

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



Ciências
ULisboa

**Definição de arquétipos do parque edificado na região Oeste:
contributo para a renovação NZEB**

Carlos Frederico da Silva Churro

Mestrado em Engenharia da Energia e Ambiente

Dissertação orientada por:
Marta João Nunes Oliveira Panão

Resumo

Este estudo apresenta um novo método para caracterização dos edifícios residenciais do parque edificado português, com o objetivo de compreender os benefícios de uma renovação em larga escala segundo o conceito de edifícios com necessidades quase nulas de energia (nZEB, nearly Zero Energy Buildings).

Para tal, recorre-se aos processos de certificação energética de edifícios residenciais, no contexto do Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios Habitação (REH), de onde se extraem as informações necessárias para a definição de arquétipos que visam caracterizar energeticamente a conjuntura atual de todas as habitações na sub-região Oeste de Portugal Continental, e para encontrar a habitação real representativa de cada um desses arquétipos.

Por fim, estabelece-se a comparação entre a conjuntura atual do parque edificado português na sub-região alvo do estudo e a situação hipotética de uma renovação em larga escala segundo o conceito nZEB, nessa mesma sub-região.

Os resultados apontam para uma redução das necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento superior a 60%, da energia útil para arrefecimento superior a 20% e da energia primaria em cerca de 70%.

Os resultados indicam também que, com a renovação hipotética das habitações dos concelhos integrantes da sub-região Oeste, existe uma forte discrepância entre concelhos no potencial aumento da fração de energia renovável, onde o menor valor a apontar para um aumento na ordem dos 200%.

Os valores obtidos realçam o quão distante está o parque edificado português da legislação atual para edifícios novos e grandes renovações, e que existe um longo trabalho a realizar que contribui para alcançar os objetivos de desenvolvimento sustentável (ODS) e, conseqüentemente, contribuir para as metas de descarbonização.

Palavras-chave: certificação energética, arquétipos, nZEB, redução de energia, ODS.

Abstract

This study presents a new method to characterize the Portuguese residential buildings stock, aiming to understand the benefits of a large-scale renovation according to the Near Zero Energy Buildings (nZEB) concept.

For this purpose, we resort to the energy certification processes of residential buildings, in the context of the Regulation of Energy Performance of Residential Buildings (REH), from which we extract the necessary information for the definition of archetypes that aim to characterize energetically the current situation of all dwellings in the western sub-region of mainland Portugal, and to find the real dwelling representative of each of these archetypes.

Finally, it is established the comparison between the current situation of the Portuguese building stock in the target sub-region of the study and the hypothetical situation of a large-scale renovation according to the nZEB concept in the same sub-region.

The results indicate a reduction of the nominal annual useful energy needs for heating by over 60%, useful energy for cooling by over 20% and primary energy by around 70%.

The results also indicate that, with the hypothetical renovation of the houses in the municipalities integrating the West sub-region, there is a strong discrepancy between municipalities in the potential increase of the renewable energy fraction, where the smallest value pointing to an increase in the order of 200%.

The values obtained highlight how far the Portuguese building stock is from the current legislation for new buildings and major renovations, and that there is a long work to be done that contributes to achieve the sustainable development goals (SDGs) and, consequently, contribute to the decarbonization goals.

Keywords: energy certification, archetypes, nZEB, energy reduction, SDGs.

Índice

Resumo.....	II
Abstract	III
Índice de tabelas	V
Índice de Equações.....	VI
Introdução.....	1
1.1 Enquadramento.....	1
1.2 Objetivos	2
1.3 Organização da dissertação	2
2 Revisão bibliográfica.....	4
2.1 NZEB do surgimento à globalização.....	4
2.2 NZEB em Portugal	7
2.2.1 Qualidade térmica da envolvente de um edifício	8
2.2.2 Qualidade do ar interior do edifício.....	11
2.2.3 Sistemas técnicos.....	11
2.2.4 Energia.....	13
2.3 Estudos no âmbito da caracterização do parque edificado português	15
3 Método	18
3.1 Definição de Arquétipos.....	18
3.2 Seleção dos Casos Reais Representantes	19
3.3 Comparação da Pegada Energética	20
4 Resultados e Discussão	22
4.1 Definição de Arquétipos.....	22
4.1.1 Análise de Representatividade	22
4.1.2 Definição de Arquétipos.....	23
4.2 Seleção dos Casos Reais Representantes	24
4.3 Comparação da pegada energética	27
5 Conclusões e Trabalho Futuro.....	29
6 Referências Bibliográficas	30

Índice de tabelas

Tabela 1- Fases da globalização do conceito NZEB- adaptado de [8].	6
Tabela 2- Requisitos do SCE, retirado de [11].	8
Tabela 3- Requisitos mínimos da envolvente opaca para edifícios de habitação, em Portugal Continental e na Região Autónoma da Madeira, retirado de [27].	9
Tabela 4- Requisitos mínimos da envolvente opaca para edifícios de habitação na Região Autónoma dos Açores, retirado de [27].	9
Tabela 5- Requisitos mínimos da envolvente opaca para edifícios de comercio e serviços, em Portugal continental e nas Regiões Autónomas, retirado de [27].	10
Tabela 6- Requisitos da envolvente opaca para edifícios de habitação que configurem constrangimentos técnicos ou funcionais, em Portugal Continental e nas Regiões Autónomas, retirado de [27].	10
Tabela 7- Requisitos da envolvente envidraçada, em Portugal Continental e nas Regiões Autónomas, adaptado de [27].	10
Tabela 8 - Fatores solares máximos admissíveis de vãos envidraçados, retirado de [27].	11
Tabela 9- Requisitos mínimos da taxa de renovação horária nos edifícios de habitação, segundo a Norma EN 16798-1, retirado de [27].	11
Tabela 10- Requisitos mínimos de eficiência para sistemas técnicos de climatização com utilização de eletricidade, adaptado de [23].	12
Tabela 11- Requisitos mínimos de eficiência para sistemas técnicos de climatização com utilização de biomassa, adaptado de [23].	12
Tabela 12- Requisitos mínimos para a instalação de coletores solares térmicos, adaptado de [23].	12
Tabela 13- Requisitos mínimos de eficiência para sistemas técnicos de AQS, adaptado de [23].	13
Tabela 14- Fatores de conversão de energia final para energia primária de Portugal, retirado de [28].	14
Tabela 15- Requisitos mínimos de energia, aplicados a grandes renovações, edifícios novos e edifícios nZEB, adaptado de [22, 23, 26].	15
Tabela 16- Número de processos recolhidos e de alojamentos familiares por concelho, retirado de [35].	22
Tabela 17- Arquétipos das frações dos concelhos de Torres Vedras, Lourinhã e Bombarral, obtidos pela aplicação do método descrito na subcapítulo 3.1, e representatividades entre as habitações dos respetivos concelhos.	23
Tabela 18- Arquétipos dos edifícios dos concelhos de Torres Vedras, Lourinhã e Bombarral, obtidos pela aplicação do método descrito na subcapítulo 3.1, e representatividades entre as habitações dos respetivos concelhos.	23
Tabela 19 - Características dos casos reais representantes das frações de Torres Vedras e respetivas representatividades.	24
Tabela 20 - Características dos casos reais representantes dos edifícios de Torres Vedras e respetivas representatividades.	25
Tabela 21 - Características dos casos reais representantes das frações e dos edifícios da Lourinhã, e respetivas representatividades.	25
Tabela 22 - Características dos casos reais representantes das frações e dos edifícios do Bombarral, e respetivas representatividades.	26
Tabela 23 - Valores nominais anuais dos consumos energéticos de energia útil para aquecimento, energia útil para arrefecimento, energia primaria e fração de energia renovável; na situação atual e com a renovação em larga escala das habitações dos concelhos de Torres Vedras, Lourinhã e Bombarral; e respetiva comparação.	27

Índice de Equações

Equação 1- Cálculo do valor regularizado das necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento, retirado de [23].	13
Equação 2- Cálculo do valor regularizado das necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento, retirado de [23].	14
Equação 3-Cálculo do valor regularizado das necessidades nominais anuais de energia primaria, retirado de [23].	14
Equação 4 - Expressão da média ponderada utilizada na determinação do caso real representante dos arquétipos.	20

Introdução

1.1 Enquadramento

Nos últimos anos o número de fenómenos atmosféricos intensos tem registado um aumento em frequência e intensidade, sendo um resultado evidente da atividade do ser humano sobre todos os ecossistemas do planeta [1]. É fundamental que estes comportamentos sejam alterados de modo a amenizar eventos futuros.

A energia é o setor que tem maior impacto ambiental, com aproximadamente 36,1 mil milhões de toneladas (73,2%) de gases com efeito de estufa (GEE) emitidos atualmente para a atmosfera, onde se destacam três grandes grupos: energia em uso industrial, com 11,9 mil milhões de toneladas de emissões (24,2%); a energia dedicada aos transportes, com 8 mil milhões de toneladas de emissões (16,2%) e a energia dedicada a edifícios, com 8,64 mil milhões de toneladas (17,5%) [2]. Este trabalho foca-se no uso de energia no setor dos edifícios, que corresponde a uma parcela relevante das emissões mencionadas.

De modo a contrariar o aumento das emissões de GEE, a Organização das Nações Unidas (ONU) criou em 2015, 17 objetivos de desenvolvimento sustentável (ODS), dirigidos aos governos e às empresas de 193 países, que assentam sobre os grandes aspetos gerais da sociedade. A finalidade deste trabalho está relacionada com alguns dos ODS, nomeadamente os objetivos: *Cidades e comunidades sustentáveis* (número 11), *Produção e consumos sustentáveis* (número 12) e *Ação climática* (número 13).

Recentemente, o sector energético de diversos países tem sofrido reformulações que têm resultado numa tendência decrescente da intensidade carbónica do setor produtor [3], devido ao aumento das fontes de energia renovável. No entanto, a diminuição do consumo de energia através do aumento da eficiência energética não corresponde ao ambicionado.

Nas últimas duas décadas tem-se procurado projetar edifícios que visem a diminuição do impacto energético, através da construção de edifícios novos ou renovação de edifícios já existentes e, conseqüentemente, a redução do impacto ambiental causado por este setor. Tratam-se dos Net-Zero Energy Building (NZEB) [4] e nearly-Zero Energy Building (nZEB).

Ao longo de décadas estes conceitos foram explorados por diferentes autores com abordagens distintas. A origem da definição de NZEB remonta ao Departamento de Energia [DOE] dos EUA[5], onde se considera que um edifício NZEB é um edifício residencial ou de serviços que tenha necessidades energéticas reduzidas, devido à elevada eficiência nas características do edifício, e que o balanço energético pode ser suprido por fontes de energia renovável. O conceito de nZEB é semelhante ao dos edifícios NZEB, muito embora as exigências do balanço de energia entre o edifício e a rede de distribuição de energia sejam menores.

Em Portugal, a fração de energia utilizada nos edifícios não é tão significativa como em outros países da Europa. Isto deve-se à pobreza energética motivada por fatores económicos, culturais e técnicos, que se refletem em taxas de mortalidade elevadas, devido à ausência de conforto térmico [6,7]. O parque edificado português, devido à sua idade apresenta, em muitos casos, não só carência de estrutura para oferecer conforto aos seus residentes, como também subdesenvolvimento tecnológico que permita a instalação de sistemas modernos eficientes.

Devido a elevada variedade construtiva do parque edificado português (ex: dentro e fora dos grandes centros urbanos) e, conseqüentemente, às diferentes adaptabilidades de cada edifício às respetivas necessidades, a caracterização destes através de arquétipos ou edifícios de referência torna-se fundamental na sua representação e na modelação de medidas para reabilitação.

Como tal, é necessário o desenvolvimento de métodos rigorosos e eficientes para definir arquétipos do parque edificado português, de modo a facilitar o estudo e a compreensão dos benefícios e constrangimentos, da aplicação do conceito nZEB na renovação do mesmo, para o aumento das condições de vida da população e o contributo de Portugal para a reversão das alterações climáticas.

1.2 Objetivos

Este trabalho foca-se na caracterização do parque edificado na região Oeste de Portugal Continental.

O objetivo principal desta dissertação consiste no desenvolvimento de um método para caracterização do parque edificado português, de modo a compreender melhor os benefícios da sua renovação segundo o conceito de nZEB definido na legislação portuguesa (Decreto-Lei 101-D/2020). Para tal definiram-se os seguintes objetivos:

- Desenvolvimento de um método que permita a caracterização do parque edificado português através de arquétipos de edifícios residenciais a partir de casos de estudo de aplicação do regulamento de edifícios de habitação (REH) (Decretos-Lei 78/2006 e 118/2013);
- Desenvolvimento de um método que permita a seleção de um caso real como representante dos arquétipos definidos;
- Aplicação do método desenvolvido no cálculo da redução das necessidades de energia na aplicação de medidas de renovação do parque edificado de acordo com o conceito nZEB, comparativamente às condições atuais, tendo como caso de estudo a região Oeste de Portugal continental.

1.3 Organização da dissertação

A presente dissertação, intitulada “Definição de arquétipos do parque edificado na região Oeste: contributo para renovação nZEB ” encontra-se dividida em cinco capítulos:

1. Introdução - Capítulo onde será apresentada a contextualização do trabalho a desenvolver, os objetivos a que se propõe e onde é descrita a estruturação do documento.
2. Revisão bibliográfica - Capítulo onde é apresentado o enquadramento teórico da tese, nomeadamente, a definição e aplicação do conceito de nZEB; a aplicação do mesmo em Portugal e apresentação de estudos que desenvolvam o mesmo interesse deste trabalho.
3. Métodos – Capítulo onde será descrito o procedimento de todo o trabalho desenvolvido bem como clarificadas todas as considerações adotadas para tal.

4. Resultados e Discussão – Capítulo onde serão apresentados os resultados referentes ao trabalho realizado nesta tese e uma breve discussão dos mesmos.
5. Conclusão – Capítulo onde é feita uma reflexão sobre a relevância dos resultados obtidos num contexto real, as limitações do trabalho apresentado e sugestões para futuros desenvolvimentos.

2 Revisão bibliográfica

2.1 NZEB do surgimento à globalização

O conceito de edifícios NZEB não é um conceito recente e o processo desde o seu surgimento até à globalização pode ser separado em três fases distintas, como esquematizado na Tabela 1[8]. A procura da sua implementação remonta aos finais dos anos 30, com a MIT *Solar House*. Este conceito e os que lhe sucederam focavam-se na tentativa de alcançar o balanço nulo na energia de aquecimento recorrendo a energia solar.

No início dos anos 80, surgiram estudos que faziam menção a edifícios desconectados da rede como “zero energy house”, “natural energy-autonomous house” e “energy independent house” (mais tarde designados por ZEB), que se focaram no aumento da eficiência energética dos edifícios, através da utilização de novas tecnologias e aplicação de métodos passivos, com a finalidade de diminuir as necessidades energéticas associadas ao aquecimento, e colmatar essas necessidades energéticas com energia solar[8].

Posteriormente nos anos 2000, foram considerados como *edifícios NZEB* aqueles que não utilizassem combustíveis fósseis *in-situ*, e cujo balanço anual da eletricidade entre o edifício e a rede fosse nulo. Nesse mesmo período, devido à ambiguidade do termo “zero energy” foram introduzidas novas grandezas para o balanço, como: energia final, energia primária, custos de energia, emissões de CO₂ [5] e exergia [9], assumindo-se que a grandeza em balanço era alterada de acordo com os interesses das pessoas que utilizavam o termo NZEB.

Esses estudos procuraram também caracterizar outros aspetos de grande importância para a definição de NZEB, em que se destacam - as fronteiras do sistema onde se encontra o edifício e a sua importância para a distinção de *on-site* NZEB e *off-site* NZEB; as condições de conforto dentro do edifício e a sua importância para quantificar a energia necessária para atingir tais condições; o período de análise dos balanços, onde se discute a inclusão do período de construção do edifício incluindo grandezas como *embodied-energy* ou *embodied carbon*, nos balanços[5,8].

Na segunda fase do processo de globalização do conceito NZEB, surge a participação do governo de muitos países desenvolvidos e de alguns países em desenvolvimento, através da criação de normas relacionadas com o desempenho energético dos edifícios ou através de incentivos económicos para instalação de energias renováveis, focando a necessidade de produção de energia renovável *in-situ*[8].

Nesta fase destaca-se a Diretiva de 2010 da União Europeia sobre o desempenho energético dos edifícios (EPBD) de todos os estados-membros, que obriga que todas as construções erguidas após dezembro de 2020 ou construções pertencentes a entidades públicas erguidas após dezembro de 2018, sejam *nearly ZEB* e obriga o aumento do número de edifícios existentes que se enquadrem no mesmo conceito. Segundo a diretiva, um edifício *nearly ZEB* apresenta um desempenho energético muito elevado e a reduzida energia necessária deve ser assegurada em grande parte por fontes renováveis produzidas no local ou nas proximidades. Os estados-membros são responsáveis pela clarificação dos parâmetros indefinidos pela diretiva[10]. Esta diretiva, visou ainda, estabelecer o objetivo de redução das emissões dos gases do efeito de estufa na ordem dos 20%, face aos valores de 1990.

Posteriormente este objetivo teria a sua revisão na diretiva de 2018/844, onde são definidos objetivos mais ambiciosos de curto (2030), médio (2040) e longo prazo (2050) para as emissões dos gases do efeito de estufa, e onde foi discutido novamente o desempenho energético dos edifícios[11].

Em dezembro de 2006, alguns países do Reino Unido aprovaram o objetivo de carbono neutro (*zero policy carbon*), que estipula que, até 2016, todos os edifícios residenciais novos devem apresentar neutralidade carbônica na energia que é consumida[12]. Esse plano instaurou um código de seis níveis de sustentabilidade carbônica, onde o último representa o objetivo desta política. Nessa mesma lei foi estipulado que a envolvente das habitações deveriam ter um coeficiente de transmissão térmica máximo de $0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$ [13].

Nos Estados Unidos da América, *The California Building Energy Efficiency Standards for Residential and Nonresidential buildings*, também designado por *California Title 24*, definiu que todos os edifícios residenciais novos seriam NZEB até 2020; todos os edifícios comerciais novos serão NZEB até 2030; 50% dos edifícios comerciais existentes serão recuperados e tornados NZEB e 50% das renovações significativas de edifícios estatais serão NZEB até 2025[8].

No Canadá, no início dos anos 90, o governo inicia o *Advanced House Program (AHP)*, que consistiu no desenvolvimento de casas de necessidades energéticas reduzidas, atingindo uma redução no consumo de energia em cerca de 75% através da utilização de sistemas solares fotovoltaicos e da melhoria da envolvente, que levou à redução das perdas térmicas. No ano de 2004, é formada a *Net-zero Energy House Coalition*, que consiste numa organização não governamental que pretende tornar todos os edifícios novos em NZEB até 2030[8].

Em 2014, o governo japonês divulgou o plano estratégico do país em relação à energia. Nesse documento foram abordados vários tópicos relacionados ao setor energético, em que se enquadrava a estratégia para o parque edificado, impondo que todos os edifícios públicos novos devem ser NZEB até 2020 e que todos os restantes edifícios novos devem ser NZEB até 2030[14].

Na China, devido ao crescimento económico iniciado em meados dos anos 80, teve início uma tendência crescente da movimentação populacional dos meios rurais para as cidades. Esta movimentação provocou a aceleração do desenvolvimento de centros urbanos, tendo a sua área quase triplicado entre 1990 e 2005. Neste contexto, desde os anos 90, deu-se início ao desenvolvimento da eficiência energética que se divide em três fases: na primeira fase um programa estipulou normas que tinham o objetivo de uma diminuição dos custos energéticos para aquecimento em 30%, comparativamente a 1983; na segunda fase foram introduzidas novas normas, bem como melhoradas gradualmente as já existentes, estabelecendo um novo objetivo de 50% de redução energética comparativamente a 1983, desta vez com alcance à escala nacional; na terceira fase, foi criado um conjunto de dez edifícios exemplares de eficiência energética e foram reforçados objetivos para implementação de edifícios com *designs* modernos, entre outras normas também relevantes[15].

Na terceira fase da globalização, a fase atual, estão a ser desenvolvidos, em alguns países, processos de certificação e normas especiais para edifícios, também dominados como edifícios verdes, que se caracterizam por serem projetados com o intuito de poupar recursos naturais como água, energia e matéria-prima, desde a sua construção e durante todo o seu ciclo de vida. Entre os países com sistemas de normas bem estabelecidas para edifícios verdes, destacam-se - MINERGIE, desenvolvida na Suíça; a “Leadership in Energy and Environmental Design” (LEED), desenvolvida nos Estados Unidos da América; a “Building Research Establishment Environmental Assessment Method” (BREEAM), desenvolvida no Reino Unido; a “Comprehensive Assessment System for Built Environment Efficiency (CASBEE), desenvolvida no Japão; a “Evaluation Standard for Green Buildings” (ESGB), desenvolvida na China, entre outros[8], [16].

Tabela 1- Fases da globalização do conceito NZEB- adaptado de [8].

	Definição	Utilização
Primeira fase	Melhorar a eficiência energética dos edifícios em aquecimento e introdução de novas soluções construtivas.	Ultrapassada em países desenvolvidos e recente em países em desenvolvimento.
Segunda fase	Geração de energia necessária, por fontes de energia renovável <i>in-situ</i> . Definir uma data precisa para atingir um edifício ZEB.	Recente em países desenvolvidos e futuramente em países em desenvolvimento.
Terceira fase	Aplicação de soluções obrigatórias, especificar as soluções padrão e certificação para edifícios verdes.	Recente nos países mais desenvolvidos.

Na atualidade, embora existam inúmeros estudos sobre o tema *Net Zero Energy Buildings* ou *nearly Zero Energy Buildings*, bem como normas em vários países de todo planeta, ambos os termos ainda carecem de uma definição universal. No entanto, a abordagem aos conceitos de forma geral dá a resposta a seis questões:

- Dimensões – Qual a grandeza em balanço?
energia final, energia primária, emissões de CO₂, exergia, e custo de energia.
 - Tempo – Qual o período considerado no balanço?
mês, ano ou tempo de vida.
 - Conexão – O edifício encontra-se conectado à rede de energia?
Sim – Net ZEB e ou nearly ZEB, Não – ZEB.
 - Conforto – Quais os requisitos de conforto?
Requisitos de ventilação, temperatura, iluminação.
 - Limites – Quais as condições de fronteira se devem considerar?
Local, nas proximidades, sem limites
 - Tipo de edifício – Qual o tipo de edifício está a ser considerado?
Edifício residencial, de serviços, unifamiliar, multifamiliar
- [8]

2.2 NZEB em Portugal

Em Portugal, os primeiros passos tomados no âmbito de melhorar a eficiência energética dos edifícios remontam a 1990, onde o decreto-lei aprovado impôs requisitos de qualidade térmica para edifícios novos e grandes renovações. Neste documento, foram também definidos valores de referência para algumas dessas características (ex: coeficientes de transmissão térmica da envolvente) com objetivo de assegurar as condições de conforto térmico sem dispêndio excessivo de energia. A imposição destes valores de referência viria a constituir um passo significativo na melhoria das condições de conforto térmico na generalidade dos edifícios[17].

Mais tarde, ainda na década de 1990, seria também aprovado um documento que visou regulamentar o dimensionamento e instalação de sistemas técnicos dedicados à climatização e ventilação de edifícios, uma vez que de um modo geral as condições de conforto térmico são atingidas com recurso a estes meios[18].

Em 2006 deu-se a aprovação de novos Decreto-Lei com o objetivo de transpor a Diretiva nº 2002/91/CE, que reiterou que todos os estados-membros implementassem um sistema de certificação energética para todos os edifícios novos e grandes renovações, bem como para as situações de venda ou arrendamento[19]. Estes documentos focaram-se em legislar a implementação de requisitos mínimos para características de comportamento térmico dos edifícios[20], desempenho dos sistemas técnicos de climatização[21], a qualidade de ar no interior de edifícios[19] e a aplicação de sistemas de energias renováveis de elevada eficiência energética[19]. Para auxiliar o cumprimento das normas impostas, foram criados o Regulamento dos Sistemas Energéticos e de Climatização nos Edifícios (RSECE) e o Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE), que serviram de orientação à futura implementação da certificação energética.

Posteriormente, no seguimento da Diretiva de 2010/31/UE, foi transposta para a lei portuguesa através do Decreto-lei nº 118/2013, o Sistema de Certificação Energética de Edifícios (SCE), que constituiu uma reformulação das normas estabelecidas pela diretiva anterior. Neste diploma, foi revista a legislação portuguesa a nível da sistematização e de aplicação da mesma, através da uniformização do Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH) e do Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços (RECS), bem como a atualização dos valores máximos das necessidades energéticas, dos requisitos mínimos da envolvente dos edifícios, da taxa de renovação de ar por hora, da eficiência mínima dos sistemas técnicos e dos detalhes sobre a respetiva instalação e manutenção[22].

É também introduzido o conceito de edifício com necessidades quase nulas de energia (nZEB, sigla em inglês), definindo-o como um edifício com elevado desempenho energético em que a satisfação das necessidades energéticas resulte em grande medida de energia proveniente de fontes de energia renovável, produzida no local ou nas proximidades[22].

Embora tenha sido abordado o conceito de nZEB, a ambiguidade deste persistiu em certos aspetos, pois a finalidade do Decreto-lei mencionado, foi direcionada para a implementação do SCE e dos requisitos mínimos que os edifícios novos ou as grandes renovações devem apresentar, sendo estes expressos na Portaria nº 349-B/2013[23], passando por futuras alterações na Portaria nº 379-A/2015 [24] e na Portaria nº 319/2016[25].

Posteriormente o governo português, com a emissão da Portaria nº 98/2019, complementou quais os restantes requisitos que um edifício deve apresentar para ser considerado nZEB, deixando clara a distinção que até então se parecia confundir com a de um edifício novo. Os requisitos estabelecidos neste documento, focaram-se na adoção de valores mais restritivos na energia útil para aquecimento, na energia primária e a incorporação de uma fração mínima de fontes de energia renovável no balanço energético[26].

Recentemente, em 2021, foram novamente alterados os requisitos para edifícios novos ou sujeitos a renovação, estando estes expressos na Portaria nº 138-I/2021, emitida no decorrer do Decreto-Lei 101-D/2020. Neste documento foram revistos e estabelecidos novos requisitos relativos: à envolvente do edifício, aos sistemas técnicos, a respetiva aplicação e detalhes técnicos dos equipamentos[27].

Assim sendo, os requisitos necessários para o cumprimento das normas da certificação energética em Portugal podem ser distinguidos em quatro categorias conforme sumarizado na Tabela 2.

Tabela 2- Requisitos do SCE, retirado de [11].

Tipo de requisito	Parâmetros	Obrigatórios em
Qualidade térmica da envolvente	- $U_{máx}$ envolvente opaca - U_{wdn} da envolvente envidraçada - g_{max} do vão	Edifício novos e intervenções
Qualidade do ar interior	- R_{PH} mínimo	Edifícios novos e Grandes intervenções
Sistemas técnicos	- E_{ren} para AQS -Eficiência dos sistemas técnicos -Isolamento acumulação e distribuição - Outro	Edifício novos e intervenções
Energéticas	- N_{ic} - N_{vc} - N_{tc}	Edifícios novos e Grandes intervenções

Nota: O significado de cada parâmetro referido na Tabela 2 é abordado ao longo das subsecções do subcapítulo 2.2.

2.2.1 Qualidade térmica da envolvente de um edifício

A qualidade térmica da envolvente é uma característica fundamental dos edifícios, dado que avalia diretamente um dos aspetos pela qual estes foram criados, isto é, a capacidade de proteção de um indivíduo das condições do meio ambiente.

Nos processos de certificação energética a ponderação deste requisito é feita maioritariamente em função do coeficiente de transmissão térmica (U) que é utilizado nas avaliações de dois grandes grupos de envolventes baseados nas condições de fronteira: envolventes exteriores e envolventes interiores.

Cada um desses grupos encontra-se dividido diversos subgrupos onde um determinado tipo de envolvente se insere. O grupo das envolventes exteriores encontra-se primariamente dividido em zona de pontes térmicas lineares plana (Zona de PTP) e em zona corrente da envolvente (ex: parede), que são posteriormente subdivididos em elementos horizontais e verticais. Nas envolventes interiores é adicionalmente considerado o coeficiente de redução de trocas térmicas(b_{ztu})[28].

No estabelecimento dos requisitos mínimos dos coeficientes de transmissão térmica são também consideradas as zonas climáticas, podendo se distinguir em três zonas climáticas de verão e de inverno (V1, V2, V3 e I1, I2, I3 respetivamente), que caracterizam o rigor das estações de arrefecimento e aquecimento[28].

Por fim, podem ser efetuadas distinções entre Portugal Continental e as Regiões Autónomas ou entre edifícios de habitação e comércio ou de serviços, mas estas distinções não são aplicadas para todos os casos.

A síntese de todas as considerações efetuadas na definição dos requisitos mínimos do coeficiente de transmissão térmica da envolvente bem como o seu valor, encontram-se representadas na Tabela 3, Tabela 4, Tabela 5, Tabela 6 e Tabela 7.

Tabela 3- Requisitos mínimos da envolvente opaca para edifícios de habitação, em Portugal Continental e na Região Autónoma da Madeira, retirado de [27].

Portugal Continental e Região Autónoma da Madeira		Zona climática			
Tipo de elemento	Condição fronteira	I1	I2	I3	
Zona corrente da envolvente	Verticais	Exterior ou interior com $b_{z_{tu}} > 0.7$	0.50	0.40	0.35
		Interior com $b_{z_{tu}} \leq 0.7$	2.00	2.00	1.90
	Horizontais	Exterior ou interior com $b_{z_{tu}} > 0.7$	0.40	0.35	0.30
		Interior com $b_{z_{tu}} \leq 0.7$	1.65	1.30	1.20
Zona de PTP	Verticais	Exterior	0.90		
		Interior com $b_{z_{tu}} > 0.7$	1.75	1.60	1.45
		Interior com $b_{z_{tu}} \leq 0.7$	2.00	2.00	1.90
	Horizontais	Exterior	0.90		
		Interior com $b_{z_{tu}} > 0.7$	1.25	1.00	0.90
		Interior com $b_{z_{tu}} \leq 0.7$	1.65	1.30	1.20

Tabela 4- Requisitos mínimos da envolvente opaca para edifícios de habitação na Região Autónoma dos Açores, retirado de [27].

Região Autónoma dos Açores		Zona climática			
Tipo de elemento	Condição fronteira	I1	I2	I3	
Zona corrente da envolvente PTP	Verticais	Exterior ou interior com $b_{z_{tu}} > 0.7$	1.75	1.60	1.45
		Interior com $b_{z_{tu}} \leq 0.7$	2.00	2.00	1.90
	Horizontais	Exterior ou interior com $b_{z_{tu}} > 0.7$	1.25	1.00	0.90
		Interior com $b_{z_{tu}} \leq 0.7$	1.65	1.30	1.20

Tabela 5- Requisitos mínimos da envolvente opaca para edifícios de comércio e serviços, em Portugal continental e nas Regiões Autónomas, retirado de [27].

Portugal Continental e Regiões Autónomas			Zona climática		
Tipo de elemento		Condição fronteira	I1	I2	I3
Zona corrente da envolvente	Verticais	Exterior ou interior com $b_{ztu} > 0.7$	0.70	0.60	0.50
	Horizontais	Exterior ou interior com $b_{ztu} > 0.7$	0.50	0.45	0.40
Zona corrente da envolvente	Verticais	Exterior	0.90		
		Interior com $b_{ztu} > 0.7$	1.75	1.60	1.45
	Horizontais	Exterior	0.90		
		Interior com $b_{ztu} > 0.7$	1.25	1.00	0.90

Tabela 6- Requisitos da envolvente opaca para edifícios de habitação que configurem constrangimentos técnicos ou funcionais, em Portugal Continental e nas Regiões Autónomas, retirado de [27].

Portugal Continental e Regiões Autónomas			Zona climática		
Tipo de elemento		Condição fronteira	I1	I2	I3
Zona corrente da envolvente PTP	Verticais	Exterior ou interior com $b_{ztu} > 0.7$	1.70	1.50	1.40
	Horizontais	Exterior ou interior com $b_{ztu} > 0.7$	1.25	1.00	0.90

Tabela 7- Requisitos da envolvente envidraçada, em Portugal Continental e nas Regiões Autónomas, adaptado de [27].

Portugal Continental e Região Autónoma da Madeira	Zona Climática		
	I1	I2	I3
Edifícios de habitação	2.80	2.40	2.20
Edifícios de comércio e serviços	3.30	3.30	3.30
Região Autónoma dos Açores			
Edifícios de habitação	2.90	2.60	2.40
Edifícios de comércio e serviços	3.30	3.30	3.30

Embora o coeficiente de transmissão térmica da envolvente represente uma porção muito importante da qualidade térmica da envolvente de um edifício, não é o único parâmetro que a compõe este requisito, sendo também necessário ponderar os ganhos solares do edifício através envolvente envidraçada. Nesse caso o fator solar global dos vãos envidraçados ou áreas transparentes (g) recebe bastante destaque, uma vez que representa a fração da radiação solar que é transmitida para o interior[28].

Na definição dos requisitos mínimos o fator solar global é separado pelo tipo de edifício, pela inércia térmica e pelo tipo de zona climática da estação de arrefecimento, assim como mostrado na seguinte tabela.

Tabela 8 - Fatores solares máximos admissíveis de vãos envidraçados, retirado de [27].

Tipo de edifício	Inércia do espaço	Zona climática		
		V1	V2	V3
Edifícios de habitação	Fraca	0.15	0.10	0.10
	Média ou Forte	0.56	0.56	0.50
Edifícios de comércio e serviços	Fraca, Média ou Forte	0.56	0.56	0.50

2.2.2 Qualidade do ar interior do edifício

A necessidade de avaliar a qualidade do ar no interior do edifício é um requisito que surge da necessidade de reduzir a concentração de partículas nocivas ao ser humano, tais como o dióxido de carbono, que pode ser produzido através de aparelhos e pelos seres vivos.

No âmbito de garantir a baixa concentração de partículas nocivas, o requisito mínimo foi estabelecido em função das renovações por hora do volume de ar ($R_{ph_{min}}$), que apresenta valores bastante diferentes de acordo com o tipo de atividade realizada no edifício[27,28]. Neste caso, sendo o âmbito deste estudo apenas caracterizar os edifícios residenciais, na Tabela 9, são apenas mostrados os valores deste tipo de edifícios.

Tabela 9- Requisitos mínimos da taxa de renovação horária nos edifícios de habitação, segundo a Norma EN 16798-1, retirado de [27].

Contexto	$R_{ph_{min}}$ (h^{-1})
Edifício novo	0.50
Edifício sujeito a grande renovação	
Edifício sujeito a renovação no sistema de ventilação	

2.2.3 Sistemas técnicos

Os sistemas técnicos são instrumentos fundamentais num edifício, uma vez que não é possível atingir condições de conforto sem a sua utilização, seja para climatização ou aquecimento de águas sanitárias (AQS).

Assim sendo, os sistemas técnicos podem ser distinguidos quanto ao seu propósito e quanto à sua fonte de energia, podendo esta ser: eletricidade, gás, biomassa ou uma fonte de energia renovável, sendo a mais comum energia solar.

Os requisitos mínimos dos sistemas técnicos são de um modo geral definidos em função da eficiência, que é designada como eficiência nominal para aquecimento e arrefecimento (COP e EER respetivamente) no caso de sistemas técnicos para climatização a eletricidade e como eficiência nos restantes sistemas técnicos[28]. Os sistemas técnicos mais específicos como coletores solares além de parâmetros dos próprios coletores, apresentam também requisitos associados à instalação[23].

Os requisitos mínimos para sistemas técnicos presentes na legislação portuguesa estão representados na Tabela 10, Tabela 11, Tabela 12 e Tabela 13.

Tabela 10- Requisitos mínimos de eficiência para sistemas técnicos de climatização com utilização de eletricidade, adaptado de [23].

Sistema técnico para climatização a eletricidade	Eficiência	
	Aquecimento	Arrefecimento
Permuta ar-ar:		
Split, Multisplit, e VFR	$3,40 \leq COP < 3,60$	$3,00 \leq EER < 3,20$
Unidade Compacta	$3,20 \leq COP < 3,40$	$2,80 \leq EER < 3,00$
Unidade Rooftop	$3,20 \leq COP < 3,40$	$2,80 \leq EER < 3,00$
Chiller de compressão (Bomba) de calor	$3,00 \leq COP < 3,20$	$2,90 \leq EER < 3,10$
Permuta ar-água:		
Split, Multisplit,	$3,70 \leq COP < 4,00$	$3,30 \leq EER < 3,60$
Unidade Compacta	$4,40 \leq COP < 4,70$	$4,10 \leq EER < 4,40$
Unidade Rooftop	$4,40 \leq COP \leq 4,70$	$4,10 \leq EER < 4,40$
Bomba de calor	$4,15 \leq COP < 4,45$	$4,65 \leq EER < 5,05$

Tabela 11- Requisitos mínimos de eficiência para sistemas técnicos de climatização com utilização de biomassa, adaptado de [23].

Sistema técnico para climatização a Biomassa	Eficiência	
Caldeira a combustível sólido	Lenha	$\geq 75\%$
	Granulados	$\geq 85\%$
Recuperadores de calor e salamandras	$\geq 75\%$	

Tabela 12- Requisitos mínimos para a instalação de coletores solares térmicos, adaptado de [23].

Coletores solares térmicos	
Orientação	Sul
Inclinação	35°
Proporção	$0,65 \text{ m}^2$ por ocupante
Rendimento ótico	73%
Coefficientes de perdas térmicas	$a1=4,12 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, $a2= 0,014\text{W}/(\text{m}^2\text{K}^2)$

Tabela 13- Requisitos mínimos de eficiência para sistemas técnicos de AQS, adaptado de [23].

Sistemas técnico para AQS	Potência	Eficiência
Caldeiras		$89\% < \eta \leq 92\%$
Esquentadores	$P \leq 10 \text{ kW}$	$\geq 0,82$
	$P > 10 \text{ kW}$	$\geq 0,84$
Termoacumuladores	$Q_{pr} < 1$	0,97
	$1 \leq Q_{pr} < 1,5$	0,95
	$Q_{pr} \geq 1,5$	0,93

2.2.4 Energia

A energia, assim como as categorias mencionadas anteriormente, é um dos quatro requisitos a cumprir na certificação energética em Portugal. No entanto, esta ocupa uma posição de destaque relativamente às anteriores, uma vez que é um parâmetro alvo na avaliação energética e na determinação da classe energética.

Na avaliação energética de uma habitação é efetuada a determinação de índices de desempenho energético através da comparação dos valores de três parâmetros distintos de necessidades de energia calculadas segundo as características reais dos edifícios e da situação hipotética em que o mesmo edifício tem como características os requisitos mínimos de referência apresentados ao longo da secção 2.2 deste trabalho. Os três parâmetros energéticos são: as necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento (N_{ic}), as necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento (N_{vc}) e as necessidades nominais anuais de energia primária (N_{tc}), calculados segundo os métodos apresentados pela Equação 1, Equação 2 e Equação 3 respetivamente.

Outros parâmetros energéticos importantes como a fração de energia renovável (E_{ren}) da habitação ou a energia necessária para produção de águas quentes sanitárias (Q_a), embora não possuam índices de eficiência próprios também são ponderados no índice N_{tc} .

Deste modo, as habitações no seu geral podem ser avaliadas quanto ao seu conforto, considerando apenas os três índices energéticos já mencionados, pois qualquer característica presente na habitação influencia os seus consumos energéticos, ou seja, é de alguma forma ponderada nestes.

$$N_{ic} = (Q_{tr, iref} + Q_{ve, iref} - Q_{gu, iref}) / A_p \quad [\text{kWh}/\text{m}^2\text{ano}]$$

Equação 1- Cálculo do valor regularizado das necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento, retirado de [23].

Em que:

Q_t – Transferência de calor por transmissão através da envolvente de referência na estação de aquecimento, em kWh;

Q_v – Transferência de calor por ventilação de referência na estação de aquecimento, em kWh;

Q_g – Ganhos de calor úteis na estação de aquecimento, em kWh;

A_p – Área interior útil de pavimento do edifício medida pelo interior, em metros quadrados m^2 .

$$Nvc = (1 - \eta_{ref}) \cdot Q_g \cdot v_{ref} / A_p \quad [\text{kWh}/\text{m}^2\text{ano}]$$

Equação 2- Cálculo do valor regularizado das necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento, retirado de [23].

Em que:

η_{ref} – Fator de utilização de ganhos de referência;

Q_g – Ganhos de térmicos de referência na estação de arrefecimento, em kWh;

A_p – Área interior útil de pavimento do edifício medida pelo interior, em metros quadrados m^2 .

$$Ntc = \sum_j \left(\sum_k \frac{f_{i,k} \cdot N_i}{\eta_{ref,k}} \right) \cdot F_{pu,j} + \sum_j \left(\sum_k \frac{f_{v,k} \cdot N_v}{\eta_{ref,k}} \right) \cdot F_{pu,j} + \sum_j \left(\sum_k \frac{f_{a,k} \cdot Q_a / A_p}{\eta_{ref,k}} \right) \cdot F_{pu,j} \quad [\text{kWh}_{EP}/(\text{m}^2 \cdot \text{ano})]$$

Equação 3- Cálculo do valor regularizado das necessidades nominais anuais de energia primária, retirado de [23].

Em que:

N_i – Valor normalizado das necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento $[\text{kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{ano})]$;

N_v – Valor normalizado das necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento $[\text{kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{ano})]$;

Q_a – Necessidades de energia útil para preparação de AQS, supridas pelo sistema k $[\text{kWh}/\text{ano}]$;

$f_{i,k}$ – Parcela das necessidades de energia de aquecimento supridas pelo sistema k;

$f_{v,k}$ – Parcela das necessidades de energia de arrefecimento supridas pelo sistema k;

$f_{a,k}$ – Parcela das necessidades de energia de preparação de AQS supridas pelo sistema de referência k;

$\eta_{ref,k}$ – Valores de referência para o rendimento dos diferentes tipos de sistemas técnicos utilizados ou previstos para climatização e preparação de AQS;

j – Fonte de energia

A_p – Área interior útil de pavimento $[\text{m}^2]$

$F_{pu,j}$ – Fator de conversão de energia primária de acordo com a fonte de energia do tipo de sistemas de referência utilizado $[\text{kWh}_{EP}/\text{kWh}]$.

Tabela 14- Fatores de conversão de energia final para energia primária de Portugal, retirado de [28].

Tipo de Energia	F_{pu} $[\text{kWh}_{EP}/\text{kWh}]$
Eletricidade, independentemente da origem (renovável ou não renovável)	2.5
Combustíveis sólidos, líquidos ou gasosos não renováveis	1.0
Energia térmica de origem renovável	1.0
Energia proveniente da rede urbana de frio e calor da Climaespaço, Parque das Nações, Lisboa	1,06
Energia proveniente de sistemas de cogeração no edifício de referência	1.86
Energia proveniente de sistemas de trigeração no edifício de referência	1.70

Tabela 15- Requisitos mínimos de energia, aplicados a grandes renovações, edifícios novos e edifícios nZEB, adaptado de [22, 23, 26].

Edifícios sujeitos a grande renovação até 31 de dezembro de 2020				
		N _{ic} /N _i	N _{vc} /N _v	N _{te} /N _t
Ano de construção	Anterior a 1960	Não aplicável	Não aplicável	1.50
	Entre 1960 e 1990	1.25	1.25	1.50
	Posterior a 1990	1.15	1.15	1.50
Edifícios Novos até 31 de dezembro de 2020		1.00	1.00	1.00
Edifícios nZEB		0.75	1.00	0.50
		E _{ren} ≥ 50%		

2.3 Estudos no âmbito da caracterização do parque edificado português

Com a aprovação da diretiva europeia 2010/31/UE, foi também estabelecido um quadro metodológico para a comparação dos níveis ótimos de rentabilidade dos requisitos mínimos de desempenho energético e componentes de edifícios. Este quadro compreende: as medidas de eficiência energética a aplicar, a avaliação da procura de energia primária associada às medidas aplicadas e o cálculo dos custos da aplicação das mesmas para edifícios de referência de cada estado-membro[29], [30].

Embora o conceito de edifício de referência seja essencial para a aplicação da metodologia, a proposta apresentada para a sua definição na diretiva 2010/31/EU foi genérica, sendo apenas estipulado que estes devem ser representativos de características como funcionalidade, localização geográfica, condições climáticas dentro e fora do edifício, bem como representar a média do parque edificado de cada estado-membro[29], [30].

Em Portugal, assim como em alguns países da União Europeia, foram realizados estudos em que a caracterização do parque edificado português recebe destaque com finalidade de propor um método para a definição dos edifícios de referência de modo a estabelecer os níveis ótimos de rentabilidade dos requisitos mínimos de desempenho energético e componentes de edifícios.

Um exemplo desses estudos realizados encontra-se em [31] onde são explicitados os métodos para definir os edifícios de referência baseadas nas exigências definidas no documento complementar à diretiva 2010/31/EU. Os métodos apresentados são:

1. *RBr methodology*, onde o edifício de referência é definido como um edifício real que representa uma categoria específica de edifício;
2. *RBv_exp methodology*, onde o edifício de referência é conceptual (virtual) e o modelo produzido tem por base parâmetros obtidos por questionários de entidades competentes e outras fontes de informação;
3. *RBv_data methodology*, em que o edifício de referência é conceptual e o modelo tem as suas características definidas através de análise estatística.

Neste estudo os autores adotaram um método híbrido *RBv_exp/data methodology* e utilizaram os parâmetros função/tipologia, localização, período de construção, geometria e as soluções construtivas como base na sua aplicação. Após a obtenção dos diferentes conjuntos de edifícios com a aplicação dos parâmetros base, os edifícios são novamente separados tendo em consideração sub-parâmetros, que apresentam maior nível de detalhe relativamente aos parâmetros base. A lista de sub-parâmetros é composta por:

- *Configuração* - sub-parâmetros dedicados aspetos físicos;
- *soluções construtivas* - sub-parâmetros dedicados às soluções construtivas dos edifícios, com maior nível de rigor;
- *outros* - sub-parâmetros onde são tidos em consideração sistemas de climatização, ventilação, iluminação e os ganhos internos.

Como exemplo de aplicação do método foi criado um modelo de referência virtual que representa um edifício multifamiliar da cidade de Lisboa, construído entre 1960-1990 e que é considerado uma boa aproximação de acordo com as regras estipuladas pela Comissão Europeia para a definição de edifícios de referência.

No fim os autores acrescentam que se mantém a necessidade de identificar as medidas de eficiência energética adequadas para definir os edifícios de referência e a necessidade de estender a aplicação da metodologia apresentada a outros edifícios de referência.

No entanto, trabalhos não dedicados a esta problemática realizam estudos também relevantes na caracterização do parque edificado, como em [32], onde a caracterização do desempenho energético de frações autónomas em Portugal continental é efetuada através do uso de processos de certificação energética disponibilizados na base de dados da ADENE.

Para tal, é dada ênfase a características como: o período de construção, a área útil de pavimento, o número de quartos e os índices de desempenho energético, que são enquadradas em intervalos de tempo irregulares de edifícios posteriores a 1900 e anteriores a 2000, com o propósito de estudar a evolução destas características ao longo do tempo.

Os resultados obtidos da aplicação do método demonstram que a maior parte das frações autónomas do parque edificado de Portugal continental, são habitações com três ou quatro quartos que foram erigidas entre os anos de 1991 e 2000, e que apresentam valores das necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento (N_{ic}) entre 101 e 150 kWh/m².ano, valores das necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento (N_{vc}) inferiores a 5 kWh/m².ano, valores das necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento de águas sanitárias (N_{ac}) entre 61 e 100 kWh/m².ano e as necessidades nominais anuais de energia primária (N_{tc}) entre 5 e 10 kWh/m².ano.

É também realçado que todos os índices de desempenho energético apresentam uma diminuição contínua, mas não linear, ao longo do tempo e que as flutuações nesta diminuição estão associadas a mudanças no paradigma do sector da construção em Portugal, quer seja por introdução natural de novas soluções construtivas ou por imposição legal do melhoramento das soluções construtivas existentes, como verificado após a aprovação do decreto-lei de 1990.

Por outro lado, em [33], é utilizada a informação de *Censos* para estabelecer tipologias de edifícios das regiões de Portugal, definidas segundo a *Nomenclatura das Unidades Territoriais para Fins Estatísticos* (NUTS II), que visa contribuir para a diminuição do índice de pobreza energética através da caracterização das soluções construtivas de edifícios residenciais localizados nas sub-regiões (NUTS III) com maior suscetibilidade à pobreza energética.

Com essa finalidade, o autor começou por encontrar perfis de edifícios para cada uma das regiões de Portugal, através da moda de características dos edifícios, tais como: o ano de construção, o número de andares, tipo de edifício, tipo de atividade realizada no edifício, soluções construtivas da envolvente do edifício, área útil, etc. Este mesmo procedimento seria novamente aplicado ao nível das sub-regiões de Portugal, onde um total de 30 sub-regiões seriam encontradas, que partilham os mesmos perfis da respetiva região onde se encontram inseridas, mas apenas 19 sub-regiões viram a ser consideradas representativas.

Seguidamente, o autor recorreu à informação disponibilizada pelo Centro de Investigação em Ambiente e Sustentabilidade (CENSE – singla em inglês) da Faculdade Nova de Ciências e Tecnologia, sobre a classificação das sub-regiões de Portugal segundo o índice de vulnerabilidade de pobreza energética durante os períodos de inverno e verão, e selecionou os cinco casos mais vulneráveis para cada período.

Através do uso da informação disponibilizada pelo CENSE e da lista das sub-regiões representativas das diferentes regiões de Portugal, o autor destaca quatro sub-regiões com elevada representatividade e com alto índice de vulnerabilidade de pobreza energética, sendo estas: Madeira, Tâmega e Sousa, Açores e Baixo Alentejo, das quais Açores foi excluído por partilhar a mesma zona climática que a Madeira.

O autor realiza ainda um processo para determinar o local para encontrar o edifício representativo mais adequado às características definidas anteriormente. Esse processo foi realizado com sucessivas análises de representatividade em que a precisão da localidade aumentou gradativamente, isto é, foi identificada a subsecção, de uma secção de um município com maior percentagem de edifícios que apresentam o perfil da sub-região.

Por fim, o autor seleciona os edifícios reais que melhor representam os perfis definidos das três sub-regiões resultantes do procedimento anterior, e cria um modelo 3D recorrendo ao programa *sketchUp*, no âmbito de compreender melhor as soluções construtivas e os constrangimentos existentes à renovação dos mesmos.

3 Método

Como mencionado anteriormente, com este trabalho pretende-se contribuir para a caracterização do parque edificado português através da elaboração de um método robusto e não moroso, que permita compreender a conjuntura atual dos edifícios residenciais e quantificar o benefício da renovação em larga escala segundo os conceitos NZEB.

De modo a atingir o objetivo proposto, foi adotada uma abordagem que contém características semelhantes às abordagens apresentadas na secção 2.3 deste documento, uma vez que se pretende efetuar a agregação do estudo individual do parque edificado de cada concelho que compõe a sub-região Oeste de Portugal continental [NUTS III], através de uma abordagem que foca inicialmente nos índices de desempenho energético dos edifícios, durante a fase da definição de arquétipos, e posteriormente em aspetos construtivos, na eleição do caso real representante de um determinado arquétipo, que por fim é utilizado no caso prático de aplicação do método.

Porém, as características comuns entre grande parte dos estudos dedicados a esta mesma temática não recebem o mesmo destaque por não serem consideradas determinantes nos índices de desempenho energético de um determinado edifício ou por não constituírem um objetivo específico deste trabalho, como são exemplos: o ano de construção do edifício, número de ocupantes do edifício e solução construtiva detalhada.

Para elaboração deste estudo, foi construída uma base de dados através da recolha de informação das folhas de *Certificação IteCons* de certificados energéticos de edifícios residenciais existentes na sub-região Oeste de Portugal continental, que apresentam a sua metodologia definida no *Decreto-Lei 68/2008 de 14 de abril*[34], realizados pela empresa *GreenBright Unipessoal* entre os anos de 2015 e 2019, tendo sido formada uma base de dados anonimizada com um total de 329 processos.

Deste modo, o procedimento utilizado para dar resposta aos objetivos a que este estudo se propõe, está dividido nas seguintes etapas:

1. Definição de Arquétipos;
2. Seleção dos Casos Reais Representantes;
3. Comparação da Pegada Energética;

3.1 Definição de Arquétipos

Após a recolha da informação de todos os processos que compõe a base de dados, procedeu-se à separação da informação recolhida dos processos por concelhos que integram a sub-região Oeste, à contagem dos mesmos e à análise da representatividade da informação recolhida de cada concelho.

Para a análise da representatividade, foi consultado o número total de habitações de cada concelho na plataforma Pordata [35], onde se encontra disponibilizada a informação dos Censos de 2021, que foi posteriormente comparada ao número de processos de certificação energética presentes na base de dados, sendo que se definiu como critério mínimo de representatividade uma amostra superior à milésima parte do número de habitações do concelho e que apenas os concelhos que apresentaram uma representatividade desejável reuniram as condições para se proceder com a definição de arquétipos.

Para os processos de certificação energética dos concelhos com representatividade satisfatória, procedeu-se à sua divisão de acordo com o tipo de licenciamento em edifícios e frações autónomas com propriedade horizontal constituída, resultando o que posteriormente será referenciado como categorias, sendo um exemplo dessas categorias uma fração autónoma com propriedade horizontal em Torres Vedras ou de forma abreviada ‘Frações de Torres Vedras’.

Com as categorias dos edifícios residenciais já definidas, procedeu-se à definição de arquétipos. Para tal, foram utilizados os valores reais e de referência das necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento (N_i , N_{ic}) e arrefecimento (N_v , N_{vc}) de todos os processos, sendo que as características desejadas para a formação de arquétipos serem os índices de desempenho energético (N_{ic}/N_i e N_{vc}/N_v). Posteriormente, foram calculados o primeiro e terceiro quartis ($Q1$ e $Q3$ respetivamente), do conjunto de valores das características referente a cada categoria, que foram utilizados como valores que delimitam os arquétipos. Este procedimento foi efetuado por um processo iterativo até que na amostra de dados não existissem *outliers*.

A aplicação do procedimento anterior resultou na criação de nove arquétipos por categoria, uma vez que por cada característica utilizada existem três intervalos de valores e cada arquétipo é constituído pela conjugação das duas características. Este método permitiu também o estudo integral do parque edificado de cada concelho, uma vez que não são excluídos edifícios residenciais.

3.2 Seleção dos Casos Reais Representantes

Assim como em outros estudos, neste trabalho adota-se o ideal de representar um conjunto de edifícios que, em muitos casos, propõe descrever grupos que contêm milhares, dezenas de milhares ou em certos casos, centenas de milhares de edifícios a partir de um único caso real. A robustez da aplicação deste tipo de abordagem está diretamente relacionada com o tipo de estudo que se pretende realizar bem como com as variáveis/características envolvidas nesse mesmo estudo. Neste caso, uma vez que o parque edificado é observado numa perspetiva de utilização de energia, considera-se a utilização deste método uma mais-valia, que permite agilizar a sua aplicação sem um elevado prejuízo no rigor.

Visando aumentar o rigor da aplicação deste método, foram adicionadas novas características às já utilizadas na definição de arquétipos, sendo estas: o resultado do quociente entre os valores reais e de referência das necessidades nominais globais de energia primária (N_{tc}/N_i), a área da envolvente opaca exterior em função da área útil do edifício (A_{ext}/A_u), da área dos vãos envidraçados exteriores em função da área útil (A_w/A_u), e o coeficiente de transferência de calor por transmissão térmica através da envolvente da habitação em função da área útil (H_{tr}/A_u), sendo estas adicionadas com o intuito de também ponderar os casos reais quanto aos sistemas técnicos utilizados, à geometria das habitações, aos ganhos e às perdas através da envolvente.

Após aferir os valores de todas as características, de todas as habitações inseridas num determinado arquétipo, foi determinado o quadrado do desvio de cada uma dessas características, à média do conjunto de valores dessa mesma característica. Este procedimento foi realizado para todos os arquétipos separadamente.

Os resultados obtidos para cada processo foram posteriormente utilizados para cálculo da média ponderada com as diferentes características, isto é, características distintas têm ponderações diferentes.

Os valores das ponderações atribuídas a cada característica foram estipulados de acordo com o que se convencionou como sendo as características mais relevantes ou menos relevantes na determinação do caso real representante de cada arquétipo. A expressão utilizada que reflete o procedimento descrito anteriormente, foi a seguinte:

$$M = Nix * 0.2 + Nvx * 0.2 + Ntx * 0.1 + Htrx * 0.2 + Aextx * 0.2 + Awx * 0.1$$

Equação 4 - Expressão da média ponderada utilizada na determinação do caso real representante dos arquétipos.

Em que:

Nix – Quadrado do desvio, do índice de eficiência das necessidades anuais de energia útil para aquecimento, de cada caso real, ao respetivo valor médio dentro do arquétipo.

Nvx - Quadrado do desvio, do índice de eficiência das necessidades anuais de energia útil para arrefecimento, de cada caso real, ao respetivo valor médio dentro do arquétipo.

Ntx - Quadrado do desvio, do índice de eficiência das necessidades anuais de energia primaria, de cada caso real, ao respetivo valor médio dentro do arquétipo.

Htrx - Quadrado do desvio, do coeficiente de transmissão térmica através da envolvente da habitação em função da área útil, de cada caso real, ao respetivo valor médio dentro do arquétipo.

Aextx - Quadrado do desvio, da área da envolvente opaca exterior em função da área útil do edifício, de cada caso real, ao respetivo valor médio dentro do arquétipo.

Awx - Quadrado do desvio, da área dos vãos envidraçados exteriores em função da área útil, de cada caso real, ao respetivo valor médio dentro do arquétipo.

Por fim, o caso representante de cada arquétipo é aquele que apresentar uma média ponderada mais reduzida, ou seja, será o processo que apresente o menor valor da média ponderada do quadrado dos desvios de cada característica ao respetivo valor médio de cada arquétipo.

3.3 Comparação da Pegada Energética

Uma vez encontrados os casos reais que melhor caracterizam a totalidade dos edifícios residenciais de cada concelho, pretendeu-se aplicar o conhecimento adquirido anteriormente num caso prático que envolvesse os objetivos de desenvolvimento sustentável, tendo-se optado por estabelecer a comparação da pegada energética entre a conjuntura atual das habitações e a situação hipotética de uma renovação em larga escala de todas estas, de modo a se enquadrarem no conceito de habitações nZEB segundo a legislação portuguesa.

Como referido anteriormente na secção 2.2.4 deste estudo, os requisitos mínimos da legislação portuguesa para que uma habitação seja classificada como um edifício com necessidades energéticas quase nulas (nZEB), são as seguintes:

- os valores reais das necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento devem corresponder num máximo a 75% dos valores de referência ($N_{ic}/N_i=0.75$);

- os valores reais das necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento devem ser iguais ou inferiores aos valores de referência ($N_{vc}/N_v=1$);
- os valores das necessidades nominais anuais de energia primária devem corresponder no máximo a metade dos valores de referência (N_{tc}/N_i);
- e a habitação deve ter no mínimo metade das necessidades energéticas supridas por fontes de energia renovável.

Visto não constituir objetivo desta tese analisar as limitações construtivas ou técnicas para implementação das medidas de melhoria para estabelecer a comparação pretendida, foram adotadas premissas referentes aos índices de desempenho energético das habitações, sendo estas: as habitações que apresentam características mais ambiciosas que as definidas na legislação portuguesa mantiveram os seus valores; os valores das características que não superaram os valores limites foram igualados aos valores limite da legislação.

Embora não tenha sido efetuado um estudo detalhado para que cada caso real representante de um arquétipo seja considerado uma habitação nZEB, são consideradas viáveis as premissas definidas através da conjugação de medidas de melhoria, tais como: o reforço no isolamento da envolvente opaca, substituição da envolvente envidraçada, instalação de sistemas técnicos eficientes destinados a climatização e aquecimento de água sanitária, instalação de sistemas técnicos destinados a potencializar a ventilação e a instalação de sistemas técnicos destinados ao aumento da participação das fontes de energia renovável da habitação.

Deste modo, utilizando os requisitos mínimos legais dos edifícios nZEB, os valores dos índices de desempenho energético atuais de cada caso real representante do arquétipo e a representatividade do arquétipo no respetivo concelho, foi possível obter o valor de cada índice de desempenho energético do concelho para ambas as situações, através da média ponderada e posteriormente estabelecidas as comparações.

4 Resultados e Discussão

Assim como no capítulo anterior, este capítulo encontra-se dividido por subcapítulos que contêm os resultados obtidos da aplicação dos procedimentos apresentados ao longo do capítulo 3, podendo ainda existir secções dentro de cada subdivisão de modo a deixar bem sintetizado todo o tratamento de dados efetuado. Neste capítulo é também realizada uma breve discussão dos resultados obtidos.

4.1 Definição de Arquétipos

Este subcapítulo destina-se a apresentar os resultados decorrentes da aplicação do tratamento de dados do primeiro subcapítulo do *Método*, a Definição de Arquétipos; Para tal optou-se por seccionar esta parcela do método nas subsecções Análise da Representatividade e a Definição de Arquétipos.

4.1.1 Análise de Representatividade

A análise da representatividade da informação recolhida foi realizada através da comparação do número de processos de certificação energética disponíveis na base dados com o número total de habitações existentes para um dado concelho. Estes valores encontram-se representados na tabela seguinte.

Tabela 16- Número de processos recolhidos e de alojamentos familiares por concelho, retirado de [35].

Concelho	Nº processos	Nº de edifícios residenciais (2021)
Alcobaça	4	35569
Alenquer	2	23862
Arruda dos Vinhos	0	6972
Bombarral	11	8185
Cadaval	4	8947
Caldas da Rainha	13	32098
Lourinhã	67	17669
Nazaré	0	13691
Óbidos	6	9277
Peniche	10	21839
Sobral Monte Agraço	1	5448
Torres Vedras	198	46299

Uma vez que se estabeleceu como limiar da representatividade que o número de processos de certificação energética fosse superior à milésima parte do número total de habitações existentes, os concelhos da sub-região Oeste de Portugal continental que satisfizeram a condição imposta foram os concelhos de Torres Vedras, Lourinhã e Bombarral.

A informação do número total de habitações de cada concelho embora não seja referente ao ano presente de execução deste trabalho, é a mais recente disponibilizada, tendo sido retirada de uma fonte de informação que disponibiliza dados dos Censos de 2021 e que se considerou como sendo uma boa aproximação aos números totais atuais de habitações em cada concelho.

4.1.2 Definição de Arquétipos

Após se excluírem os processos de certificação energética dos concelhos onde não se obteve representatividade satisfatória, foi utilizada a informação dos processos não excluídos para definir os arquétipos. Neste processo são tidos em consideração os índices de desempenho e o tipo de habitações por concelho. O resultado deste processamento encontra-se representado nas Tabela 17 e Tabela 18.

Tabela 17- Arquétipos das frações dos concelhos de Torres Vedras, Lourinhã e Bombarral, obtidos pela aplicação do método descrito na subcapítulo 3.1, e representatividades entre as habitações dos respetivos concelhos.

Frações			
Torres Vedras			
Nic/Ni Nvc/Nv	Nvc/Nv≤0.6	0.6≥Nvc/Nv≤1.34	Nvc/Nv≥1.34
Nic/Ni≤1.54	3%	7%	2%
1.54>Nic/Ni≤2.73	7%	13%	4%
Nic/Ni≥2.73	2%	3%	7%
Lourinhã			
Nic/Ni Nvc/Nv	Nvc/Nv≤0.81	0.81>Nvc/Nv≤2.05	Nvc/Nv>2.05
Nic/Ni≤1.91	3%	3%	1%
1.91>Nic/Ni≤2.53	4%	10%	3%
Nic/Ni>2.53	0%	4%	3%
Bombarral			
Nic/Ni Nvc/Nv	Nvc/Nv≤0.19	0.19>Nvc/Nv≤1.26	Nvc/Nv>1.26
Nic/Ni≤1.97	0%	18%	0%
1.97>Nic/Ni≤2.64	0%	18%	9%
Nic/Ni>2.64	9%	0%	0%

Tabela 18- Arquétipos dos edifícios dos concelhos de Torres Vedras, Lourinhã e Bombarral, obtidos pela aplicação do método descrito na subcapítulo 3.1, e representatividades entre as habitações dos respetivos concelhos.

Edifícios			
Torres Vedras			
Nic/Ni Nvc/Nv	Nvc/Nv≤0.74	0.74>Nvc/Nv≤1.25	Nvc/Nv>1.25
00Nic/Ni≤0.96	5%	8%	0%
0.96>Nic/Ni≤2.62	6%	11%	11%
Nic/Ni>2.62	3%	7%	4%
Lourinhã			
Nic/Ni Nvc/Nv	Nvc/Nv≤1.02	1.02>Nvc/Nv≤1.46	Nvc/Nv>1.46
Nic/Ni≤1.86	4%	12%	0%
1.86>Nic/Ni≤2.99	9%	15%	10%
Nic/Ni>2.99	3%	7%	6%
Bombarral			
Nic/Ni Nvc/Nv	Nvc/Nv≤0.85	0.85>Nvc/Nv≤1.52	Nvc/Nv>1.52
Nic/Ni≤2.24	0%	9%	0%
2.24>Nic/Ni≤2.88	9%	9%	9%
Nic/Ni>2.88	0%	9%	0%

Como resultados decorrentes da aplicação do método para a definição de arquétipos, é possível verificar que todos os edifícios considerados apresentam valores de índices de desempenho das necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento inferiores aos das necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento, o que permite aferir que as habitações nos concelhos analisados estão mais bem-adaptadas à estação de arrefecimento.

Analisando, exclusivamente, os índices das necessidades de energia útil para aquecimento, é possível verificar que os edifícios estão mais bem-adaptados à estação de aquecimento que as frações, no entanto, os limites dos arquétipos das frações são mais próximos quando comparados aos dos edifícios, ou seja, existe uma maior variação nas características construtivas dos edifícios quando comparados às frações, sendo o concelho de Torres Vedras aquele que apresenta maior variabilidade.

É também possível confirmar que de um modo geral as habitações do concelho de Torres Vedras são as mais bem-adaptadas a ambas as estações de aquecimento e arrefecimento, e que os edifícios do Bombarral são os que apresentam pior adaptabilidade entre todas as habitações, contudo, devido ao número de processos de certificação energética referentes a este concelho ser muito diminuto, considera-se que os valores obtidos foram fortemente influenciados pelos poucos processos disponíveis.

4.2 Seleção dos Casos Reais Representantes

Neste subcapítulo serão apresentados os resultados da aplicação do procedimento da seleção dos casos reais representantes para cada arquétipo, como se encontra descrito no subcapítulo 3.2 deste trabalho.

Como já mencionado anteriormente, a escolha de um edifício real para representação de um conjunto de edifícios através de uma ou mais características semelhantes é um ideal. Neste caso, assume-se que a escolha de uma habitação inserida num arquétipo através do menor valor da média ponderada do quadrado dos desvios de cada característica ao respetivo valor médio desse mesmo arquétipo, é um método com um nível de rigor satisfatório. Os resultados da aplicação deste método encontram-se representados seguinte tabelas:

Tabela 19 - Características dos casos reais representantes das frações de Torres Vedras e respetivas representatividades.

	Arquétipos	Representatividade tipo de habitação	Representatividade no concelho	Nic/Ni	Nvc/Nv	Ntc/Nt	Htr/Ap	Aext/Ap	Aw/Ap
Frações Torres Vedras	$Nic/Ni \leq 1.54$ $\wedge Nvc/Nv \leq 0.6$	7%	3%	1.17	0.46	0.96	1.68	0.65	0.15
	$Nic/Ni \leq 1.54$ $\wedge 0.6 > Nvc/Nv \leq 1.34$	15%	7%	0.76	1.00	0.52	1.50	0.91	0.14
	$Nic/Ni \leq 1.54$ $\wedge Nvc/Nv > 1.34$	3%	2%	1.15	1.50	1.17	1.49	0.59	0.17
	$1.54 > Nic/Ni \leq 2.73$ $\wedge Nvc/Nv \leq 0.6$	14%	7%	2.59	0.49	1.62	2.48	0.45	0.14
	$1.54 > Nic/Ni \leq 2.73$ $\wedge 0.6 > Nvc/Nv \leq 1.34$	29%	13%	2.04	0.85	1.76	3.45	1.19	0.16
	$1.54 > Nic/Ni \leq 2.73$ $\wedge Nvc/Nv > 1.34$	8%	4%	1.90	2.21	1.65	3.26	0.79	0.23
	$Nic/Ni > 2.73$ $\wedge Nvc/Nv \leq 0.6$	3%	2%	2.74	0.57	1.98	2.24	0.70	0.08
	$Nic/Ni > 2.73$ $\wedge 0.6 > Nvc/Nv \leq 1.34$	7%	3%	3.33	0.66	2.47	3.31	0.76	0.12
	$Nic/Ni > 2.73$ $\wedge Nvc/Nv > 1.34$	14%	7%	3.07	2.04	2.13	3.93	0.82	0.09

Tabela 20 - Características dos casos reais representantes dos edifícios de Torres Vedras e respetivas representatividades.

	Arquétipos	Represtatividade tipo de habitação	Representatividade no concelho	Nic/Ni	Nvc/Nv	Ntc/Nt	Htr/Ap	Aext/Ap	Aw/Ap
Edifícios Torres Vedras	Nic/Ni ≤ 0.96 ^Nvc/Nv ≤ 0.74	9%	5%	0.55	0.73	0.36	1.49	1.53	0.23
	Nic/Ni ≤ 0.96 ^0.74 > Nvc/Nv ≤ 1.25	15%	8%	0.59	0.98	0.54	1.71	1.57	0.15
	Nic/Ni ≤ 0.96 ^Nvc/Nv > 1.25	0%	0%	-	-	-	-	-	-
	0.96 > Nic/Ni ≤ 2.62 ^Nvc/Nv ≤ 0.74	10%	6%	1.65	0.67	0.77	2.99	1.25	0.14
	0.96 > Nic/Ni ≤ 2.62 ^0.74 > Nvc/Nv ≤ 1.25	21%	11%	1.82	1.06	1.66	3.31	0.95	0.11
	0.96 > Nic/Ni ≤ 2.62 ^Nvc/Nv > 1.25	20%	11%	2.08	1.58	1.81	4.37	1.19	0.17
	Nic/Ni > 2.62 ^Nvc/Nv ≤ 0.74	6%	3%	2.98	0.65	2.58	5.32	1.27	0.12
	Nic/Ni > 2.62 ^0.74 > Nvc/Nv ≤ 1.25	12%	7%	3.38	1.02	2.12	5.65	1.21	0.11
Nic/Ni > 2.62 ^Nvc/Nv > 1.25	7%	4%	3.34	1.67	2.48	5.56	0.65	0.11	

Tabela 21 - Características dos casos reais representantes das frações e dos edifícios da Lourinhã, e respetivas representatividades.

	Arquétipos	Represtatividade tipo de habitação	Representatividade no concelho	Nic/Ni	Nvc/Nv	Ntc/Nt	Htr/Ap	Aext/Ap	Aw/Ap
Frações Lorinhã	Nic/Ni ≤ 1.91 ^Nvc/Nv ≤ 0.81	9%	3%	1.88	0.23	1.54	2.60	0.70	0.12
	Nic/Ni ≤ 1.91 ^0.81 > Nvc/Nv ≤ 2.05	9%	3%	1.63	1.03	1.18	1.97	1.05	0.15
	Nic/Ni ≤ 1.91 ^Nvc/Nv > 2.05	5%	1%	0.34	3.55	0.46	2.04	2.15	0.57
	1.91 > Nic/Ni ≤ 2.53 ^Nvc/Nv ≤ 0.81	14%	4%	2.10	0.49	1.59	2.82	0.95	0.13
	1.91 > Nic/Ni ≤ 2.53 ^0.81 > Nvc/Nv ≤ 2.05	32%	10%	1.94	1.08	1.75	3.21	1.12	0.16
	1.91 > Nic/Ni ≤ 2.53 ^Nvc/Nv > 2.05	9%	3%	2.53	2.06	2.13	3.29	0.58	0.11
	Nic/Ni > 2.53 ^Nvc/Nv ≤ 0.81	0%	0%	-	-	-	-	-	-
	Nic/Ni > 2.53 ^0.81 > Nvc/Nv ≤ 2.05	14%	4%	2.56	1.56	2.11	3.71	0.97	0.14
	Nic/Ni > 2.53 ^Nvc/Nv > 2.05	9%	3%	3.31	2.06	2.50	2.90	0.62	0.13
Edifícios Lourinhã	Nic/Ni ≤ 1.86 ^Nvc/Nv ≤ 1.02	7%	4%	1.79	0.68	1.64	2.46	0.90	0.22
	Nic/Ni ≤ 1.86 ^1.02 > Nvc/Nv ≤ 1.46	18%	12%	1.40	1.32	1.31	2.58	1.13	0.15
	Nic/Ni ≤ 1.86 ^Nvc/Nv > 1.46	0%	0%	-	-	-	-	-	-
	1.86 > Nic/Ni ≤ 2.99 ^Nvc/Nv ≤ 1.02	13%	9%	1.87	0.84	1.64	3.60	1.07	0.17
	1.86 > Nic/Ni ≤ 2.99 ^1.02 > Nvc/Nv ≤ 1.46	22%	15%	2.40	1.31	1.40	4.75	1.06	0.13
	1.86 > Nic/Ni ≤ 2.99 ^Nvc/Nv > 1.46	16%	10%	2.86	1.91	2.10	5.52	1.20	0.11
	Nic/Ni > 2.99 ^Nvc/Nv ≤ 1.02	4%	3%	3.18	0.68	2.34	3.94	1.26	0.18
	Nic/Ni > 2.99 ^1.02 > Nvc/Nv ≤ 1.46	11%	7%	3.39	1.09	2.12	4.66	0.91	0.14
	Nic/Ni > 2.99 ^Nvc/Nv > 1.46	9%	6%	3.01	1.63	2.67	5.52	1.58	0.14

Tabela 22 - Características dos casos reais representantes das frações e dos edifícios do Bombarral, e respetivas representatividades.

	Arquétipos	Represtatividade tipo de habitação	Representatividade no concelho	Nic/Ni	Nvc/Nv	Ntc/Nt	Htr/Ap	Aext/Ap	Aw/Ap
Frações Bombarral	Nic/Ni ≤ 1.97 ^Nvc/Nv ≤ 0.19	0%	0%	-	-	-	-	-	-
	Nic/Ni ≤ 1.97 ^0.19 > Nvc/Nv ≤ 1.26	33%	18%	1.97	1.17	1.57	1.16	0.43	0.16
	Nic/Ni ≤ 1.97 ^Nvc/Nv > 1.26	0%	0%	-	-	-	-	-	-
	1.97 > Nic/Ni ≤ 2.64 ^Nvc/Nv ≤ 0.19	0%	0%	-	-	-	-	-	-
	1.97 > Nic/Ni ≤ 2.64 ^0.19 > Nvc/Nv ≤ 1.26	33%	18%	2.36	0.20	1.87	2.86	0.49	0.09
	1.97 > Nic/Ni ≤ 2.64 ^Nvc/Nv > 1.26	17%	9%	2.05	1.53	1.83	4.53	0.78	0.21
	Nic/Ni > 2.64 ^Nvc/Nv ≤ 0.19	17%	9%	3.48	0.17	2.43	2.57	0.41	0.08
	Nic/Ni > 2.64 ^0.19 > Nvc/Nv ≤ 1.26	0%	0%	-	-	-	-	-	-
	Nic/Ni > 2.64 ^Nvc/Nv > 1.26	0%	0%	-	-	-	-	-	-
Edifícios Bombarral	Nic/Ni ≤ 2.24 ^Nvc/Nv ≤ 0.85	0%	0%	-	-	-	-	-	-
	Nic/Ni ≤ 2.24 ^0.85 > Nvc/Nv ≤ 1.52	20%	9%	2.22	1.34	1.94	4.00	1.24	0.15
	Nic/Ni ≤ 2.24 ^Nvc/Nv > 1.52	0%	0%	-	-	-	-	-	-
	2.24 > Nic/Ni ≤ 2.88 ^Nvc/Nv ≤ 0.85	20%	9%	2.27	0.80	1.47	3.39	1.07	0.10
	2.24 > Nic/Ni ≤ 2.88 ^0.85 > Nvc/Nv ≤ 1.52	20%	9%	2.61	0.89	2.06	4.03	0.90	0.09
	2.24 > Nic/Ni ≤ 2.88 ^Nvc/Nv > 1.52	20%	9%	2.82	1.53	2.51	2.93	0.93	0.14
	Nic/Ni > 2.88 ^Nvc/Nv ≤ 0.85	0%	0%	-	-	-	-	-	-
	Nic/Ni > 2.88 ^0.85 > Nvc/Nv ≤ 1.52	20%	9%	2.94	1.51	2.25	5.58	1.03	0.13
	Nic/Ni > 2.88 ^Nvc/Nv > 1.52	0%	0%	-	-	-	-	-	-

Dado que as habitações reais representantes de cada arquétipo são escolhidas com base numa média ponderada, é expectável que as ponderações consideradas tenham um impacto determinante neste processo. Nesta aplicação, convencionou-se de que as ponderações seriam distintas nas características menos relevantes para determinar a habitação representante, tendo-se atribuído um peso diminuto ao quadrado dos desvios da média do índice de desempenho energético menos determinante e a uma das características que faz alusão à geometria da habitação.

No processamento efetuado, considerou-se que o índice de desempenho energético das necessidades nominais anuais de energia primária (Ntc/Nt) como sendo o menos relevante, uma vez que não pondera o conforto térmico da habitação. A outra característica selecionada foi a proporção entre a área dos vãos envidraçados e da área útil da habitação (Aw/Ap), pois o quadrado do desvio de todos os casos considerados à respetiva média é muito equivalente, logo não constitui um contributo relevante para a distinção entre as habitações inseridas no mesmo arquétipo.

Por outro lado, optou-se que todas as características selecionadas contribuíssem de modo significativo para a seleção do caso representante, como tal, foram consideradas apenas duas ponderações, 0.2 para características mais relevantes e 0.1 para características menos relevantes.

A escolha de diferentes ponderações a utilizar na média possibilitaria que qualquer outra habitação fosse caso real representante de um determinado arquétipo, no entanto, não constitui objetivo deste trabalho explorar exaustivamente todas as ponderações, no âmbito de provar que existe uma solução mais adequada a este propósito.

Analisando os resultados obtidos, é possível realçar a existência de situações em que parece improvável que habitação represente um determinado grupo que pode conter até milhar de habitações, como por exemplo o arquétipo $Nic/Ni \leq 0.96 \wedge Nvc/Nv \leq 0.74$ (Tabela 20) dos edifícios de Torres Vedras, onde é sugerido que 5% de todas as habitações deste concelho já se encontram em condições de nZEB (Tabela 15). Porém, o método adotado permite afirmar que a habitação escolhida como representante é a que mais se aproxima de uma habitação hipotética que apresenta características como valores dos índices de desempenho energético e parâmetros geométricos, considerando todas em simultâneo.

4.3 Comparação da pegada energética

Neste subcapítulo serão apresentados e discutidos os resultados do procedimento realizado para a aplicação num caso prático, do método criado para a caracterização do parque edificado português, que visa compreender os benefícios da renovação em larga escala das habitações dos concelhos que são alvo deste estudo.

Através da aceitação do método realizado até este subcapítulo, assume-se que milhares de habitações existentes em cada concelho apresentam as mesmas características que as nove habitações selecionadas e que essas são bem conhecidas. Este raciocínio permite a liberdade de efetuar estudos do parque edificado a nível do seu desempenho energético, bem como descobrir a redução das necessidades de energia das habitações de um dado concelho, ao estabelecer relações entre os índices de desempenho energético das habitações existentes com os exigidos na legislação portuguesa para edifícios nZEB e propagando essas relações para estimativas de consumo de energia. Os resultados obtidos da execução deste procedimento encontram-se representados na seguinte tabela:

Tabela 23 - Valores nominais anuais dos consumos energéticos de energia útil para aquecimento, energia útil para arrefecimento, índice de energia primária e fração de energia renovável; na situação atual e com a renovação em larga escala das habitações dos concelhos de Torres Vedras, Lourinhã e Bombarral; e respetiva comparação.

Concelho	Situação	Nic	Nvc	Ntc/Nt	Eren
Torres Vedras	Existente	88.22	10.38	1.52	18%
	nZEB	32.40	8.33	0.49	53%
	Comparação	-63%	-20%	-68%	200%
Lourinhã	Existente	98.07	12.21	1.77	18%
	nZEB	31.46	8.77	0.50	52%
	Comparação	-68%	-28%	-72%	195%
Bombarral	Existente	73.33	9.16	1.94	4%
	nZEB	22.30	7.20	0.50	50%
	Comparação	-70%	-21%	-74%	1087%

Nota: Os valores dos consumos nominais anuais de energia útil para aquecimento e arrefecimento apresentados, representam a média ponderada entre todas as habitações e têm unidades em $[kWh/m^2 \cdot ano]$, que não foram incluídas por razões estéticas.

Os resultados expressos na Tabela 23 permitem perceber que existem diferenças significativas entre as habitações existentes dos concelhos da sub-região Oeste de Portugal continental e a situação hipotética da renovação em larga escala aplicando o conceito nZEB.

Como expectável, a diferença do nível de adaptação das habitações às estações de aquecimento e arrefecimento, mencionada na secção 4.1.2 deste trabalho, tornou-se mais evidente na comparação das necessidades das situações em análise, uma vez que a diminuição das necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento em todos os concelhos apresenta valores superiores a 60%, enquanto a energia útil para arrefecimento é sempre inferior a 30%, o que representa uma diferença de mais de 50% na diminuição das necessidades.

Analisando os valores da diminuição dos índices de desempenho energético da energia primária, é possível aferir que na sua generalidade as habitações dos concelhos analisados possuem sistemas técnicos pouco eficientes para climatização e AQS ou não possuem sistemas técnicos de climatização. Na situação de ausência de sistemas técnicos para climatização, nas folhas de cálculo da certificação energética de edifícios, assume-se que as necessidades de climatização são realizadas por um sistema técnico elétrico com eficiência de 100%, ou seja, toda a energia útil consumida é aproveitada para o propósito de climatização. O valor da energia consumida é posteriormente sujeito a um fator de conversão para energia primária, que permite compreender a eficiência da produção daquele tipo de energia útil, neste caso o fator é de 2.5 (Tabela 14), o que indica que em Portugal o sistema de produção de eletricidade tem uma eficiência de 40%.

Na situação hipotética em que todas as habitações dos concelhos são nZEB, a diminuição do índice de desempenho energético da energia primária está associada a duas variáveis: à eficiência dos sistemas técnicos e à fração de energia renováveis (Eren) que uma habitação possui nos consumos energéticos, sendo a segunda a característica das habitações existentes dos concelhos que mais se afasta do ideal hipotético imposto, com a necessidade de aumentar a penetração das fontes de energia renovável locais em aproximadamente 200% no melhor dos casos e mais de 1000% no pior.

Estes valores, permitem compreender que existe um enorme potencial ainda não explorado para disseminar fontes de energia renovável por todos os concelhos analisados, especialmente no concelho do Bombarral.

5 Conclusões e Trabalho Futuro

A realização deste trabalho permitiu compreender que existe um grande potencial para diminuição da pegada energética das habitações de três concelhos inseridos na sub-região Oeste de Portugal continental, caso fosse efetuada a renovação em larga escala aplicando o conceito nZEB, como estipulado para edifícios novos e grandes renovações desde janeiro de 2021.

Esta renovação hipotética iria resultar na diminuição do impacto ambiental resultante do potencial de utilização de energia de uma forma não linear, uma vez que a melhoria das habitações nos concelhos analisados ocorreria simultaneamente: nas necessidades de energia útil para aquecimento e arrefecimento, nas necessidades de energia primária e na penetração das energias renováveis locais em todos os consumos energéticos da habitação.

A utilização de índices de desempenho energético revelou ser benéfico na formação de arquétipos, uma vez que analisa as habitações por comparação com as condições de referência, isto é, uma habitação é inserida num grupo que tem um potencial de melhoria equivalente, onde essa equivalência é determinada através da comparação com uma habitação hipotética de referência, com as mesmas características geométricas e ganhos solares.

A opção de caracterizar energeticamente o parque edificado como um todo, confere a este trabalho o rigor que outros estudos, que assumem os casos mais frequentes como referência das habitações de uma localidade, não apresentam. Aplicando uma metodologia equivalente neste estudo, seria assumir que as características de 18% das habitações de um concelho (arquétipo com maior representatividade neste estudo), seriam o suficiente que caracterizar todas as habitações desse mesmo concelho.

No entanto, o processo de caracterizar energeticamente o parque edificado pode-se tornar mais moroso quando comparado a metodologias menos rigorosas, como a mencionada anteriormente, o que torna a sua execução neste trabalho viável devido à elevada exclusão de concelhos da sub-região durante a análise da representatividade.

Tendo em consideração a afirmação anterior, é possível concluir que o objetivo final deste trabalho não foi alcançado, uma vez que este se propunha caracterizar a totalidade da sub-região Oeste de Portugal continental, mas a pouca informação disponível na base de dados utilizada constituiu uma limitação a este propósito.

Com a realização deste estudo verificou-se existirem outros pontos possíveis de serem estudados de semelhante relevância ao estudo em questão.

No caso dos arquétipos utilizados para este estudo, escolheu-se usar as ponderações descritas no ponto 3.2 para os definir, no entanto, outras ponderações poderiam ter originado diferentes casos reais representativos de cada arquétipo e consequentemente resultados diferentes, pelo que poderia ser importante realizar-se um estudo exaustivo sobre as ponderações a utilizar na média que define o caso representativo de cada arquétipo.

Tendo este estudo abrangido apenas alguns concelhos da sub-região Oeste de Portugal Continental, a expansão do mesmo às restantes sub-regiões seria uma mais-valia para conhecimento das habitações do país numa perspetiva energética e averiguar a disparidade da realidade com ideal de um país totalmente nZEB.

Desta forma, seria também importante fazer uma análise económica das possibilidades da população geral para a aplicação das medidas de melhoria necessárias para tornar as habitações existentes em nZEB.

6 Referências Bibliográficas

- [1] I. P. on C. Change, “Climate Phenomena and their Relevance for Future Regional Climate Change”, em *Climate Change 2013 - The Physical Science Basis*, Intergovernmental Panel on Climate Change, Org., Cambridge: Cambridge University Press, 2014, p. 1217–1308. doi: 10.1017/CBO9781107415324.028.
- [2] Hannah Ritchie and Max Roser, “CO₂ and Greenhouse Gas Emissions”, *Published online at OurWorldInData.org*, 2020.
- [3] Hannah Ritchie and Max Roser, “Energy”, *Published online at OurWorldInData.org*, 2020.
- [4] I. Sartori, A. Napolitano, e K. Voss, “Net zero energy buildings: A consistent definition framework”, *Energy Build*, vol. 48, p. 220–232, maio 2012, doi: 10.1016/j.enbuild.2012.01.032.
- [5] P. Torcellini, S. Pless, M. Deru, e D. Crawley, “Zero Energy Buildings: A Critical Look at the Definition; Preprint”, 2006. [Online]. Disponível em: <http://www.osti.gov/bridge>
- [6] S. Attia *et al.*, “Overview and future challenges of nearly zero energy buildings (nZEB) design in Southern Europe”, *Energy Build*, vol. 155, p. 439–458, nov. 2017, doi: 10.1016/j.enbuild.2017.09.043.
- [7] M. J. N. Oliveira Panão, “Lessons learnt from using energy poverty expenditure-based indicators in a mild winter climate”, *Energy Build*, vol. 242, jul. 2021, doi: 10.1016/j.enbuild.2021.110936.
- [8] J. Taherahmadi, Y. Noorollahi, e M. Panahi, “Toward comprehensive zero energy building definitions: a literature review and recommendations”, *International Journal of Sustainable Energy*, vol. 40, n° 2, p. 120–148, 2021, doi: 10.1080/14786451.2020.1796664.
- [9] A. J. Marszal e P. Heiselberg, “A Literature Review of Zero Energy Buildings (ZEB) Definitions”, 2009.
- [10] M. Almeida, M. Ferreira, e A. Rodrigues, “Definição de nZEB em Portugal-Contributo com base em análises de custo de ciclo de vida”, 2016.
- [11] A. Filipe, A. Esteves, e J. M. Sousa, “Strategy to achieve Nearly Zero Energy Building (NZEB) in the energy rehabilitation of a residential building.”, 2021.
- [12] E. Elizabeth Heffernan, W. Pan, X. Liang, e E. Elizabeth, “Delivering zero carbon homes in the UK Delivering zero carbon homes in the UK Recommended Citation Recommended Citation”, 2012. [Online]. Disponível em: <https://ro.uow.edu.au/eisapershttps://ro.uow.edu.au/eisapers/6135>
- [13] R. S. McLeod, C. J. Hopfe, e Y. Rezgui, “An investigation into recent proposals for a revised definition of zero carbon homes in the UK”, *Energy Policy*, vol. 46, p. 25–35, jul. 2012, doi: 10.1016/j.enpol.2012.02.066.
- [14] J. B. Kucharski e H. Unesaki, “Japan’s 2014 Strategic Energy Plan: A Planned Energy System Transition”, *Journal of Energy*, vol. 2017, p. 1–13, 2017, doi: 10.1155/2017/4107614.
- [15] B. Li e R. Yao, “Urbanisation and its impact on building energy consumption and efficiency in China”, *Renew Energy*, vol. 34, n° 9, p. 1994–1998, set. 2009, doi: 10.1016/j.renene.2009.02.015.

- [16] Y. Liu, X. Guo, e F. Hu, “Cost-benefit analysis on green building energy efficiency technology application: A case in China”, *Energy Build*, vol. 82, p. 37–46, 2014, doi: 10.1016/j.enbuild.2014.07.008.
- [17] Diário da República: 1ª série - Nº 31, “Decreto-Lei n.º 40/90 de 6 de fevereiro, Ministério das Obras Públicas, Transportes e Comunicações.”, 1990.
- [18] Diário da República: 1ª série Nº105, “Decreto-Lei n.º 118/98 de 7 de maio, Ministério do Equipamento, do Planeamento e da Administração do Território.”, 1998.
- [19] Diário da República: 1ª série Nº67, “Decreto-Lei n.º78/2006 de 4 de abril, Ministério da Económica e da Inovação.”, 2006.
- [20] Diário da República: 1ª série Nº67, “Decreto-Lei n.º80/2006”, 2006.
- [21] Diário da República: 1ª série Nº67, “Decreto-Lei n.º.79/2006 de 4 de abril, Ministério das Obras Públicas, Transportes e Comunicações.”, 2006.
- [22] Diário da República: 1ª série - Nº 159, “Decreto-Lei n.º 118/2013 de 20 de agosto, Ministério da Economia e do Emprego”, 2013.
- [23] Diário da República: 1ª série - Nº 232, “Portaria n.º349-B/2013 de 29 de novembro, Ministério do Ambiente, Ordenamento do Território e Energia.”, 2013.
- [24] Diário da República: 1ª série - Nº 207, “Portaria n.º 374-A/2015 de 22 de outubro, Ministério do Ambiente, Ordenamento do Território e Energia”, 2015.
- [25] Diário da República: 1ª série - Nº 239, “Portaria n.º319/2016 de 15 de dezembro”, 2016.
- [26] Diário da República: 1ª série - Nº 65, “Portaria n.º98/2019 de 2 de abril”, 2019.
- [27] Diário da República: 1ª série - Nº 126, “Portaria n.º138-I/2021 de 1 de julho”, 2021.
- [28] ADENE, “Manual Técnico para a Avaliação do Desempenho Energético dos Edifícios”, 2021.
- [29] Jornal Oficial da União Europeia, “Regulamento Delegado (UE) N.º244/2012, da Comissão de 16 de janeiro de 2012.”, 2012.
- [30] Official Journal of the European Union, “Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council of 19 May 2010 on the energy performance of buildings”, 2010.
- [31] A. Brandão de Vasconcelos, M. D. Pinheiro, A. Manso, e A. Cabaço, “A Portuguese approach to define reference buildings for cost-optimal methodologies”, *Appl Energy*, vol. 140, p. 316–328, fev. 2015, doi: 10.1016/j.apenergy.2014.11.035.
- [32] S. M. C. Magalhães e V. M. S. Leal, “Characterization of thermal performance and nominal heating gap of the residential building stock using the EPBD-derived databases: The case of Portugal mainland”, *Energy Build*, vol. 70, p. 167–179, fev. 2014, doi: 10.1016/j.enbuild.2013.11.054.
- [33] R. Da e S. Felix, “BUILDINGS ACUPUNCTURE: REGIONAL CHARACTERIZATION AND ASSESSMENT OF PORTUGUESE RESIDENTIAL BUILDINGS Bachelor of Architecture and Urban Planning”, 2021.
- [34] Diário da República: 1ª série - Nº 73, “Decreto-Lei n.º 68/2008 de 14 de Abril da Presidência do Conselho de Ministros.”, 2008.

[35] Instituto Nacional de Estatística., “Alojamentos Familiares Clássicos”, 2022. Acessado: 13 de junho de 2023. [Online]. Disponível em: <https://www.pordata.pt/municipios/alojamentos+familiares+classicos-92>