Casa do Castelo (Rua D. Paio Peres Correia, n.º 1, 1.º piso e Largo D. Pedro I n.º 11 a 15, R/C); a Casa da Rua

das Bicas Velhas (n.ºs 2-4-6); o atual depósito e serviços técnicos da Divisão de Cultura, Museu e Património e da Divisão de Economia Local, Comércio e Turismo no Largo D. Pedro I e Rua D. Paio Peres Correia; o acesso ao Museu Municipal (Rua D. Paio Peres Correia n.º 19); e, a ala Nascente do Convento Espírito Santo – 1.º piso na Rua Vice-Almirante Cândido dos Reis. A Figura 4.1 mostra a localização do edifício, a Figura 4.2 distingue os dois núcleos do conjunto e a Figura 4.3 apresenta uma vista da maquete do Quarteirão Cultural.[14]



Figura 4.1. Vista elevada da zona do Quarteirão Cultural, a partir de sul (fonte: Google Earth, 2019)

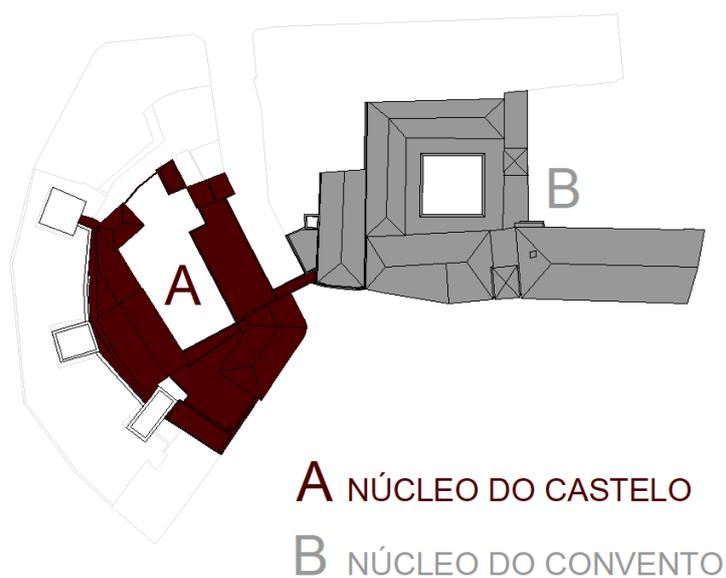
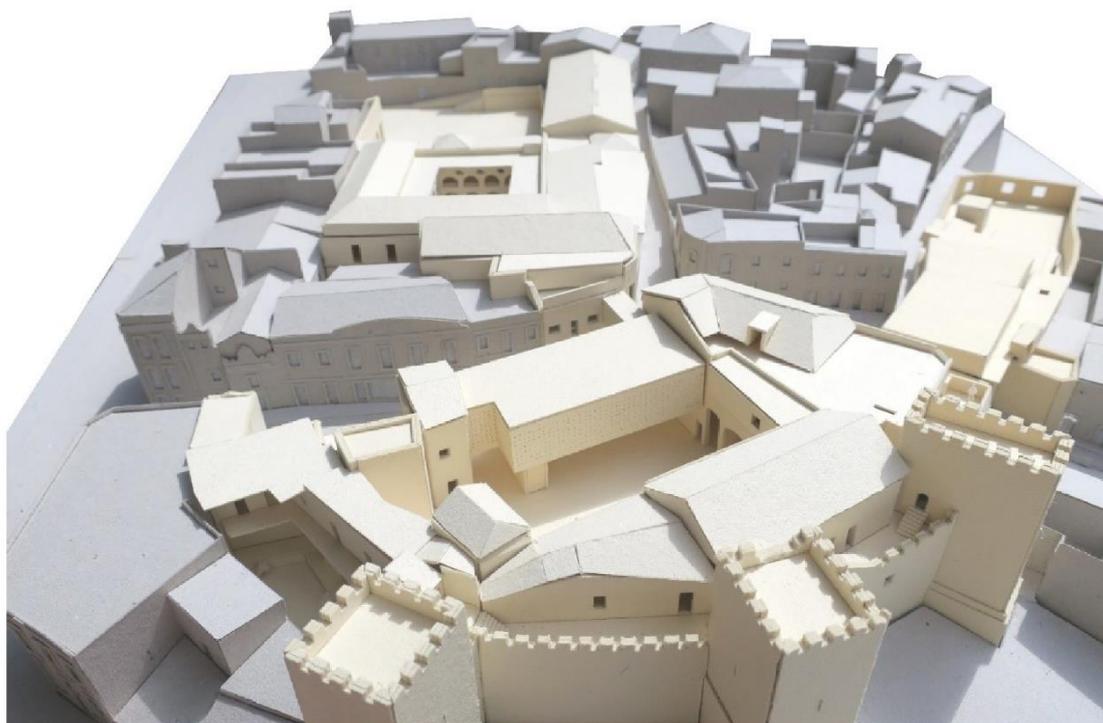
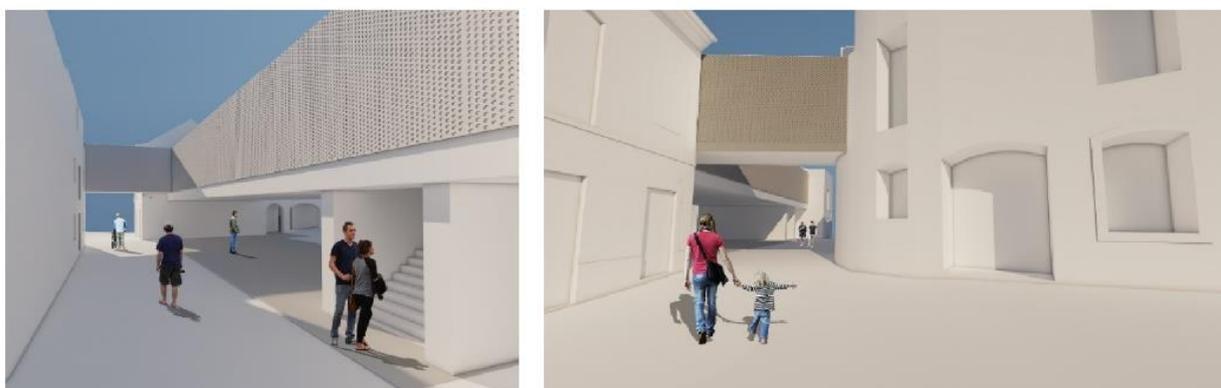


Figura 4.2. Planta geral do conjunto e identificação dos Núcleos



**Figura 4.3. Maquete com a proposta (branco) e zona envolvente (cinzento)**



**Figura 4.4. Proposta de corpo novo em ponte em delimitação da praça, com passadiço recriando as casas de passagem para ligação dos dois núcleos**

Ao nível de interiores o edifício é constituído por elementos de alvenaria e de madeira com uma grande variedade de constituições, e que serão alvo de reforço estrutural com a introdução de elementos estruturais em betão tais como lâminas, vigas, pilares e lajes, em função da localização. Os sistemas técnicos, nomeadamente os de climatização, também serão atualizados.

Os núcleos serão interligados através da construção de um novo edifício, ao nível do piso 1, que contém um passadiço sobre a Rua D. Paio Peres Correia e que permitirá também acolher exposições temporárias. As fachadas deste edifício (incluindo do passadiço) serão totalmente envidraçadas, dispendo de uma pele exterior em painel opaco com perfurações para reduzir os ganhos solares, mas permitindo a entrada de luz e ligação visual ao exterior.

Do Núcleo do Castelo fazem parte a Alcaidaria, a Casa do Castelo e a Casa da Rua da Bica Velha. Na Alcaidaria atualmente já existem espaços de exposição, que serão intervencionados. A Casa do Castelo e a Casa da Rua Bica Velha, são dois edifícios antigos e abandonados, com o alçado principal voltado

para a Rua da Bica Velha e para o Largo de D. Pedro I. Destes edifícios apenas uma loja de propriedade privada, localizada no piso 0, se encontra ocupada e permanece autónoma do Museu.

Os edifícios deste conjunto são constituídos por dois pisos e caracterizam-se por áreas de compartimentação muito reduzidas. A Casa do Castelo, em particular, encontra-se praticamente colapsada, para além de reforço estrutural, será ainda ampliado, de forma a aumentar o pé-direito do piso 1. Os edifícios que a envolvem sustentam-se num sistema de abóbadas de tijolo contraventadas e ligadas a tardo por uma abóbada de berço cujo desenho será mantido.

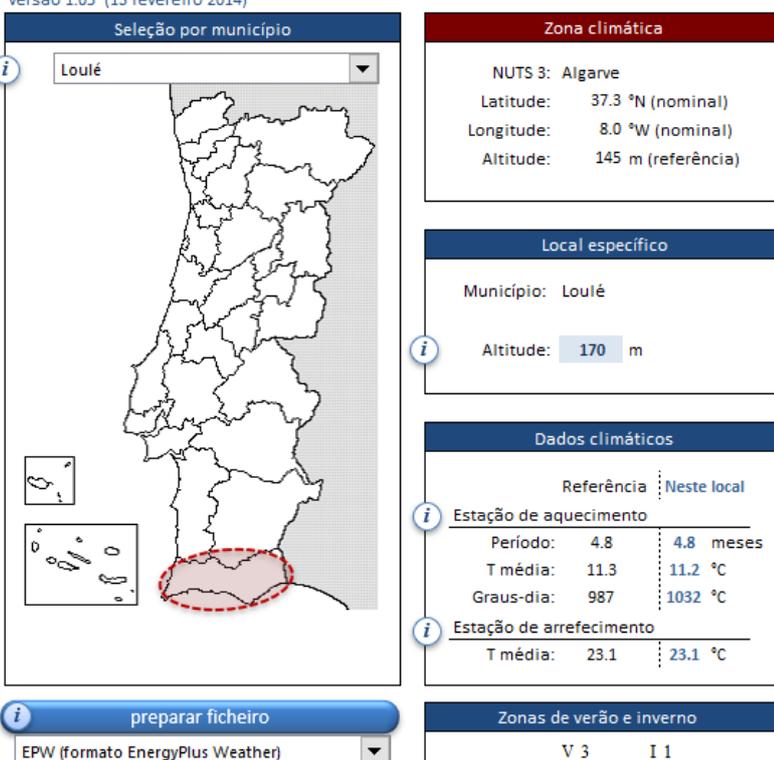
Após intervenção os três edifícios serão comunicantes e integrarão a entrada e receção aos visitantes do Museu (com entrada através do Largo de D. Pedro I) e ainda diversas salas de exposição.

Do Núcleo do Convento de Espírito Santo fazem parte o edifício do atual depósito e serviços técnicos da Divisão de Cultura, Museu e Património, e da Divisão de Economia Local, Comércio e Turismo e a ala Nascente do Convento do Espírito Santo (com entrada pela Rua Vice-Almirante Cândido dos Reis).

No primeiro piso do Convento localizar-se-ão o Centro de Documentação e os Serviços da Divisão de Cultura do Museu e Património, constituídos por salas de escritório. Neste piso será também implantado, na ala sul, um Auditório que poderá receber eventos baseados principalmente na oratória, relacionados com investigação científica ou de âmbito cultural e terá capacidade para 158 pessoas sendo também equipado com uma sala de apoio, régie e cabine de tradução.

## **4.2. Projeto de comportamento térmico**

O edifício localiza-se no concelho de Loulé, a aproximadamente 170m de altitude, e pertence ao NUTS III Algarve (Nomenclatura das Unidades Territoriais para fins estatísticos de nível III). O clima de Loulé apresenta inverno ameno e verão relativamente quente, mas regulado pela proximidade ao mar. Os dados climáticos de referência e as correções de altitude foram obtidos a partir da folha de cálculo disponibilizada pelo LNEG (CLIMAS-SCE 1\_05.xlsm):



**Seleção por município**

Loulé

**Zona climática**

NUTS 3: Algarve  
 Latitude: 37.3 °N (nominal)  
 Longitude: 8.0 °W (nominal)  
 Altitude: 145 m (referência)

**Local específico**

Município: Loulé  
 Altitude: 170 m

**Dados climáticos**

	Referência	Neste local
<b>Estação de aquecimento</b>		
Período:	4.8	4.8 meses
T média:	11.3	11.2 °C
Graus-dia:	987	1032 °C
<b>Estação de arrefecimento</b>		
T média:	23.1	23.1 °C

**Zonas de verão e inverno**

V 3 I 1

preparar ficheiro  
 EPW (formato EnergyPlus Weather)

**LNEG** Software para Políticas Públicas

Sistema Nacional de Certificação de Edifícios  
 Decreto-Lei 118/2013 de 20 agosto

Figura 4.5. Dados climáticos regulamentares para o local do edifício (LNEG, CLIMAS-SCE 1\_05.xlsm)

### 4.2.1. Caracterização dos edifícios em estudo

A proposta de intervenção procura, nas suas várias vertentes técnicas, o respeito pelo património e a compatibilização com as pré-existências. Esta intervenção corresponde maioritariamente à reabilitação de um conjunto de construções antigas. Tendo em conta o valor patrimonial do conjunto a intervencionar e no seu enquadramento urbanístico e histórico, a proposta baseia-se na intervenção pontual e integrada arquitetonicamente, muitas vezes associada a necessidades de intervenção decorrentes de outras especialidades, nomeadamente estruturais. Na situação atual, o edifício é caracterizado por vãos envidraçados de dimensões tradicionais (relativamente reduzidos) e uma elevada inércia térmica associada às espessas paredes de alvenaria de pedra, característica que importa manter pois permite reduzir a potência dos sistemas de climatização e contribui para a estabilidade das condições interiores.

No caso particular do novo volume do corpo elevado a construir (exposição temporária), incluindo o seu passadiço de acesso, a solução arquitetónica leva a desafios totalmente diferentes. Este corpo em ponte é sustentado nos seus extremos por elementos verticais de betão, sobre os quais se desenvolve uma estrutura metálica fechada por lajes colaborantes no pavimento e cobertura. Os elementos opacos verticais são reduzidos ao mínimo e determinados pela expressão da própria estrutura metálica, e as fachadas são envidraçadas em praticamente toda a sua altura. Para limitar os ganhos solares, este volume é revestido pelo exterior por uma pele de sombreamento realizada num painel com perfurações, o que permite a passagem de luz, a relação visual com o exterior, e a ventilação natural da sala através da abertura dos seus vãos envidraçados. Neste corpo novo, incluindo o passadiço, e uma vez assegurado o sombreamento térmico dos vãos, o desafio está em assegurar continuidade de isolamento térmico pelo

exterior da estrutura metálica, evitando assim os pontos singulares de condução térmica, particularmente relevantes dada a elevada condutibilidade dos materiais estruturais envolvidos, e que poderiam penalizar o comportamento térmico global deste volume. A pormenorização das soluções é particularmente sensível nesta parte do edifício e será desenvolvida no decorrer do projeto de execução, em estreita colaboração com as equipas de arquitetura e de estabilidade.

Do ponto de vista construtivo, as principais linhas orientadoras são apresentadas nas secções seguintes, onde é também feita uma caracterização das soluções propostas para os elementos construtivos mais relevantes.

Note-se que em alguns casos, como será assinalado, a proposta de intervenção em elementos pré-existentes, apesar de melhorar significativamente o isolamento térmico proporcionado pelo elemento construtivo, não permite atingir as performances exigidas para elementos intervencionados. Esta limitação decorre de constrangimentos técnicos e funcionais, e é justificada no âmbito do nº 3 do artigo 42º da Lei 52/2018 de 20 de agosto (5ª alteração ao DL 118/2013).

#### **4.2.2. Constituição e soluções construtivas dos edifícios**

O caso de estudo como acima referido trata-se de um edifício histórico como tal nesta intervenção em especial para respeitar o caráter histórico do edifício procedeu-se à recuperação das paredes portantes em alvenaria de pedra (incluindo reforço estrutural quando necessário), sempre que estas se encontrem em condições de reabilitação e sejam compatíveis com a intervenção programática (Figura 4.6).

##### **4.2.2.1. Caracterização da Envolvente Opaca**

No caso das paredes exteriores, a reabilitação inclui a remoção das argamassas de revestimento exterior, que estão em muitos casos degradadas, consolidação do suporte e aplicação de reboco térmico projetado. É essencial que material a aplicar seja compatível com as alvenarias antigas que lhe servirão de suporte, pelo que se propõe um reboco de cal com incorporação de cortiça, aplicado pelo exterior de forma a manter o acesso à inércia térmica das paredes. O perímetro exterior do edifício é constituído por elementos em alvenaria mista de pedra e cerâmicos que serão na maior parte dos casos mantidos, sendo alvo de reforço térmico e estrutural.



**Figura 4.6. Exemplo de alvenaria de pedra ordinária presente no complexo de edifícios do Quarteirão Cultural de Loulé**

As paredes existentes apresentam espessuras variáveis, entre cerca de 20cm (em peitos de vãos) até cerca de 90cm. A aplicação de reboco térmico irá promover uma significativa redução do coeficiente de transmissão térmica, no entanto a espessura de isolamento a aplicar está limitada pela presença de elementos exteriores que serão mantidos (ver Figura 4.7), tais como cantarias de vãos.



**Figura 4.7. Exemplo de elementos pétreos aparentes em fachadas, que serão recuperados**

Assim, considera-se que, após picagem e remoção das argamassas exteriores existentes, será possível aplicar uma espessura de 4cm de reboco térmico, sem comprometer a presença e destaque necessários aos elementos decorativos. A solução de reboco de cal com incorporação de cortiça proposta tem uma condutibilidade térmica de 0.045 W/m.°C, e a sua aplicação sobre os suportes existentes permitirá uma redução significativa do coeficiente de transmissão térmica. Apresentam-se de seguida os valores de U estimados para várias espessuras de alvenaria representativas encontradas no projeto, calculados com base em características publicadas para alvenarias de características semelhantes, e nas características do reboco térmico projetado proposto:

**Tabela 4.1 – Caracterização das alvenarias de pedra existentes, situação anterior e após a intervenção proposta**

Coeficiente de transmissão térmica superficial - U (W/m <sup>2</sup> .K)		
	Anterior	Após aplicação proposta de 4cm de reboco térmico ( $\lambda = 0.045$ W/m.°C)
Paredes de alvenaria de pedra existente, com espessura de 20cm: representativa das paredes de peito de vão de espessura reduzida, presente em alguns espaços	3.70	0.86
Paredes de alvenaria de pedra existente, com espessura de 50cm: representativa de algumas alvenarias de construções de piso térreo e/ou com menor expressão	2.44	0.77

Paredes de alvenaria de pedra existente, com espessura de 70cm: representativa das alvenarias do 1º andar	2.00	0.72
Paredes de alvenaria de pedra existente, com espessura de 90cm: representativa das alvenarias do piso térreo nos edifícios com 2 pisos	1.67	0.67

Tal como, indicado na Tabela 4.1 existem paredes de alvenaria de pedra de diferentes espessuras como por exemplo: de 70cm e 90 cm que representam, respetivamente, a alvenaria típica do 1º andar e do piso térreo, nas partes dos edifícios com dois ou mais pisos, que atualmente têm um valor de U de 2.0 e 1.67 que após intervenção e passarão a valores de 0.72 e 0.67 (W/m<sup>2</sup>.K) respetivamente. Como é natural numa reabilitação que parte de construções antigas e de épocas e técnicas variáveis, as espessuras registadas nos levantamentos são indicativas (e estas próprias indicam por vezes variação de espessura ao longo da mesma parede). Acresce que, após intervenção com aplicação de reboco térmico, a variabilidade relativa de desempenho térmico final, resultante da diferença de espessura da parede base, é reduzida. Assim, para as paredes existente sujeitas a intervenção considera-se somente as soluções PE1 e PE2. A PE 1 representa a parede exterior de alvenaria de pedra existente presente no Castelo e Convento e a PE 2 é representativa das paredes de peito de vão em ambos os núcleos. Estas soluções são representativas de uma forma conservativa das paredes em alvenaria de pedra existentes com espessura igual ou superior a 50 cm (PE1), e espessura de 20 cm no caso das paredes de peito de vão (PE2), após a intervenção proposta.

Os valores apresentados acima na Tabela 4.1 indicam uma significativa melhoria do isolamento térmico destas paredes com a aplicação do reboco térmico proposto, representado pela redução do valor de U, apesar de a limitação de espessura de isolamento térmico que é viável aplicar não permitir cumprir o requisito legal de 0.7 W/m<sup>2</sup>.°C por limitações construtivas para paredes intervencionadas. A opção de intervenção é assim justificada no âmbito do nº 3 do artigo 42º da Lei 52/2018.

As paredes exteriores novas estarão previstas nos núcleos do Castelo e Convento e podem ser sintetizadas em paredes simples e duplas em alvenaria de tijolo e estrutura de betão, criadas em continuidade com alvenarias de pedra existentes, e ainda nas paredes novas leves que constituem o novo volume suspenso a criar sobre a praça e a “ponte” que o une ao núcleo do Convento. As paredes pesadas novas permitirão, nomeadamente, reconstruir os troços mais degradados, como por exemplo um troço do edifício localizado na R. das Bicas Velhas, que se encontra muito danificado e sofrerá uma reformulação profunda, bem como a parte do Convento destinada às instalações dos funcionários. As seguintes soluções propostas permitem cumprir os requisitos para a construção de paredes novas ( $U \leq 0.7 \text{ W/m}^2.\text{°C}$ ). As características destas paredes estão definidas na Tabela A.1 a PE 3 é a parede exterior nova no núcleo do Convento na nova sala de pausa dos funcionários, Instalações sanitárias.

A PE 4 está presente no piso 0 do Castelo no posto de gestão técnica orientada a sul e no piso 0 do Convento na parede virada a Sudoeste dos Arrumos da cafetaria. A PE 5 encontra-se no núcleo do Castelo numa área de exposição do primeiro piso, orientada a norte e oeste. A PE 6 está localizada no Castelo numa zona de exposição temporária orientada a sul. A PE 7 pertence ao núcleo do Castelo localiza-se nas salas de exposição e zona técnica do piso 1 orientadas a sudoeste, sul e oeste. A PE 8 é uma parede exterior nova no Castelo piso 1 da zona de circulação orientada para o interior do pátio do Castelo (nordeste). A PE 9 está inserida no núcleo do Castelo na instalação sanitária do piso -1 e 0 com orientação a Sul. A PE 10 representa a solução construtiva da Parede exterior do novo corpo suspenso.

A Parede exterior núcleo Castelo junto à Muralha orientada a Oeste e Noroeste é caracterizada pela solução PE1. A PE1 representa a parede Enterrada nova situada no piso -1 do Castelo.

No âmbito da proposta das soluções construtivas para as coberturas foram tidas em conta as suas diferentes configurações: Coberturas exteriores inclinadas (CBE 2), coberturas planas (CBE 1, CBE 3, CBE 4, CBE 5, CBE 6 e CBE 7) e coberturas interiores (CBI 1 e CBI 2). Seguem-se abaixo as descrições das soluções propostas presentes na Tabela A.1. A solução CBE 1 representa a cobertura exterior plana no núcleo do Convento da Sala de pausa dos funcionários. A CBE 2 é a cobertura inclinada exterior do Auditório no núcleo do Convento. A CBE 3 está presente no núcleo do Castelo situada acima da zona do Economato. A solução CBE 4 é uma cobertura exterior plana no núcleo do Castelo com teto falso. A CBE 5 é uma cobertura exterior plana no núcleo do Castelo. No corpo novo de interligação dos dois núcleos está presente a CBE 6 e CBE 7. As coberturas interiores são representadas pelas soluções construtivas CBI 1, cobertura interior em caixotão nos núcleos do Castelo e do Convento e pela CBI 2 que forma a cobertura interior em desvão nos núcleos do Castelo e do Convento.

Relativamente à constituição dos pavimentos exteriores são consideradas as nomenclaturas PVE 1, PVE 2 e PVE 3 que estão presentes na Tabela A.1. O PVE 1 é o Pavimento exterior que delimita a zona das instalações sanitárias do piso 1 do Convento. O PVE 2 representa o pavimento exterior que delimita a zona do átrio do auditório e centro de documentação do acesso exterior ao claustro do convento. A solução PVE 3 refere-se ao pavimento exterior corpo suspenso Castelo, esta solução cobre a instalação da tubagem para aplicado de pavimento radiante. Note-se que a face inferior deste volume será revestida com uma composição que incluirá materiais isolantes térmicos, mas cuja principal função é de absorção acústica, para aumentar o conforto acústico da praça e da zona sob o edifício em ponte, que poderá ser utilizada para eventos exteriores. A solução para esta superfície fonoabsorvente permite uma exposição exterior adequada e com bom desempenho numa eventual situação de reação ao fogo.

#### **4.2.2.2. Vãos envidraçados**

Os vãos envidraçados exteriores serão substituídos de forma a uniformizar a estética e melhorar o seu desempenho térmico e acústico, prevendo-se caixilharia de madeira e vidros duplos de baixa emissividade, em alguns casos com sombreamentos interiores em portadas. As coberturas serão refeitas, sendo que em alguns casos os desvãos serão aproveitados como espaços técnicos, permitindo a ocultação de equipamentos de grande porte. O corpo novo em ponte (incluindo o passadiço), terá soluções construtivas novas e adequadas à sua linguagem contemporânea.

Propõe-se duas soluções principais para os vãos envidraçados. Nos edifícios a reabilitar, propõe-se maioritariamente caixilharias em madeira, com vidros duplos de baixa emissividade e, na maior parte dos casos, de controlo solar, com  $U_w$  da ordem de  $2.6 \text{ W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$ . Nos volumes a construir e em algumas zonas dos edifícios a reabilitar, a caixilharia será metálica, também com vidros duplos de baixa emissividade e controlo solar, com  $U_w$  não superior a  $3.6 \text{ W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$ . Em ambos os casos, as soluções propostas permitem cumprir o requisito de coeficiente de transmissão térmica para edifícios de comércio e serviços ( $U$  não superior a  $4.3 \text{ W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$ ).

Como referido, para um grande edifício de comércio e serviços, os requisitos legais aplicáveis ao fator solar dependem não só da zona climática, mas também da fração de área de vão envidraçado por orientação. Assim, importa quantificar a fração de área de fachada que é comporta por vão envidraçado, em cada orientação (pontos cardeais e colaterais), apresentando-se essa contabilização na tabela seguinte:

**Tabela 4.2 – Total de área envidraçada por orientação (Aenv) e de área de envolvente vertical exterior do edifício por orientação (Aene), e rácio Aenv/Aene**

	Aenv [m2]	Aene [m2]	Aenv/Aene
N	34.16	79.73	43%
NE	79.27	442.64	18%
E	25.64	255.77	10%
SE	112.8	436.12	26%
S	43.25	256.85	17%
SW	101	673.22	15%
W	23.05	217.98	11%
NW	119.19	503.83	26%

Tendo em conta os resultados apresentados acima na Tabela 4.2, o limite máximo para fator solar corrigido é 0.50 (não sendo afetado pela penalização para grandes áreas de envidraçado).

O tipo de capa de baixa emissividade foi considerado em função dos ganhos solares expectáveis, sendo que nas situações em que os ganhos solares são elevados deverão ser aplicados vidros de baixa emissividade e controlo solar com  $g_{vi}$  não superior a 0.40, e nos restantes casos vidros de baixa emissividade com  $g_{vi}$  da ordem de 0.60, desde que se assegure que o fator solar corrigido para o vão (ou seja, considerando as obstruções e os dispositivos fixos ou móveis) é não superior a 0.50. Em todos os casos, o vidro deve ter um aspeto neutro, baixa reflexão à luz visível, uma elevada transmissão luminosa e fidelidade de cor (quer em transmissão quer em reflexão). Em todos os espaços expositivos, ou em que sejam guardados ou trabalhados objetos sensíveis (por exemplo nos laboratórios), os vãos envidraçados deverão incluir na sua composição vidro laminado, uma vez que o butiral plástico do laminado permite bloquear quase totalmente a radiação ultravioleta.

As soluções propostas VE 1, VE 3, VE 5, VE 6, VE 7, VE 8 e VE 9 são compostas por um vão envidraçado vertical constituído por vidro duplo de baixa emissividade com fator solar não superior a 0.40. As exceções são as soluções VE 2 e VE 4 nas quais se propõe a aplicação de um vão com fator solar superior (0.60). Esta opção justifica-se, pois, localizam-se no núcleo do Convento sob a proteção das palas horizontais formadas pelo claustro do convento. Onde no caso da solução VE 4, ainda se acresce a proteção de portadas interiores de cor clara. A solução proposta VE 10 tem por sua vez um vidro mais defensivo, pois, representa os vãos horizontais que caracterizam os lanternins presentes na cobertura do Castelo e Convento. Apesar de serem poucas unidades (apenas um no Castelo e três no Convento) e a sua área global ser reduzida a sua exposição solar horizontal é muito penalizadora e como tal opta-se por vidros de baixa emissividade e forte controlo solar com  $g_{vi}$  de 0.25. As soluções previstas para os vãos envidraçados permitem cumprir as exigências regulamentares estão sistematizadas na seguinte tabela.

**Tabela 4.3: Soluções construtivas dos vãos e detalhe das suas propriedades**

Designação da solução	Descrição do vão envidraçado	Descrição da proteção	U <sub>w</sub> [W/m <sup>2</sup> .°C]	g <sup>^</sup> <sub>vi</sub>	g <sup>^</sup> <sub>T</sub>
VE 1	Vidro duplo de baixa emissividade e controlo solar com caixilharia em madeira	Sombreamento interior constituído por screen de cor clara	2.60	0.40	0.20
VE 2	Vidro duplo de baixa emissividade com caixilharia em madeira	Sem proteção	2.60	0.60	0.60
VE 3	Vidro duplo de baixa emissividade e controlo solar com caixilharia em madeira	Sem proteção	2.60	0.40	0.40
VE 4	Vidro duplo de baixa emissividade com caixilharia em madeira	Sombreamento interior constituído por portada interior de cor clara	2.40	0.60	0.28
VE 5	Vidro duplo de baixa emissividade e controlo solar com caixilharia em madeira	Sombreamento interior constituído por portada interior de cor clara	2.40	0.40	0.19
VE 6	Vidro duplo de baixa emissividade e controlo solar com caixilharia metálica com corte térmico	Sem proteção	3.00	0.40	0.40
VE 7	Vidro duplo de baixa emissividade e controlo solar com caixilharia metálica com corte térmico	Sombreamento exterior constituído por painel perfurado	3.00	0.40	0.15
VE 8	Vidro duplo de baixa emissividade e controlo solar com caixilharia em madeira	Sombreamento constituído por painel perfurado exterior móvel	2.40	0.40	0.15
VE 9	Vidro duplo de baixa emissividade e controlo solar com caixilharia em madeira	Sombreamento exterior constituído por portada	2.00	0.40	0.03
VE 10	Vidro duplo de baixa emissividade e controlo solar com caixilharia metálica com corte térmico	Sem proteção	3.00	0.25	0.25

### 4.3. Projeto de Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado

Nos últimos anos tem-se assistido a uma evolução nos níveis de exigência de qualidade de ar interior e conforto térmico. Na última década surge em Portugal o sistema de certificação energética e de qualidade de ar interior, que, entre outras inovações, torna obrigatória a renovação de ar na maioria dos espaços que compõem um edifício de serviços.

Neste cenário, a adoção de sistemas mecânicos de renovação de ar é praticamente inevitável. Neste contexto não é economicamente viável suprimir os sistemas mecânicos (climatização e ventilação) uma vez que os sistemas passivos necessários para obter os mesmos resultados durante todo o ano são muito mais caros de implementar e têm necessidades de espaço elevadas (no presente caso impossíveis de

cumprir). Uma segunda consequência da necessidade de caudais de ar elevados é a adoção de sistemas de aquecimento e arrefecimento mecânico. No passado, para edifícios corretamente projetados, era possível obter condições de conforto térmico na maioria do ano mediante a redução dos caudais de ventilação, evitando assim arrefecimento excessivo no inverno (o calor interno dos ocupantes contribui para o aquecimento) e aquecimento no verão (os edifícios tinham elevada inércia térmica). O presente projeto inclui a reabilitação e construção de edifícios de comércio e de serviços, abrangido pelo RECS.

Nos sistemas de climatização do Núcleo do Castelo, as salas de exposição temporárias e de longa duração serão servidas por sistemas de pavimento radiante com capacidade de aquecimento e arrefecimento. O pavimento radiante é uma solução de climatização que assegura o tratamento térmico homogêneo de toda a área dos espaços, sem necessidade de movimentação de massas de ar, o que se reflete num elevado nível de conforto para os ocupantes, quando comparado com outras soluções alternativas disponíveis no mercado. O pavimento radiante apresenta ainda vantagens relevantes em pisos térreos, visto que inclui isolamento térmico, impedindo perdas de calor da fração para o solo.

Como o pavimento radiante apresenta alguma limitação em modo de arrefecimento, pois a superfície do piso não pode atingir temperaturas muito baixas para que não ocorra condensação da humidade presente no ar do espaço, serão previstos ventiloconvetores a água, a dois tubos, nas zonas com maior necessidade térmica. Os ventiloconvetores serão descarregados e inseridos em mobiliário. Tanto o pavimento radiante como os ventiloconvetores serão alimentados por bombas de calor, que serão instaladas no desvão da cobertura. O bastidor do museu será servido por uma unidade do tipo split, de expansão direta, com unidade interior mural, e unidade exterior localizada na cobertura.

Para o Núcleo do Convento as soluções propostas para que a ala ocupada pelos laboratórios, no piso 0, seja climatizada com recurso a pavimento radiante hidráulico, com recurso a uma bomba de calor, instalada no desvão da cobertura. As salas de exposição temporárias, localizadas no piso 0, serão servidas por um sistema de pavimento radiante, para arrefecimento e aquecimento, com produção térmica a partir de uma bomba de calor localizada no desvão da cobertura. Os espaços de trabalho, localizados no primeiro piso, serão climatizados com recurso a unidades interiores descarregadas, com produção térmica a partir de uma unidade exterior do tipo VRV, de expansão direta. A mesma unidade exterior, do tipo VRV, será interligada a uma “hidrobox” para permuta com água, de forma que os serviços educativos e os centros de documentação, no primeiro piso, sejam climatizadas através de um sistema de pavimento radiante. Este sistema será complementado por unidades interiores descarregadas, para integração em mobiliário próprio. Tanto a unidade exterior como a “hidrobox” localizar-se-ão na zona técnica de AVAC. As salas de exposição de longa duração, localizadas no piso 1, serão servidas por um sistema de pavimento radiante, para arrefecimento e aquecimento, com produção térmica a partir de duas bombas de calor localizadas no desvão da cobertura. Associada a estes sistemas estarão unidades interiores descarregadas, para servir a fototeca, o armazém e o espaço de encadernação.

O auditório será climatizado com recurso a um sistema tudo ar, de expansão direta, sendo a climatização efetuada através de difusores de teto. A unidade exterior localizar-se-á no desvão da cobertura. A sala de pessoal, o bastidor do laboratório e a régie do auditório serão servidas por unidades do tipo split, de expansão direta, com unidade interior mural, e unidades exteriores localizadas na cobertura. Será garantida uma pré-instalação de um sistema de bomba de calor, a água, para a cafeteria.

Os sistemas de ventilação são assegurados no Núcleo do Castelo, para as salas de exposição temporárias e de longa duração serão servidas por unidades de tratamento de ar (UTA) com bateria a água (com função de aquecimento e arrefecimento), e estarão localizadas no desvão da cobertura. As condutas desenvolver-se-ão pelo teto falso das salas de exposição, com insuflação através de difusores lineares de teto. A extração de ar ocorrerá através de uma grelha a nível alto. Nas salas onde este sistema não é possível, o ar novo insuflado e extraído acontecerá através de ventiladores de insuflação e extração

independentes, junto às unidades interiores de climatização. Propõe-se a extração mecânica nas I.S. (instalações sanitárias) com recurso a ventiladores “in-line” inseridos na conduta, de baixo nível de ruído, que extraem ar viciado, para garantir a boa qualidade de ar interior (salubridade). A compensação de ar da extração das instalações sanitárias realizar-se-á por frestas de 15 mm na base da porta de acesso a estes espaços, e a exaustão ocorrerá na cobertura.

Para o Núcleo do Convento propõe-se que para os laboratórios, no piso 0, seja insuflado ar novo a nível alto, através de grelhas de conduta. A extração deste ar acontecerá através de mangas de aspiração de bancada, associadas a uma unidade de despoejamento e a um ventilador de extração. O ar novo será admitido através de uma unidade de tratamento de ar novo, localizada no desvão da cobertura. As salas de exposição temporárias, localizadas no mesmo piso, serão ventiladas com recurso a um sistema de ventilação existente. Os espaços de trabalho, localizados no primeiro piso, terão admissões de ar novo na fachada, junto às unidades interiores de climatização. No lado oposto às admissões existirá uma grelha de teto, para efetuar extração de ar viciado. As salas de exposição de longa duração, localizadas no piso 1, terão renovação de ar através de unidades de tratamento de ar com bateria a água (com função de aquecimento e arrefecimento), e estarão localizadas no desvão da cobertura. As condutas desenvolver-se-ão pelo teto falso das salas de exposição, com insuflação através de difusores lineares de teto. A extração de ar ocorrerá através de uma grelha a nível alto.

O auditório terá renovação de ar com recurso a uma unidade do tipo “roof-top”, de expansão direta, sendo tanto a ventilação como a climatização efetuada pelo mesmo sistema, através de difusores de teto. A unidade exterior localizar-se-á no desvão da cobertura.

Será garantida uma pré-instalação de uma rede de condutas para futura instalação de uma unidade de tratamento de ar com recuperação de calor para a cafeteria. Será também pré-instalada uma conduta para futura instalação de uma Hotte.

Propõe-se extração mecânica nas I.S. com recurso a ventiladores “in-line” inseridos na conduta, de baixo nível de ruído, que extraem ar viciado, para garantir a boa qualidade de ar interior (salubridade). A compensação de ar da extração das instalações sanitárias realizar-se-á por frestas de 15 mm na base da porta de acesso a estes espaços, e a exaustão ocorrerá na cobertura.

O Sistema de Gestão Técnica Centralizada de AVAC tem como principal foco as Instalações Mecânicas, embora se tenha previsto o seu aproveitamento, considera-se a implementação de funções ligadas com a generalidade das instalações especiais, nomeadamente: Instalações Elétricas, Instalações de Segurança e Elevadores. Em resumo: pretende-se a integração dos diversos sistemas, simplificando a exploração do edifício e orientando os programas de manutenção preventiva. Embora todas as ações que devam ser tomadas em caso de sinistro sejam tomadas diretamente pelas Instalações de Segurança, este sistema assegurará uma interface entre os sistemas de segurança do edifício e as Instalações Técnicas. O Sistema de Gestão Técnica será constituído por controladores básicos do tipo “DDC”, em topologia Bus, interligados entre si e computador de supervisão por intermédio de uma rede de comunicação com controlador de rede NCE. Esta rede BACnet permite que seja ligado, qualquer ponto da rede, outro equipamento independentemente da marca ou fabricante. Existirá um Posto de Supervisão que irá permitir monitorizar e comandar as instalações técnicas, e ajustar as diferentes variáveis associadas às instalações. O Posto de Supervisão será instalado na Sala de Gestão Técnica e/ou de Segurança. Ao Posto de Supervisão será ligada uma impressora a cores para impressão de alarmes e gráficos de leituras.

Foi definido no *EnergyPlus* o objeto “ZoneHVAC:IdealLoadsAirSystem” onde estabeleceu como intervalo de temperatura interior de conforto entre os 20°C a 25°C. Assim serão acionados os sistemas de climatização mecânicos de forma a manter os espaços dentro dos intervalos de temperaturas

estabelecidos. Neste objeto, foi atribuído também o respetivo o horário de funcionamento, e os caudais de ar novo.

#### 4.4. Simulação Dinâmica do caso de estudo

Neste caso de estudo recorreu-se ao programa computacional *EnergyPlus*, através do qual foram introduzidos os parâmetros que caracterizam os edifícios em estudo e análise pretendida. Ou seja, a caracterização da envolvente (como por exemplo as soluções construtivas), sistemas técnicos para auxílio na climatização, ventilação mecânica e iluminação que tendo em conta os respetivos perfis de utilização resultam nos ganhos internos dos edifícios. Assim, é possível conhecer as cargas térmicas em questão para posterior cálculo do desempenho energético e da consequente classe energética.

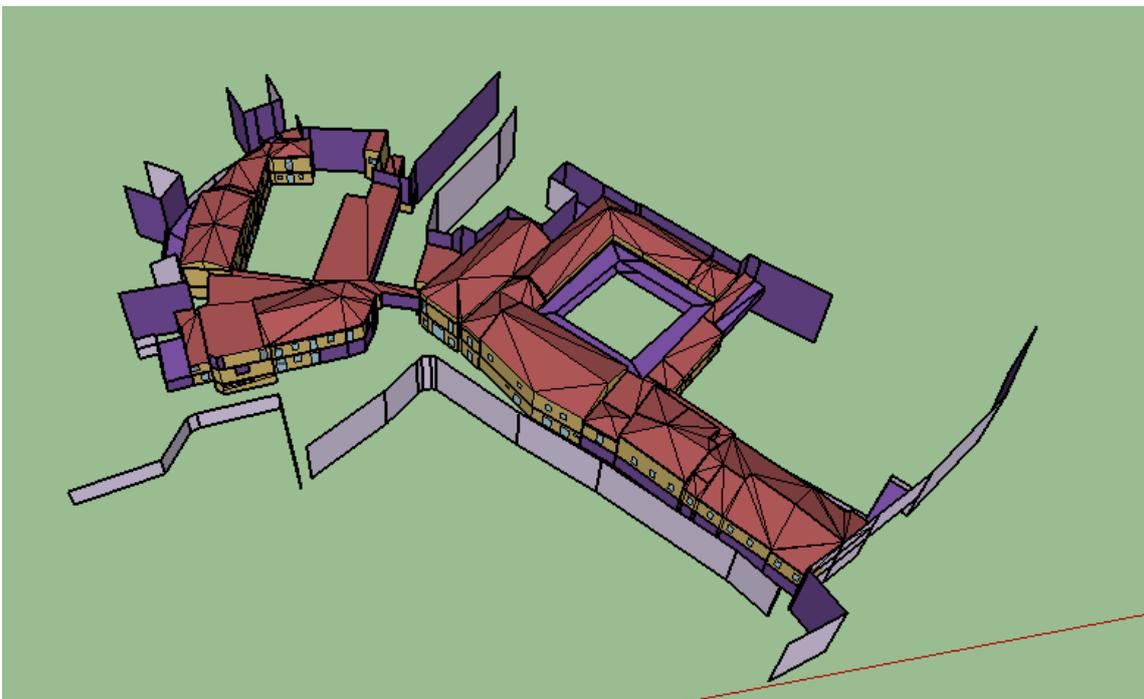


Figura 4.8: Representação tridimensional do modelo do caso de estudo (Sketch up)

##### 4.4.1. Zonamento térmico

Nesta secção estará descrito o raciocínio que definiu o zonamento térmico que foi aplicado para dividir os espaços neste caso de estudo. O zonamento térmico tem como objetivo desagregar as divisões arquitetónicas dos edifícios e agrupar em zonas térmicas. Tem como objetivo simplificar a abordagem do modelo geométrico que será incluído na simulação, para que o processo promova uma análise mais célere e eficaz. Para definir a delimitação de uma zona térmica considera-se o espaço ou aglomerado de espaços como representativo das suas características termodinâmicas. Estas características são essencialmente a orientação espacial, constituição da sua envolvente, bem como perfil de utilização dos espaços. Assim, neste projeto foram englobados na mesma zona espaços que partilhassem estas características, que influenciam o comportamento térmico das zonas. Apesar disso, existem zonas que possuem grandes áreas que foram separadas devido às diferenças de exposição solar e na aplicação de

sistemas técnicos específicos para determinada zona. Para a simulação dinâmica, foi considerado o objeto *Internal Mass* para descrever os elementos cruciais nos processos de transferência de calor. A tabela B.1 (Anexo B) descreve o zonamento térmico do caso de estudo e tem uma breve descrição sobre o tipo de espaços considerados.

#### 4.4.2. Ganhos internos

Neste subcapítulo será abordada a temática dos ganhos internos e dos fatores que os compõem. Logo, de forma que os resultados extraídos da simulação dinâmica sejam o mais próximo da situação real foram definidos os ganhos internos de acordo com o uso e especificidade do espaço. Tendo em conta que se trata de um projeto anterior à sua fase de execução foi possível ter conhecimento de alguns dados reais do funcionamento dos edifícios anteriormente à intervenção como por exemplo os horários do Museu ou dos serviços da Câmara Municipal que ocupam os escritórios no núcleo do Convento. Considerando as diferenças horárias nos dias de semana (2ª a 6ª feira) e para os dias de fim de semana e feriados como pode ser visualizado nas figuras abaixo. A zona térmica considerada para o Museu foi a ExpLDCast1A, para os Escritórios a zona CDocMezzConv1 e para a zona de restauração a CafeteriaConv0. A descrição das zonas térmicas está na tabela B.1 em anexo (Anexo B). É na tipologia Escritórios que existe uma maior diferença entre os dias de semana (Figura 4.11) e de fim de semana e feriados (Figura 4.12), pois, nesta tipologia estão sobretudo os espaços dedicados aos serviços da Câmara municipal que têm um horário laboral definido com os dias de descanso dos trabalhadores aos sábados, domingos e feriados. Na tipologia museu pode observar-se que ao fim-de-semana existe um acréscimo da ocupação (Figura 4.9 e Figura 4.10) pois a sala de exposições do museu encontra-se aberta ao público. O perfil de utilização mantém-se semelhante em ambos cenários (Figura 4.13 e Figura 4.14) Para dimensionar o número de ocupantes por espaço foi tido em consideração o regulamento técnico de segurança contra incêndio em edifícios e foi também interpretada a utilização do espaço. Por exemplo nas áreas de receção foi reduzida a sua ocupação devido a uma ocupação variável e conta apenas um funcionário mais em permanência.

Os ganhos internos considerados para efeito de cálculo são provenientes da taxa metabólica os ocupantes (80W/ ocupante), da iluminação artificial e do equipamento elétrico. A taxa de renovação de ar considerada é calculada a partir da ocupação máxima dos espaços. A eficiência de entrega dos equipamentos de difusão de ar novo é considerada igual a 80%. Os ganhos solares diretos através dos vãos envidraçados são calculados de forma “estática”. O sistema de iluminação interior do edifício composto por diferentes tecnologias com predominância do LED na generalidade dos espaços. No caso da tipologia "Restaurantes" a potência instalada de LED é largamente superior às restantes tecnologias. No caso das tipologias "Zona Técnica" e "Estacionamentos" predomina a tecnologia T5 e na tipologia "Cozinha" a tecnologia T5 quase equipara o LED. Ainda que se tenha considerado a não existência de sistema de controlo, a maioria dos equipamentos dispõe de "dimming" em função do ambiente decorativo que se pretende criar não tendo, portanto, uma função do ponto de vista da eficiência energética.

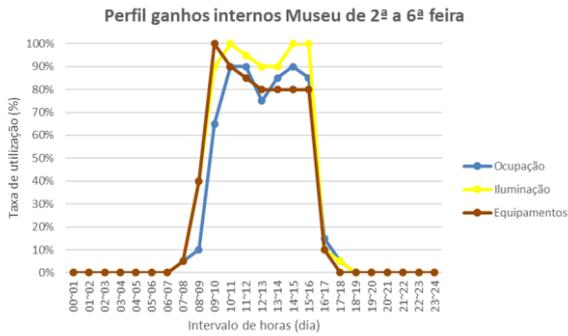


Figura 4.9: Perfil de ganhos internos na tipologia de Museu de 2ª a 6ª feira

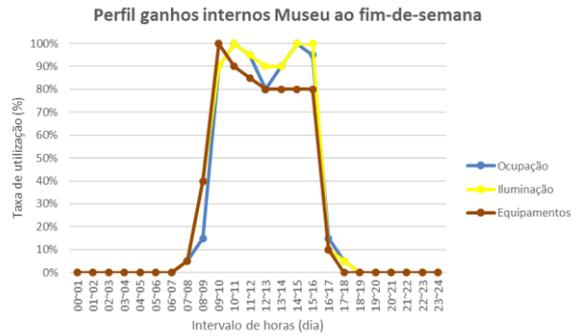


Figura 4.10: Perfil de ganhos internos na tipologia de Museu para os dias de fim-de-semana

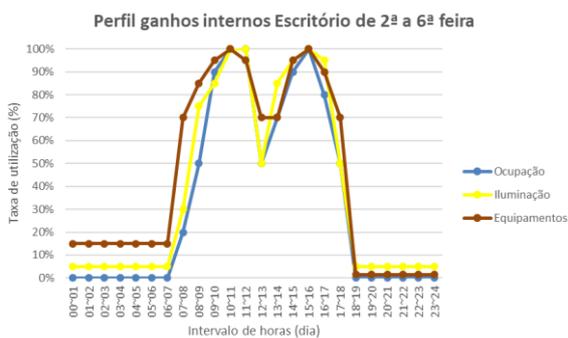


Figura 4.11: Perfil de ganhos internos na tipologia de Escritório de 2ª a 6ª feira

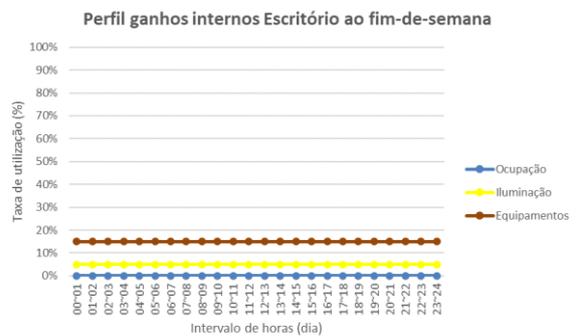


Figura 4.12: Perfil de ganhos internos na tipologia de Escritório para os dias de fim-de-semana

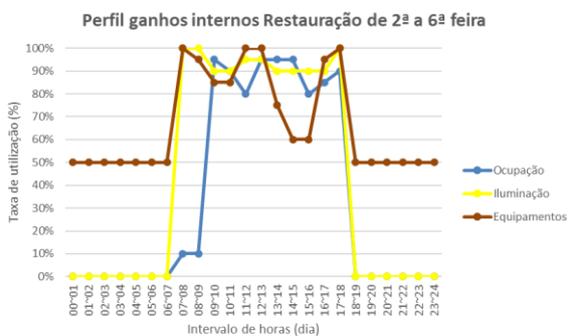


Figura 4.13: Perfil de ganhos internos na tipologia de Restauração de 2ª a 6ª feira



Figura 4.14: Perfil de ganhos internos na tipologia de Restauração para os dias de fim-de-semana

## 5. Resultados e Discussão

Nesta secção serão apresentados os resultados provenientes da simulação dinâmica. Os *outputs* do modelo por cada zona térmica que estão na origem dos seguintes subcapítulos são os parâmetros da simulação: *Environment:Site Outdoor Air Drybulb Temperature (°C/h)*, *Zone Electric Equipment Electric Power (W/h)*, *Zone Ventilation Fan Electric Energy (J/h)*, *Zone Air Temperature (°C/h)*, *Zone Ideal Loads Zone Total Heating Rate W/h* e *Zone Ideal Loads Zone Total Cooling Rate W/h*.

### 5.1. Dimensionamento de sistemas

Tendo em consideração a utilização prevista para os edifícios, e dada a composição das soluções construtivas, as necessidades de energia para climatização são máximas no período de arrefecimento. Os cálculos estáticos que se seguem apresentam as bases utilizadas para determinação da carga térmica de arrefecimento. O clima utilizado (que inclui temperatura de bolbo seco do ar exterior, humidade relativa do ar exterior, radiação solar direta e difusa, entre outras quantidades) é representativo do ano climático médio de Loulé.

As soluções construtivas modeladas nos cálculos são representativas dos materiais existentes e dos materiais a serem utilizados nos elementos arquitetónicos do edifício (paredes, cobertura, pavimento, vãos envidraçados, sombreamentos). A ocupação considerada para cada zona depende da função estipulada para a mesma. A taxa de renovação de ar considerada é calculada a partir da ocupação máxima dos espaços. A eficiência de entrega dos equipamentos de difusão de ar novo é considerada igual a 80%. Os ganhos solares diretos através dos vãos envidraçados são calculados de forma “estática”. As condições termo-higrométricas do ar utilizadas no cálculo dos equipamentos são apresentadas na primeira tabela abaixo. A temperatura e humidade exterior (Tabela 5.1) resultam da simulação térmica e representam o dia de carga térmica máxima.

**Tabela 5.1: Tabela das condições do ar interior e exterior**

	Interior	Exterior
<b>Temperatura de Bolbo Seco (°C)</b>	20-25	32
<b>Humidade Relativa (%)</b>	50	40

Os resultados de cálculo determinam as cargas térmicas por zona térmica e são apresentados em anexo na Tabela B.2. Os cálculos térmicos estáticos permitiram determinar as potências térmicas a instalar nas Unidades de Produção. Propõe-se uma potência total simultânea de kW de arrefecimento. Propõe-se sete bombas de calor com potência nominal de arrefecimento de 236 kW, quatro unidades exteriores do tipo *monosplit* de potência nominal de arrefecimento de 20 kW e uma unidade *rooftop* de 35 kW.

Estas unidades exteriores realizarão permuta térmica com o ar exterior. O projeto de AVAC incluirá toda a rede primária nomeadamente tubagem, permutadores de placas, bombas de circulação e controlo (GTC), o restante equipamento como bombagem de recirculação, será definido no projeto de Instalações Hidráulicas. Propõe-se as seguintes potências para as bombas de calor:

**Tabela 5.2: Equipamentos inseridos nos sistemas técnicos e potencia de arrefecimento e aquecimento**

Equipamento	Pot. Arrefecimento (kW)	Pot. Aquecimento (kW)
BC.GAL	18	18
BC.EXP.LD.N	65.8	67.2
BC.EXP.T.P1.1	29	30
BC.LAB	35	35
BC.EXP.LD.S.1	35	35
BC.EXP.LD.S.2	35	35
BC.ATRIO.AUDIT.1	17	17
URT.AUD.P1	35	21
UE.PES	7	4
UE.BAST.LAB	7	4
UE.BAST.AUD	5	3
UE.BAST.MUSEU	7	4

Os caudais mínimos de ar novo para os principais espaços de ocupação são os seguintes:

As Unidade de Tratamento de Ar (UTAs) foram dimensionadas de acordo com as necessidades dos espaços que estão a servir. Serão Unidades de Tratamento de Ar, com recuperação de calor e bateria de aquecimento e arrefecimento a água (dois tubos). Neste sentido propõem-se as unidades e caudais de insuflação presentes na Tabela 5.3.

**Tabela 5.3: Unidades de tratamento de ar e caudais de insuflação**

Equipamento	$Q_{total}$ (m <sup>3</sup> /h)	$Q_{ar\ novo}$ (m <sup>3</sup> /h)
UTA.B.0.14	700	600
URT.AUD.P1	5800	2800
UTA.EXP.LD.P0.3	1200	1100
UTA.EXP.T.P1.2	1900	1200
UTA.EXP.T.P1.1	2800	1100
UTA.EXP.LD.P0/P1.1	2700	1800
UTA.EXP.LD.P1.1	1100	700
UTA.EXP.LD.P1.2	1100	700
UTA.EXP.LD.P1.3	1100	700
UTAN.LAB.P0	2300	2000

Para o dimensionamento da rede aerúlica consultaram-se as velocidades de circulação do ar em condutas recomendadas pela ASHRAE para assegurar determinados níveis de ruído em espaços ocupados. A tabela seguinte apresenta os valores máximos de velocidade do ar em condutas referidos nos manuais da ASHRAE, para que sejam assegurados níveis de ruído de fundo correspondentes às diferentes curvas de RC (*room criteria method*). Para o dimensionamento de condutas considerou-se uma velocidade máxima do ar nas condutas de 5 m/s. A baixa velocidade de circulação do ar nas condutas possibilita minimizar as perdas de carga da rede de extração, o que permite seleccionar

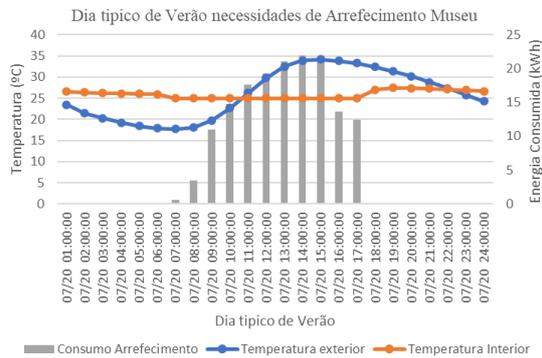
ventiladores de extração menos ruidosos.

**Tabela 5.4: Velocidade do ar para dimensionamento da rede aerúlica**

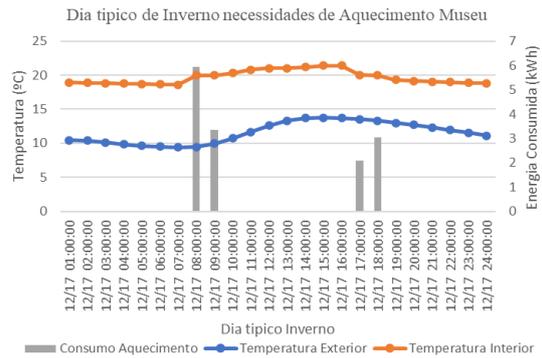
Localização da conduta	RC de projeto	Velocidade do ar (m/s)	
		Conduta retangular	Conduta circular
Sobre teto falso acústico	45	12.7	22.9
	35	8.9	15.2
	25	6.1	10.2
No espaço ocupado	45	10.2	19.8
	35	7.4	13.2
	25	4.8	8.6

## 5.2. Certificação Energética e análise dos dados da Simulação Dinâmica

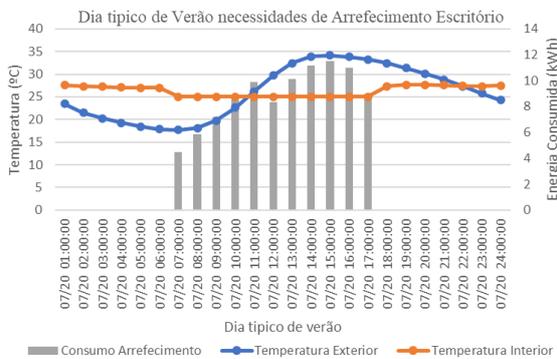
Na elaboração dos gráficos abaixo foi recorrido aos valores retirados da simulação dinâmica para um ano, relativamente à temperatura exterior, interior na zona térmica em questão e de consumo dos sistemas de climatização de aquecimento no dia típico de Inverno e de arrefecimento no dia típico de Verão. Os dias típicos foram encontrados analisando as temperaturas exteriores no local para os meses de dezembro e janeiro (Inverno e Verão) e julho e agosto para os meses de Verão. Assim, resultaram os dias típicos 17/12 (Inverno) e 20/07 (Verão). É possível constatar que nos dias típicos de Verão (Figura 5.1, Figura 5.3, Figura 5.5) devido ao aumento da temperatura exterior em relação à interior, os sistemas mecânicos de climatização têm de entrar em funcionamento de modo a manter a temperatura dentro da gama de conforto nas várias tipologias consideradas nos gráficos abaixo. É na tipologia Museu que se observam os maiores consumos energéticos pelos sistemas o que se pode relacionar com os maiores ganhos internos observa-se pela Figura 5.1 o maior consumo relativamente às outras tipologias. Por outro lado, devido ao clima onde se insere o edifício nos dias típicos de inverno em todas as tipologias o gasto necessário com o aquecimento é menor (Figura 5.2, Figura 5.4, Figura 5.6). Nesta zona climática a diferença de temperaturas entre a exterior e interior é bastante mais suave em comparação a outros locais com Inverno mais rigoroso. Na Figura 5.2, é possível constatar a influência dos ganhos internos na necessidade de aquecimento, pois no decorrer do período de funcionamento dos espaços as necessidades praticamente nulas, como se verificam nos Escritórios (Figura 5.4). Na zona da cafetaria também é possível observar esta relação, com uma conseqüente diminuição das necessidades energéticas ao longo do período de funcionamento.



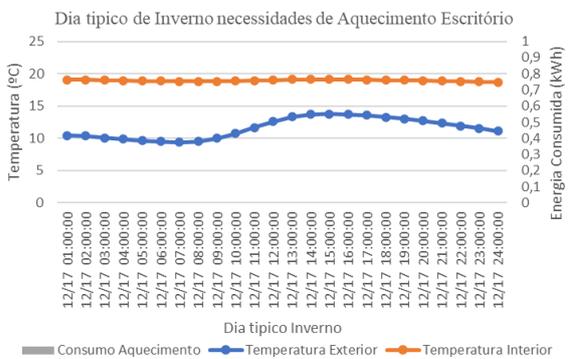
**Figura 5.1: Necessidades de arrefecimento para o Museu num dia típico de Verão**



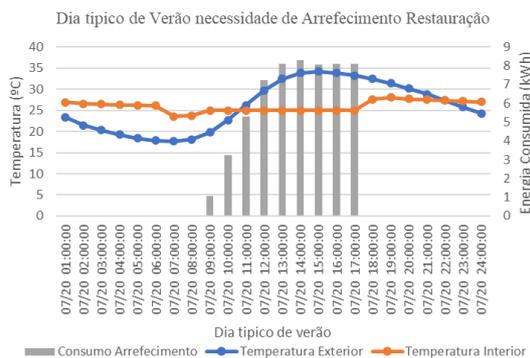
**Figura 5.2: Necessidades de aquecimento para o Museu num dia típico de Inverno**



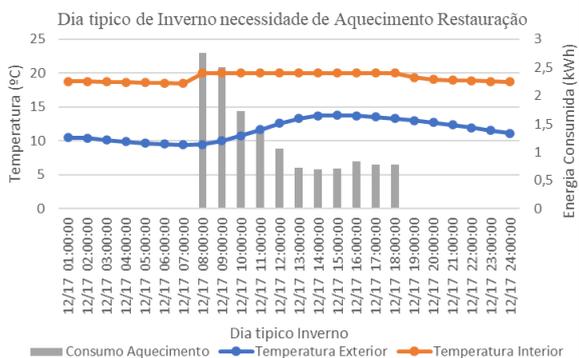
**Figura 5.3: Necessidades de arrefecimento para o Escritório num dia típico de Verão**



**Figura 5.4: Necessidades de aquecimento para o Escritório num dia típico de Inverno**

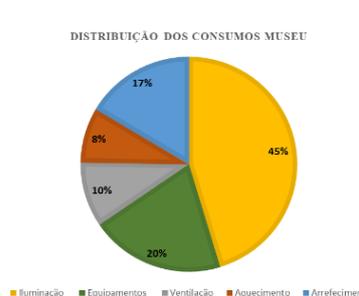


**Figura 5.5: Necessidades de arrefecimento para a Restauração num dia típico de Verão**

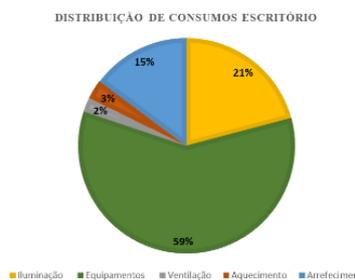


**Figura 5.6: Necessidades de aquecimento para a Restauração num dia típico de Inverno**

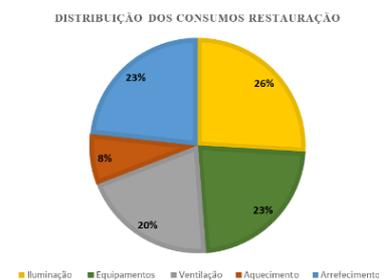
Nos gráficos abaixo é possível observar a distribuição dos consumos por tipologia e total. Consta-se o grande peso da energia consumida pela iluminação. É na tipologia Museu que a iluminação tem maior preponderância (45%), ao contrário da tipologia escritório onde os equipamentos se sobrepõem. Na tipologia museu existem zonas onde a iluminação está em permanência devido a ser uma zona de exposição. Contudo não são zonas que exijam um controlo demasiado rigoroso com as condições do ar para a proteção de peças de arte. Na zona de restauração existe uma equidade na distribuição visto ter equipamentos associados de maior consumo do que o museu e também na sua orientação. Para os sistemas de aquecimento um COP (coeficiente de desempenho) de 3,3 e EER (rácio de eficiência energética) de 3.1 que representam a eficiência de aquecimento e arrefecimento dos sistemas de climatização. Desta forma, fornecem o rácio de aquecimento e arrefecimento dado por uma unidade relativamente à quantidade de eletricidade contabilizada na simulação de um ano de geração.



**Figura 5.7: Distribuição dos consumos energéticos nas zonas térmicas do museu**

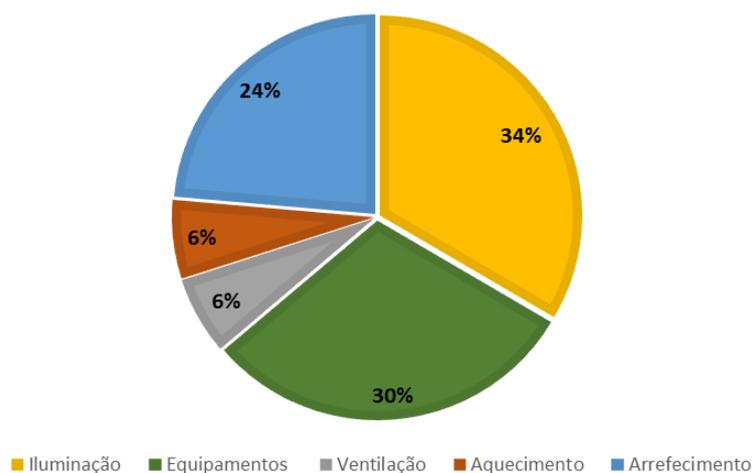


**Figura 5.8: Distribuição dos consumos energéticos nas zonas térmicas do escritório**



**Figura 5.9: Distribuição dos consumos energéticos nas zonas térmicas da restauração**

**DISTRIBUIÇÃO DOS CONSUMOS TOTAIS QUARTEIRÃO CULTURAL DE LOULÉ**



**Figura 5.10: Distribuição dos consumos energéticos totais**

A tabela Figura 5.11, resume os consumos do modelo previsto em relação ao edifício de referência, tal como a atribuição da classe energética de acordo com a tabela do rácio de classes energética (Tabela 2.1). A somente 0,6 valores de tornar-se de classe A. Os consumos no modelo de referencia são

superiores ao previsto tanto nos consumos  $IEE_s$  que são relativos ao aquecimento e arrefecimento ambiente, tratamento de ar, ventilação e bombagem em sistemas de climatização, iluminação interior, elevadores e iluminação exterior<sup>(4)</sup>. Os consumos  $IEE_T$  referem-se à ventilação e bombagem não associada ao controlo de carga térmica, equipamentos de frio, iluminação dedicada e de utilização pontual.

[kWhEP/m2/ano]	Previsto	Referencia
<b>IEE_S</b>	145	146
<b>IEE_T</b>	61	62
<b>IEE_Ren</b>	59	-
<b>IEE</b>	148	208
<b>RIEE</b>	0,59	
<b>Classe</b>	B	

Figura 5.11: Indicadores de atribuição da classe energética

## 6. Conclusões e Desenvolvimentos Futuros

No atual contexto em que vivemos enfrentam-se vários desafios que foram abordados em capítulos anteriores como a questão das alterações climáticas, transição energética, aumento de preços da energia ou a crescente poluição do ar especialmente em zonas urbanas de maior densidade populacional. O *status quo* torna uma incógnita até a capacidade de os Estados-membros respeitarem as diretivas europeias para o cumprimento das metas Europeias num futuro próximo. Mesmo com o cumprimento e uma transposição das diretivas europeias adequada a cada Estado-membro o aumento da temperatura média será uma realidade que as atuais populações terão de lidar. Visto que passamos uma grande parte do nosso quotidiano em edifícios terá de haver um especial foco em torná-los o mais sustentáveis possível.

No caso de estudo desta dissertação foi projetada uma intervenção de reabilitação de dois edifícios históricos que foram unidos para reabilitar e refuncionalizar os seus espaços para servir os interesses do município nas áreas dos serviços e cultural. Para a convivência dos seus ocupantes ser o mais harmoniosa possível é necessário garantir o conforto térmico no seu interior. As medidas de melhoria propostas que estão descritas nos sub-capítulos do capítulo 4 desta dissertação. As medidas construtivas na envolvente opaca passam pela aplicação de isolamento térmico e de vários casos da incorporação de novos materiais na envolvente respeitando os requisitos da fachada histórica do edifício, manutenção da inércia térmica e controlo de ganhos solares através da substituição dos vãos envidraçados (caixilharia e vidros com maior eficiência e proteções solares adequadas à sua localização). Com o intuito de promover o desempenho energético passivo dos espaços. Em algumas situações, a intervenção proposta não permite alcançar o nível de desempenho mínimo legal para soluções intervencionadas, estando este não cumprimento enquadrado no âmbito do nº 3 do artigo 42º do DL 118/2013 na sua redação mais recente. Foram também implementados sistemas de climatização e ventilação mais eficientes. Neste ponto o conhecimento dos perfis de ocupação dos espaços é fundamental para uma previsão coerente dos consumos dos espaços. Como oportunidade de melhoria futura seria proposto uma aplicação de sistemas de geração de energia através de fontes renováveis. Nomeadamente a incorporação nas suas coberturas de sistemas de energia solar térmica, fotovoltaica e de armazenamento de energia seria fundamental para aproximar o edifício das definições de edifício com necessidades nulas ou quase nulas de energia. Podemos concluir que os consumos destinados à Iluminação representam a maior parcela como se pode observar na (Figura 5.10). De salientar também os gastos com os equipamentos com especial ênfase para os escritórios, tipologia que inclui zonas como o laboratório e serviços administrativos, mas com menor expressão nas restantes tipologias. Os consumos energéticos associados ao arrefecimento dos espaços são explicados também pela sua zona climática (V3, I1) como se pode consultar na figura (Figura 4.5). Em desenvolvimentos futuros seria pertinente realizar-se estudo económico para a aplicação de sistemas de ventilação natural, armazenamento de energia e iluminação natural de modo a realizar um melhor aproveitamento. Para além de uma melhoria e atualização do modelo de simulação. Estudar como o aumento do recurso a fontes de energia renovável como o solar ou possivelmente geotérmico poderiam implicar até na fatura energética do edifício.

Por último, uma melhor adaptação dos conceitos edifício com balanço de energia nulo e quase nulo com especial foco nos países do sul da Europa. As definições representam um carácter subjetivo em alguns parâmetros gerando diferenças de fundo na sua aplicação para os estados-membros da União Europeia. Seria desejável uma contínua melhoria da legislação até na promoção da reabilitação dos edifícios já existentes de forma a acelerar a aproximação aos parâmetros da nova construção. Tal como referido

anteriormente, a taxa a que os edifícios existentes são renovados é de aproximadamente 1%. Deste reduzido valor as intervenções nos edifícios são quase na totalidade em medidas de melhoria dos sistemas técnicos de climatização e ventilação. Atualmente, as soluções de energia renovável como o solar fotovoltaico e térmico tem tendência a aumentar, mas ainda a uma taxa reduzida para o pretendido e de forma assimétrica na sociedade. O impacto de tais medidas de eficiência energética, para além do seu contributo no combate contra as alterações climáticas, irá beneficiar os cidadãos e instituições pela diminuição com os custos energéticos. Por exemplo, contabilizando também na construção nova os impactos nefastos associados à construção e prospeção de materiais usados na construção civil. Adaptando também de forma mais coerente os valores de referência por exemplo para as paredes já existentes. O parque edificado atualmente em uso nos próximos anos, anos esses que marcam a rota em direção à neutralidade carbónica. Seria de salutar uma promoção da sensibilização das populações bem como incentivos económicos burocráticos para quem constrói e reabilita os edifícios como para os clientes. Assim, iria promover a conservação e melhoria da sustentabilidade do parque edificado.

## 7. Referências Bibliográficas

- 
- [1]- REN, Rede de Energia Nacional, Comunicação produção renovável, [https://www.ren.pt/pt-PT/media/comunicados/detalhe/producao\\_renovavel\\_abastece\\_59\\_do\\_consumo\\_de\\_energia\\_eletrica\\_em\\_2021](https://www.ren.pt/pt-PT/media/comunicados/detalhe/producao_renovavel_abastece_59_do_consumo_de_energia_eletrica_em_2021)
- [2]- Energia em Números, edição 2021, Direção-Geral de Energia e Geologia, <https://www.dgeg.gov.pt/pt/destaques/energia-em-numeros-edicao-2021/>
- [3] - Seán Kelly, REPORT on the implementation of the Energy Performance of Buildings Directive, European Parliament - Committee on Industry, Research and Energy, Report - A9-0321/2021, 2021, [https://www.europarl.europa.eu/doceo/document/A-9-2021-0321\\_EN.html#\\_section1](https://www.europarl.europa.eu/doceo/document/A-9-2021-0321_EN.html#_section1)
- [4] - O que são edifícios nZEB? Serão hoje uma realidade?, PassivHaus, 2019, <http://passivhaus.pt/blog-4-10-O-que-são-edif%C3%ADcios-nZEB?--Serão-hoje-uma-realidade>.
- [5]- Filipa Cardoso, BRUXELAS APRESENTA REPOWEREU: MAIS EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E MAIS RENOVÁVEIS FAZEM PARTE DA RESPOSTA EUROPEIA À DEPENDÊNCIA RUSSA, 2022, <https://edificioseenergia.pt/noticias/repowerreu-resposta-independencia-energetica0903/>
- [6]- Eficiência Energética – Edifícios, <https://www.dgeg.gov.pt/pt/areas-setoriais/energia/eficiencia-energetica/edificios/>.
- [7]- Guia SCE – Indicadores de desempenho energético (RECS), Direção-Geral de Energia e Geologia, 2020, [https://www.sce.pt/wp-content/uploads/2020/04/5.4-Guia-SCE—Indicadores-de-desempenho-RECS\\_V1-1.pdf](https://www.sce.pt/wp-content/uploads/2020/04/5.4-Guia-SCE—Indicadores-de-desempenho-RECS_V1-1.pdf).
- [8]- A.J. Marszal, P. Heiselberg, J.S. Bourrelle, E. Musall, K. Voss, I. Sartori, A. Napolitano, Zero Energy Building – A review of definitions and calculation methodologies, Energy and Buildings, Volume 43, Issue 4, 2011, Pages 971-979, ISSN 0378-7788, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2010.12.022>.
- [9] - Shanti Pless, Paul Torcellini, Net-Zero Energy Buildings: A Classification System Based on Renewable Energy Supply Options, No. NREL/TP-550-44586, National Renewable Energy Lab (NREL), Golden, CO (United States), 2010.
- [10] - Commission Recommendation (EU) 2016/1318 of 29 July 2016 on guidelines for the promotion of nearly zero-energy buildings and best practices to ensure that, by 2020, all new buildings are nearly zero-energy buildings. C/2016/4392, OJ L 208, 2.8.2016, p. 46–57, <http://data.europa.eu/eli/reco/2016/1318/oj>.
- [11] - Desempenho energético de edifícios, <https://www.dgeg.gov.pt/pt/areas-setoriais/energia/energias-renovaveis-e-sustentabilidade/desempenho-energetico-de-edificios/>.
- [12] Jarek kurnitski, Technical definition for nearly zero energy buildings, The REHVA European HVAC Journal, Volume 50, Issue 3, 2013, <https://www.rehva.eu/rehva-journal/chapter/technical-definition-for-nearly-zero-energy-buildings>.

---

[13]- European Commission, Nearly zero-energy buildings, The EU has proposed to move from the current nearly zero-energy buildings to zero-emission buildings by 2030, Nearly zero-energy buildings (europa.eu)

[14]- A.J. Marszal, P. Heiselberg, J.S. Bourrelle, E. Musall, K. Voss, I. Sartori, A. Napolitano, Zero Energy Building – A review of definitions and calculation methodologies, *Energy and Buildings*, Volume 43, Issue 4, 2011, Pages 971-979, ISSN 0378-7788, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2010.12.022>.

[15]- Alberto Hernandez Neto, Luciane Cleonice Durante, Ivan Julio Apolonio Callejas, Emeli Lalesca Aparecida da Guarda, José Vinnicius Ranieri Moreira, The challenges on operating a zero net energy building facing global warming conditions. *Building Simulation* 15, 435–451 (2022). <https://doi.org/10.1007/s12273-021-0809-4>

[16] - Francisco Manzano-Agugliaro, Francisco G. Montoya, Andrés Sabio-Ortega, Amós García-Cruz, Review of bioclimatic architecture strategies for achieving thermal comfort, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 49, 2015, Pages 736-755, ISSN 1364-0321, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.04.095>.

[17] Dnyandip K. Bhamare, Manish K. Rathod, Jyotirmay Banerjee, Passive cooling techniques for building and their applicability in different climatic zones—The state of art, *Energy and Buildings*, Volume 198, 2019, Pages 467-490, ISSN 0378-7788, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.06.023>.

[18] Helder Gonçalves, João Mariz Graça, *Conceitos bioclimáticos para os edifícios em Portugal*, DGGE/IP-3E, 2004, ISBN 972-8268-34-3.

[19] *Intervenções na envolvente opaca do edifício*, Casa Eficiente 2020, Catálogo de soluções técnicas, 2018, <https://casaeficiente2020.pt/media/1202/6a.pdf>.

[20] *Intervenções na envolvente envidraçada do edifício*, Casa Eficiente 2020, Catálogo de soluções técnicas, 2018, <https://casaeficiente2020.pt/media/1203/6b.pdf>.

[21] *Promoção da eficiência energética na iluminação*, Casa Eficiente 2020, Catálogo de soluções técnicas, 2018, <https://casaeficiente2020.pt/media/1078/6c.pdf>.

## Anexo A – Soluções construtivas aplicadas no caso de estudo

**Tabela A.1: Soluções construtivas da envolvente opaca**

Soluções Construtivas - Paredes exteriores							
Elemento	Constituição Materiais	Espessura (L) [m]	Condutibilidade térmica ( $\lambda$ ) [W/m°C]	Resistência térmica (R) [m <sup>2</sup> °C/W]	Densidade ( $\rho$ ) [kg/m <sup>3</sup> ]	Coefficiente de transmissão térmica (U) [W/m <sup>2</sup> .°C]	Cor
<b>Paredes Exteriores Existentes</b>							
PE 1	Reboco de argamassa pré-doseada, reforçada com fibras naturais, composto por cortiça, argila não expansiva, terra diatomácea e cal hidráulica	0,04	0,045	0,89	360	0,77	Clara
	Alvenaria de pedra ordinária	0,5	2,097	0,24	2246,7		
PE 2	Reboco de argamassa pré-doseada, reforçada com fibras naturais, composto por cortiça, argila não expansiva, terra diatomácea e cal hidráulica	0,04	0,045	0,89	360	0,86	Clara
	Alvenaria de pedra ordinária	0,2	2,097	0,1	2246,7		
<b>Paredes Exteriores Novas</b>							
PE 3	Reboco de argamassa pré-doseada, reforçada com fibras naturais, composto por cortiça, argila não expansiva, terra diatomácea e cal hidráulica	0,06	0,045	1,33	360	0,61	Clara
	Laje de betão maciço	0,2	2	0,1	2000		
	Caixa de ar	0,05	-	-	-		
	Alvenaria de pedra ordinária	0,11	2,097	0,05	2246,7		
PE 4	Reboco de argamassa pré-doseada, reforçada com fibras naturais, composto por cortiça, argila não expansiva, terra diatomácea e cal hidráulica	0,06	0,045	1,33	360	0,5	Clara
	Tijolo	0,2	0,385	0,52	2200		
PE 5	Reboco de argamassa pré-doseada, reforçada com fibras naturais, composto por cortiça, argila não expansiva, terra diatomácea e cal hidráulica	0,06	0,045	1,33	360	0,63	Clara
	Laje de betão maciço	0,2	2	0,1	2000		
PE 6	Reboco de argamassa pré-doseada, reforçada com fibras naturais, composto por cortiça, argila não expansiva, terra diatomácea e cal hidráulica	0,07	0,045	1,56	360	0,35	Clara
	Tijolo	0,2	0,385	0,52	2200		
	Caixa de ar	0,3	-	0,23	-		
	Tijolo	0,15	0,385	0,39	2200		
PE 7	Reboco de argamassa pré-doseada, reforçada com fibras naturais, composto por cortiça, argila não expansiva, terra diatomácea e cal hidráulica	0,06	0,045	1,33	360	0,5	Clara
	Tijolo	0,15	0,385	0,39	2200		
	Laje de betão maciço	0,2	2	0,1	2000		
PE 8	Reboco de argamassa pré-doseada, reforçada com fibras naturais, composto por cortiça, argila não expansiva, terra diatomácea e cal hidráulica	0,07	0,045	1,56	360	0,44	Clara

	Tijolo	0,2	0,385	0,52	2200		
PE 9	Reboco de argamassa pré-doseada, reforçada com fibras naturais, composto por cortiça, argila não expansiva, terra diatomácea e cal hidráulica	0,07	0,045	1,56	360	0,47	Clara
	Caixa de ar	0,07	-	-	-		
	Laje de betão maciço	0,2	2	0,1	2000		
PE 10	Painel cimentício	0,008	0,151	0,05	880	0,15	Clara
	Placas de poliestireno extrudido	0,1	0,037	2,7	1500		
	Lã de Rocha	0,14	0,04	3,5	70		
	Placa de gesso cartonado	0,015	0,25	0,06	875		
PE 11	Alvenaria de pedra ordinária	0,9	2,097	0,43	2246,7	0,37	Clara
	Caixa de ar	0,3	-	0,23	-		
	Lã de Rocha	0,07	0,04	1,75	70		
	Placa de gesso cartonado	0,013	0,25	0,05	875		
Paredes Enterrada Nova							
PEnt 1	Laje de betão maciço	0,3	2	0,15	2000	3,03	Clara
	Caixa de ar	0,07	-	-	-		
	Alvenaria de pedra ordinária	0,11	2,097	0,05	2246,7		
Coberturas Exteriores							
CBE 1	Lajetas pré-fabricadas de betão	0,05	0,08	0,63	2200	0,25	Média
	Isolamento em XPS	0,12	0,04	3	1500		
	Laje de betão maciço	0,2	2	0,1	2000		
	Placa dupla de gesso cartonado	0,0125	0,25	0,05	800		
CBE 2	Telha cerâmica portuguesa envelhecida	0,02	-	-	-	0,23	Média
	Projeção com argamassa fibrosa à base de fibras especiais e ligantes hidráulicos incombustíveis e leves	0,025	0,04	0,63	800		
	Painel sandwich em chapa de aço com núcleo polissocianurato	0,07	0,02	3,5	190,5		
CBE 3	Cantaria em vidro rijo crême	0,03	-	-	-	0,41	Média
	Isolamento em XPS	0,08	0,04	2	1500		
	Carrego das abóbadas em Alvenaria de pedra	0,6	2	0,3	2000		
	Reforço do carrego das abóbadas em betão	0,06	2	0,1	2000		
CBE 4	Lajetas pré-fabricadas de betão	0,05	0,08	0,63	2200	0,2	Média
	Isolamento em XPS	0,12	0,04	3	1500		
	Laje em betão maciço	0,2	2	0,1	2000		
	Caixa de ar	0,3	-	0,23	-		
	Placa dupla de gesso cartonado	0,013	0,25	0,05	875		
	Sistema fonoabsorvente projetado liso	0,03	0,044	0,68	283		
CBE 5	Lajetas pré-fabricadas de betão	0,05	0,08	0,63	2200	0,21	Média
	Isolamento em XPS	0,12	0,04	3	1500		
	Betão leve	0,2	0,25	0,8	1000		
	Laje mista com chapa colaborante sobre perfis metálicos	0,09	2	0,05	2000		
	Caixa de ar	0,1	-	0,15	-		
	Placa dupla de gesso cartonado	0,013	0,25	0,05	875		
	Sistema fonoabsorvente projetado liso	0,03	0,044	0,68	283		
CBE 6	Lajetas pré-fabricadas de betão	0,05	0,08	0,63	2200	0,21	Média
	Isolamento em XPS	0,12	0,04	3	1500		
	Laje de betão maciço	0,2	2	0,1	2000		
	Caixa de ar	0,1	-	0,15	-		

	Placa dupla de gesso cartonado	0,013	0,25	0,05	875		
	Sistema fonoabsorvente projetado liso	0,03	0,044	0,68	283		
CBE 7	Cobertura por chapa de cobre	0,01	-	-	-	0,19	Média
	Isolamento em XPS	0,12	0,04	3	1500		
	Camada de forma em betão	0,2	2	0,1	2000		
	Laje mista com chapa colaborante sobre perfis metálicos	0,09	2	0,05	2000		
	Lã de Rocha	0,05	0,04	1,25	70		
	Placa dupla de gesso cartonado	0,013	0,25	0,05	875		
	Sistema fonoabsorvente projetado liso	0,03	0,04	0,68	283		
<b>Coberturas Interiores</b>							
CBI 1	Lã de Rocha	0,05	0,04	1,25	70	0,44	Média
	Placa dupla de gesso cartonado	0,013	0,25	0,05	875		
	Acabamento fonoabsorvente projetado liso	0,03	0,04	0,68	283		
CBI 2	Painéis em contraplacado com revestimento laminado de resina	0,02	0,08	0,25	2200	0,19	Média
	Dupla placa de contraplacado	0,015	-	-	-		
	Caixa de ar	0,1	-	0,15	-		
	Lã de Rocha	0,05	0,04	1,25	70		
	Placa dupla de gesso cartonado	0,013	0,25	0,05	875		
	Acabamento fonoabsorvente projetado liso	0,03	0,04	0,68	283		
<b>Pavimentos Exteriores</b>							
PVE 1	Reboco de argamassa pré-doseada, reforçada com fibras naturais, composto por cortiça, argila não expansiva, terra diatomácea e cal hidráulica	0,04	0,05	0,89	360	0,92	-
	Abóboda em alvenaria de pedra ordinária	0,25	2,1	0,12	2247		
PVE 2	Sistema fonoabsorvente projetado liso	0,03	0,04	0,68	283	0,29	-
	Placa dupla de gesso cartonado	0,013	0,25	0,05	875		
	Lã de Rocha	0,08	0,04	2	70		
	Caixa de ar	0,15	-	0,15	-		
	Laje colaborante em betão	0,11	2	0,06	2000		
	Acabamento em madeira de pinho americano	0,03	0,18	0,17	750		
PVE 3	Pré-misturado fonoabsorvente e isolante acústico feito por cortiça, argila terras de datomáceas em pó e cal hidráulica natural	0,03	0,083	0,36	470	0,29	-
	Placas cimentícias de base mineral	0,03	0,15	0,2	880		
	Lã de Rocha	0,07	0,04	1,75	70		
	Laje mista com chapa colaborante sobre perfis metálicos	0,09	2	0,05	2000		
	Isolamento em XPS	0,03	0,04	0,75	1500		
	Betonilha	0,05	2	0,03	2000		

## Anexo B – Modelo da Simulação dinâmica e sistemas técnicos

Tabela B.1: Tabela zoneamento térmico e tipologia

Zona Térmica	Área Zona térmica	Zonas Reais	Área Zona Real	Tipologia
ISCastm1	48,8	Todo Piso -1 Castelo	51,09	IS
ExpTCast0A	35,9	3 Espaços ExpTemp Castelo Piso 0	36,51	MUSEU
EconomatoCastInter	32,5	Economato Castelo Piso Intermédio	36,7	ARRUMOS
ExpTCast0B	51,5	1 Espaço ExpTemp Castelo Piso 0	48,16	MUSEU
RececaoCast0	46,9	Estadia Descanso Castelo Piso 0	60,63	MUSEU
CirculacaoCast0	134,3	Circulação Escadas Castelo Piso 0 e Intermédio	101,47	CIRCULAÇÃO
ExpTAtelierCast0	179,6	4 Espaços ExpTemp e Atelier Castelo Piso 0	184,4	MUSEU
ExpLDCast1A	278,2	3 Espaços ExpLonga Duração Castelo Piso 1	271,61	MUSEU
ExpLDCast1B	121,7	2 Espaços ExpLonga Duração Castelo Piso 1	114,35	MUSEU
EscadasCast1	11,8	Escadas Acesso Castelo Piso 1	6,14	CIRCULAÇÃO
ExpLDCast1C	75,1	2 Espaços ExpLonga Duração Castelo Piso 1	75,92	MUSEU
RececaoExpTCast0	19,7	Recepção ExpTemp Castelo Piso 0	21,41	MUSEU
ISCast0	14,5	IS Castelo Piso 0	0	IS
ArrumosCast	25,7	Arrumos Castelo Piso 0 e 1	25,03	MUSEU
ExpTCast1	182,3	Novo Espaço ExpTemp Castelo Piso 1	183,25	MUSEU
PausaFuncConv0	28,6	Sala de Pausa Funcionários Convento Piso 0	25,23	ESCRITÓRIOS
ISFuncConv	57,2	Balneário/Vestiário Convento Piso 1 e 2	50,37	IS
LabsConv0	380,7	Laboratórios, Convento Piso 0	388,4	ESCRITÓRIOS
FotoEncadConv0	102,2	Fototeca, Armazém, Encadernação Convento Piso 0	100,16	ESCRITÓRIOS
GaleriaExpTConv0	199,4	Atual Galeria ExpTemp Convento Piso 0	179,82	MUSEU
CafeteriaConv0	41,8	Cafeteria Convento Piso 0	43,45	PASTELARIA
ExpLDConv1	368,4	Exposição Longa Duração Convento Piso 1	380,64	MUSEU
ApoioConv1	42,3	Apoio ao Auditório, Corredor junto a ExpLDConv1 Convento Piso 1	30,37	CIRCULAÇÃO
AuditorioConv1	203,9	Auditório, Palco, Reggie, Cabine de Tradução Convento Piso 1	208,31	MUSEU
AtrioAuditorioConv1	64,5	Atrio do Auditório, Ante-câmara do Elevador Convento Piso 1	70,84	MUSEU
DivCultConv1	38,2	Div Cult Museu e Património, Serviços Educativos Convento Piso 1	37,89	ESCRITÓRIOS
ISConv1A	47,3	IS, Economato Manutenção Convento Piso 1	47,42	IS
CDocMezzConv1	192	Centro de Documentação Convento Piso 1 (Mezzanine)	187,71	ESCRITÓRIOS
SalaReunioesConv1	26,3	Div Cult Museu e Património Sala Reuniões Piso 2	26,99	ESCRITÓRIOS
ISConv1B	13,3	IS Convento Piso 1	12,61	IS
DivCultPatConv1A	97	Div Cult Museu e Património Convento Piso 1 SW	101,8	ESCRITÓRIOS
DivCultPatConv1B	125,2	Div Cult Museu e Património Convento Piso 1 NE	138,8	ESCRITÓRIOS

**Tabela B.2: Descrição das cargas de aquecimento, arrefecimento e caudais mínimos**

Zona Térmica	Carga de aquecimento [kW]	Carga de arrefecimento [kW]	Caudal mínimo (m <sup>3</sup> /h)
ExpTCast0A	10.1	2.7	230
<i>EconomatoCastInter</i>	1.1	2.3	-
ExpTCast0B	2.3	3.5	235
<i>RececaoCast0</i>	2.4	2.6	95
ExpTAtelierCast0	10.0	13.4	1030
ExpLDCast1A	12.7	21.5	1140
ExpLDCast1B	7.9	11.8	690
ExpLDCast1C	5.8	5.6	450
ArrumosCast	2.0	0.6	-
ExpTCast1	15.1	22.6	1015
PausaFuncConv0	1.9	10.1	155
LabsConv0	18.9	26.7	1900
FotoEncadConv0	4.0	5.6	260
GaleriaExpTConv0	7.5	10.7	565
CafeteriaConv0	5.0	8.1	915
ExpLDConv1	20.3	25.9	1580
ApoioConv1	1.2	2.2	90
AuditorioConv1	21.2	34.7	2800
AtrioAuditorioConv1	3.2	6.0	360
DivCultConv1	0.2	0.5	340
CDocMezzConv1	7.5	10.6	480
SalaReunioesConv1	1.5	3.3	180
DivCultPatConv1A	5.8	9.0	315
DivCultPatConv1B	8.9	11.4	315